Archive of SID

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
۱۲۰۵-۱۲۲۴
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.1686.1378

مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش خشکی

طیبه نادری[۱]، یوسف سهرابی[۲*]
۱. دانش‌آموخته گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج
۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۱۳

چکیده

تنش خشکی یک تنش غیرزیستی است که به‌طورجدی عملکرد گیاهان زراعی را در بیشتر نقاط جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا به‌منظور بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی و عناصر ریزمغذی بر کاهش و تعدیل اثرات تنش خشکی روی برخی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت (Mv500) آزمایشی به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام گرفت. در این آزمایش فاکتور آبیاری در دو سطح شامل آبیاری کامل و تنش در مرحله گلدهی در کرت‌های اصلی قرار گرفت و سطوح کودی شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی‌ها، بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی‌ها، ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات، ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + نیتروکسین و شاهد بدون کود به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد تنش کمبود آب، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد، درحالی‌که کودهای زیستی و عناصر ریزمغذی سبب کاهش میزان فعالیت آنزیم‌ها شدند. تنش خشکی، محتوی کلروفیل برگ را کاهش داد ولی غلظت پرولین، مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن در پاسخ به تنش، افزایش معنی‌داری پیدا کرد. کاربرد کودهای زیستی و عناصر ریزمغذی از کاهش محتوی کلروفیل برگ و افزایش پراکسیدهیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدی ناشی از تنش خشکی جلوگیری نمود؛ بنابراین استفاده از کودهای زیستی و تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه توانست باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و بهبود عملکرد گیاه گردد. لذا می‌تواند به‌عنوان یک راهکار جهت کاهش اثرات تنش خشکی روی عملکرد گیاه در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: **آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، عناصر ریزمغذی، کلروفیل، کمبود آب، کودهای زیستی**

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.)، گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد بالا است که در سطح جهانی ازنظر میزان تولید در رتبه اول و ازنظر سطح زیر کشت پس از گندم مقام دوم را به خود اختصاص داده است (FAO, 2016). این گیاه از محصولات عمده مناطق معتدل و نیمه‌گرمسیری به شمار می‌رود و شرایط نامساعد محیطی و وقوع تنش‌ها ازجمله تنش کمبود آب سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه ذرت می‌گردد.

خشکی ازجمله تنش‌های محیطی است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته‌شده است (Poortaghi, 2010). تنش خشکی به شیوه‌های مختلف رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طیف وسیعی از اختلالات مولکولی که منجر به ایجاد آسیب‌های فیزیولوژیکی در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شوند می‌تواند ناشی از تولید رادیکال-های فعال و مخرب اکسیژن باشد. این رادیکال‌ها واکنش‌هایی

* نگارنده پاسخگو: یوسف سهرابی. پست الکترونیک: u.sohrabi1300@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

را هدایت می‌کنند که سبب نابودی DNA، پراکسیداسیون چربی‌ها، تخریب پروتئین‌های غشایی و ماکروپروتئین‌ها در سلول ازجمله رنگیزه‌های کلروفیل و آنزیم‌ها می‌شوند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در سلول‌های گیاهی غالباً در مواجهه گیاه با تنش‌های محیطی، افزایش‌یافته و از این طریق گیاهان قادر هستند از خسارات ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن بکاهند (Yegapan et al., 1982). گزارش‌های زیادی نشان داده‌اند که تنش خشکی، باعث کاهش غلظت کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدهای بافت‌های سبز گیاه می‌شود و این کاهش به‌طور عمده با تولید ROSها در تیلاکوئید انجام می‌گیرد، اما گزارش‌هایی که بهبود حجم رنگ‌دانه‌ها را در شرایط تنش کم‌آبی نشان دهد کاملاً کم و نادر هستند. در اغلب گیاهان، تجمع پرولین در تمام اندام‌های گیاهی در طی تنش خشکی بالا می‌رود (Heuer, 1994). بااین‌وجود، میزان تجمع آن در برگ‌ها بیش از سایر اندام‌ها است. پرولین، اسیدآمینه ذخیره‌شده در سیتوپلاسم بوده و علاوه بر شرکت در تنظیم اسمزی، نقش‌های مهمی مانند حفاظت از سیستم‌های غشایی سلول، سمیت زدایی و تنظیم اسیدیته سیتوسول را نیز بر عهده دارد (Hare et al., 1998). پرولین از طریق حفظ ظرفیت آبگیری در سیتوپلاسم سلول منجر به حفظ ماکرومولکول‌ها ازجمله آنزیم‌ها می‌شود تا از اشکال نامطلوب و یا قطعه‌قطعه شدن آن‌ها جلوگیری به عمل آید (Barker et al., 1993). در دوره تنش، گیاه به‌منظور گریز از پلاسمولیز و ادامه تورژسانس در سلول‌های خود، مولکول‌های درشت نظیر نشاسته را به ساکارز و سپس مولکول‌های کوچک‌تر مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل می‌کند که این موضوع موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب سلول‌ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Irigoyen et al., 1992).

تولید موفقیت‌آمیز محصولات گیاهی، مستلزم خاک مناسب و وجود مقدار کافی از عناصر غذایی و قابل‌استفاده‌ی گیاه است. عناصر غذایی نه‌تنها باید به‌صورت ترکیباتی باشند که به سهولت مورداستفاده‌ی گیاه قرار گیرند بلکه تعادل بین مقدار آن‌ها نیز حائز اهمیت است (Malakouti and Tehrani, 1999). در چند سال اخیر با توجه به نگرانی از وجود مواد زیان‌آور در محصولات غذایی و خصوصیات بارز سیستم‌های زیستی و نکات مثبت این روش در مقایسه با کشاورزی مدرن، کشاورزی زیستی رایج شده است و ازآنجاکه دستیابی به کشاورزی پایدار از اهداف اصلی متخصصان کشاورزی به شمار می‌رود، برای نیل به این هدف، اقتصادی کردن امر تولید، استفاده از کودهای زیستی، مصرف بهینه و صحیح کودهای شیمیایی، سموم، آفت‌کش‌ها و افزایش مواد آلی خاک و حفاظت از محیط‌زیست، ضروری به نظر می‌رسد. کودهای زیستی متشکل از باکتری‌ها و همچنین قارچ‌های مفیدی هستند که هر یک به‌منظور خاصی، مانند تثبیت نیتروژن و رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آن‌ها تولید می‌شوند. این باکتری‌ها بیش از یک نقش دارند، یعنی علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌های گیاه و بهبود ساختمان خاک و درنتیجه تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Han et al., 2006). ازجمله کودهای زیستی که حاوی میکروارگانیسم‌های متعددی است، می‌توان به نیتروکسین اشاره کرد. نیتروکسین حاوی مجموعه‌ای از مؤثرترین سوش‌های باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت از جنس Azospirillum و Azotobacter است. باکتری‌های موجود در کود زیستی نیتروکسین، علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر پرمصرف و ریزمغذی موردنیاز گیاه، ترشح اسیدهای آمینه و انواع آنتی-بیوتیک را نیز به عهده‌دارند و موجب رشد و توسعه‌ی ریشه و افزایش فتوسنتز قسمت‌های هوایی گیاهان می‌شوند (Gilick et al., 2004). کود زیستی بیوسوپرفسفات نیز مجموعه‌ای از باکتری‌های حل‌کننده‌ی فسفات از جنس‌های مختلف Bacillus و Pseudomonas می‌باشند که قادر هستند فسفر نامحلول در خاک را به فرم محلول قابل‌دسترس گیاه تبدیل کنند. اصولاً گیاهان تنها قادر می‌باشند فسفات غیر آلی محلول را جذب نمایند که به‌طور عادی میزان آن در خاک به‌مراتب کمتر از نیاز گیاه است (Koocheki et al., 2008). استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول خاک، این بخش از فسفر خاک را نیز می‌تواند در اختیار گیاه قرار دهد. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات به گروهی از ریز جانداران خاکزی اطلاق می‌گردد که به‌عنوان اجزا مکمل چرخه فسفر قادرند از طریق مکانیسم‌های مختلف، فسفر را از منابع نامحلول آزاد کنند (Saleh-Rastin, 2011). Pseudomonas و بالاخص P. fluarescens از مهم‌ترین اعضای جامعه ارگانیسم‌های ریزوسفری به شمار رفته و اثرات مثبت ناشی از تلقیح آن‌ها بر رشد به اثبات رسیده است عناصر ریزمغذی از عناصر ضروری موردنیاز گیاهان می‌باشند که در شرایط تنش خشکی نقش بهبوددهنده در امر تنظیم اسمزی (به‌واسطه افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

میزان پرولین و یا قندهای محلول) دارند (Delaney et al., 1993).. مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف بخصوص مصرف بی‌رویه فسفر، استفاده از ارقام پرمحصول، عدم رعایت تناوب زراعی و مصرف نکردن کودهای حاوی عناصر ریزمغذی در سال‌های اخیر موجب کاهش میزان ذخیره این عناصر در خاک و به دنبال آن افت عملکرد و فقر این عناصر حیاتی در جیره غذایی انسان و دام شده است. لذا به نظر می‌رسد با توجه به اهمیتی که ذرت در تغذیه دام، طیور و انسان دارد، مصرف این عناصر بتواند موجب افزایش عملکرد گردد (Malakouti and Tehrani, 1999). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تیرماه سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان به اجرا درآمد. ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۱۴۳۰ متر و متوسط نزولات آسمانی ۴۷۳ میلی‌متر است. مطابق روش آمبرژه، اقلیم منطقه، نیمه‌خشک سرد است. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اطلاع از وضعیت حاصلخیزی خاک مزرعه، از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه تهیه شد و در آزمایشگاه تجزیه خاک، آب و گیاه بخش خصوصی شهرستان کرمانشاه مورد تجزیه قرار گرفت. برخی اطلاعات هواشناسی منطقه انجام آزمایش در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

در این آزمایش، آبیاری در دو سطح آبیاری کامل و تنش در مرحله گلدهی به‌عنوان فاکتور اصلی و سطوح کودی شامل rNPK = ٪100کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK = ٪50 کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK = ٪100 کود شیمیایی، bNPK = ٪50کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات، nb = بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb = بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی و C = شاهد بدون کود به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند.

جدول ۱. برخی اطلاعات هواشناسی منطقه انجام آزمایش در سال ۱۳۹۱.

Table1. Some meteorological information of experimental area in 2012

Month	ماه	میانگین دما average temperature	میانگین بارندگی mean rainfall	میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل Mean evapotranspiration
20 March-19 April	**فروردین**	10.7	54.70	33.22
20 April-20 May	**اردیبهشت**	17.1	25.62	79.29
21 May-20 June	**خرداد**	22.7	1.84	125.92
21 June-21 July	**تیر**	26.3	0.04	163.63
22 July-21 August	**مرداد**	28.5	3.42	175.60
22 August-21 September	**شهریور**	25	0.60	125.64
22 September-22 October	**مهر**	18.5	1.02	71.84

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش.

Table 2. Physiological and chemical characteristics of experimental location soil

عمق deapth (cm)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	pH	Ec (ds/m)	کربن آلی OC (%)	آهن Fe (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)
0-30	7.0	8.6	260	5.8	70.0	0.7	38.9	13.1	7.6
30-60	1.5	7.4	280	8.0	80.0	1.05	48.3	17.1	58.4

www.SID.ir

Archive of SID

عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل خردادماه صورت گرفت. میزان مصرف کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آزمون تجزیه خاک تعیین شد. در این تحقیق، منظور از تیمار کود شیمیایی کاربرد عناصر پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاس است. بر اساس توصیه کودی، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، قبل از کاشت به‌صورت نواری و زیر بذری بر روی ردیف‌های کاشت به خاک افزوده شد. کود شیمیایی فسفره به همراه نیمی از کود اوره، قبل از کاشت و پس از کرت‌بندی با استفاده از شیار بازکن دستی زیر خاک قرار گرفت و بقیه کود اوره به‌صورت سرک در هنگام ظهور گل تاجی مصرف گردید. در تیمارهای حاوی ریزمغذی‌ها، عناصر ریزمغذی مصرفی تنها شامل آهن، مس و روی بود که میزان مصرف آن‌ها بر اساس نتایج تجزیه خاک تعیین گردید و به‌صورت محلول‌پاشی روی گیاه و طی دو مرحله ۶ برگی و ۸ برگی مورداستفاده قرار گرفت. برای عناصر آهن، مس و روی به ترتیب از منابع سولفات آهن با درصد آهن ۲۰ درصد به نسبت ۵ در هزار، سولفات مس با درصد مس ۲۵ درصد به نسبت ۱ در هزار و سولفات روی با درصد روی ۳۵ درصد به نسبت ۳ در هزار استفاده گردید. هر کرت شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر بود و فاصله بین ردیف‌ها ۶۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرها با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از همدیگر و در عمق ۶-۳ سانتی‌متر روی ردیف‌ها کاشت شدند. فاصله بین کرت‌ها ۱۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد.

برای اختلاط و تلقیح بذور با کود بیولوژیک، ابتدا بذور روی پلاستیک تمیز پخش شدند، سپس مقدار مناسب مایه تلقیح (۱ لیتر به ازای ۳۰ کیلوگرم) به‌تدریج روی بذرها پاشیده شده و با به هم زدن بذر نسبت به تلقیح بذرها اقدام گردید. سپس بذرهای تلقیح شده در سایه پهن‌شده و پس از خشک شدن آماده کاشت گردیدند (Akbari et al., 2008). بذرها در ۱۵ تیرماه کاشته و بلافاصله آبیاری شدند. هیبرید ذرت مورد کاشت، Mv500 بود. این هیبرید از نوع ذرت دانه‌ای است که در گروه رسیدگی ۵۰۰ (میان‌رس) قرار دارد. به بسیاری از بیماری‌ها ازجمله سیاهک و فوزاریوم مقاوم است. ارتفاع ساقه آن حدود ۵،۲ متر و پتانسیل عملکرد دانه آن حدود ۱۴ تن در هکتار است. آبیاری هر ۵ روز یک‌بار، بر اساس درصد رطوبت و خصوصیات خاک، با لوله‌گذاری در مزرعه و نصب کنتور حجمی روی آن و به روش آبیاری نشتی صورت گرفت و در هر بار آبیاری، رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی رسانده شد. تنش، در مرحله گلدهی تا خمیری شدن دانه‌ها به‌صورت قطع آبیاری اعمال گردید. در مرحله خمیری شدن دانه‌ها نمونه‌برداری از برگ‌های بالغ بالایی صورت گرفت و نمونه‌های جمع‌آوری‌شده بلافاصله توسط نیتروژن مایع فریز شدند و برای آنالیزهای بیوشیمیایی در فریزر با دمای ۴۲- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. به‌منظور حذف اثر حاشیه، دو ردیف کناری و ابتدا و انتهای هر ردیف به طول ۵،۰ متر در هر کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری از ۳ ردیف میانی صورت گرفت.

اندازه‌گیری محتوی کلروفیل برگ

محتوی کلروفیل برگ بر اساس روش (Arnon, 1994) اندازه‌گیری شد، میزان جذب نور توسط عصاره حاصل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر تعیین گردید و غلظت کلروفیل از طریق معادلات مربوطه به دست آمد.

پرولین برگ

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار پرولین از روش (Bates et al., 1973) استفاده شد. درنهایت، غلظت پرولین برگ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید.

$$P=(a\times b)/(c\times 1000) \quad [۱]$$

که در آن P پرولین برحسب میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ، a پرولین برحسب ppm، b حجم نمونه و c وزن تر برگ هستند.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از روش (Chance and Maehly, 1995) استفاده گردید. تغییرات جذب در ۲۴۰ نانومتر به مدت ۶۰ ثانیه در ۲۵ درجه با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت شد و سپس تغییرات آنزیمی برحسب تغییرات جذب در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین بیان شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش (Mac Adam et al., 1992) صورت گرفت. مقدار جذب در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۱۸۰ ثانیه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد با اسپکتروفتومتر قرائت گردید و تغییرات آنزیمی برحسب تغییرات جذب در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

اندازه‌گیری پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) به‌روش لورتو و ولیکوا (Loreto and Velikova, 2001) صورت گرفت. غلظت پراکسید هیدروژن نمونه‌ها به‌وسیله مقایسه جذب

www.SID.ir

Archive of SID

آن‌ها در ۳۹۰ نانومتر و منحنی استاندارد آن تعیین شد. غلظت پراکسید هیدروژن از نمودار منحنی استاندارد آن در طیفی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومول بر میلی‌لیتر محاسبه گردید.

پراکسیداسیون لیپیدها از طریق اندازه‌گیری TBRSA که معادل مالون‌دی‌آلدئید (MDA) است انجام گرفت. اندازه-گیری میزان TBRSA از طریق روش کک‌مک و هورست (Cakmak and Horst, 1991) صورت گرفت. درنهایت، مالون‌دی‌آلدئید برحسب (nmol g^{-1} fw) با اندازه‌گیری جذب در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با فرمول زیر محاسبه شد.

$$AD = (((A532-A600)\times v\times 1000)/\varepsilon)\times W \quad [۲]$$

که در آن A میزان جذب نور در دو طول‌موج موردنظر، V حجم نمونه استخراج‌شده، W وزن نمونه و ε ضریب خاموشی (mMcm-1155) هستند.

برای برآورد عملکرد دانه سطحی معادل ۲ مترمربع (با در نظر گرفتن اثر حاشیه) در اوایل آبان ماه برداشت گردید. پس از جداسازی تمامی بذور و توزین آن‌ها میانگین عملکرد ۲ مترمربع، محاسبه شد و با توجه به تراکم بوته، میانگین عملکرد دانه در هکتار محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌ها و نیز مقایسه میانگین آن‌ها که به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ انجام شد از نرم‌افزار آماری MSTAT-C استفاده گردید. رسم نمودارها نیز با بهره‌گیری از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر متقابل سطوح آبیاری و سطوح کودی در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان پراکسیدهیدروژن معنی‌دار بوده است.

پراکسید هیدروژن

تجزیه واریانس داده‌ها مشخص کرد که اثر سطوح آبیاری و سطوح کودی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل دو فاکتور در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان تولید پراکسید-هیدروژن در گیاه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در تمامی سطوح کودی، اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث افزایش میزان تولید پراکسید هیدروژن در گیاه ذرت گردید. تنش خشکی تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند پراکسیدهیدروژن (H_2O_2)، رادیکال‌های سوپراکسید (O_2) و هیدروکسیل (OH) را افزایش می‌دهد که تجمع‌شان در سلول می‌تواند به تنش اکسیداتیو منجر شود (Mittler, 2002).

تیمارهای مصرف کود باعث کاهش مقدار تولید پراکسید-هیدروژن در گیاه گردید و این تأثیر هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط عدم تنش خشکی دیده شد اما در شرایط تنش تأثیر آن‌ها محسوس‌تر بود. بیشترین مقدار تولید پراکسیدهیدروژن در شرایط تنش خشکی (۲۵،۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار شاهد بدون مصرف کود بود که با تیمار مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار تولید پراکسید هیدروژن (۱،۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) نیز در این شرایط به تیمار کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی مربوط بود که با تیمار کاربرد بیوسوپرفسفات + نیتروکسین+ ریزمغذی در یک گروه آماری قرار داشت. در شرایط آبیاری کامل، بیشترین مقدار پراکسید-هیدروژن به تیمار شاهد بدون مصرف کود مربوط بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت. تیمارهای کودی ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات و نیتروکسین + بیوسوپرفسفات در رتبه‌های بعدی و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱).

به نظر می‌رسد مصرف مقادیر مناسب کود سبب تأمین مطلوب و کافی عناصر غذایی جهت تولید آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی شده است که به دنبال آن درنتیجه افزایش فعالیت این آنتی‌اکسیدان‌ها میزان H2O2 و سایر رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش پیداکرده و نهایتاً باعث کاهش میزان پراکسیداسیون لیپیدی غشاء نیز شده است.

پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان پرولین برگ به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و کود قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (شکل ۲) در تمامی سطوح کودی، ذرت‌های تحت تیمار تنش خشکی در مرحله گلدهی، نسبت به ذرت-های آبیاری شده در این مرحله از مقدار پرولین بیشتری برخوردار بودند. درواقع، تجمع پرولین در اثر تنش خشکی، یک واکنش عمومی است که به علت سنتز پرولین در بافت‌ها اتفاق می‌افتد. هنگامی‌که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه افزایش آمینواسیدها و

www.SID.ir

Archive of SID

آمیدها تسریع می‌یابد. (Schonfeld, 1988). همچنین در تنش خشکی از اکسیداسیون پرولین ممانعت می‌گردد و از شرکت پرولین در ساخت پروتئین‌ها جلوگیری می‌شود (Pedrol et al., 2000). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (شکل ۲) تحت شرایط تنش خشکی تمامی تیمارهای مصرف کود باعث افزایش محتوی پرولین برگ نسبت به شاهد بدون مصرف کود گردید، اگرچه در شرایط تنش، بین این تیمارها با تیمارهای کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی و بیوسوپرفسفات + نیتروکسین تفاوت معنی‌داری ملاحظه نگردید.

مقایسه میانگین سطوح کودی تحت شرایط تنش خشکی (شکل ۲) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار پرولین برگ (۹۵,۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در بین تیمارهای مصرف کود به تیمار مصرف بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی مربوط بود که با تیمارهای کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + نیتروکسین، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین مقدار این صفت (۶۱,۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) نیز در شرایط تنش خشکی در تیمار شاهد بدون مصرف کود حاصل شد که با تیمارهای کودی کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و بیوسوپرفسفات + نیتروکسین در شرایط تنش خشکی تفاوت چشمگیری نداشت.

جدول ۳. تجزیه واریانس مقادیر صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی تحت شرایط تنش و عدم تنش خشکی.

Table 3. Analysis of variance for physiological traits and corn grain yield under effect of biological and chemical fertilizer application under stress and non-stress conditions.

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	پراکسید هیدروژن H_2O_2	پرولین Prolin	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxid	پراکسیداسیون لیپیدی غشاء Lipid peroxidation of membranes
Replication	تکرار	2	0.001^{ns}	0.025^{*}	0.021^{ns}	1.509^{**}	0.291^{**}
Irrigation (I)	آبیاری	1	0.043^{**}	0.963^{**}	0.051^{*}	4.869^{*}	0.862^{**}
Error a	خطای الف	2	0.003	0.001	0.002	0.009	0.002
Fertilization (F)	کود	6	0.007^{**}	0.056^{**}	0.001^{**}	0.135^{**}	0.026^{**}
I*F	آبیاری×کود	6	0.001^{*}	0.018^{**}	0.0001^{ns}	0.065^{**}	0.002^{ns}
Error b	خطای ب	24	0.0001	0.0001	0.0001	0.002	0.001
CV%	ضریب تغییرات		*10.24*	*3.08*	*11.58*	*8.38*	*4.76*

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

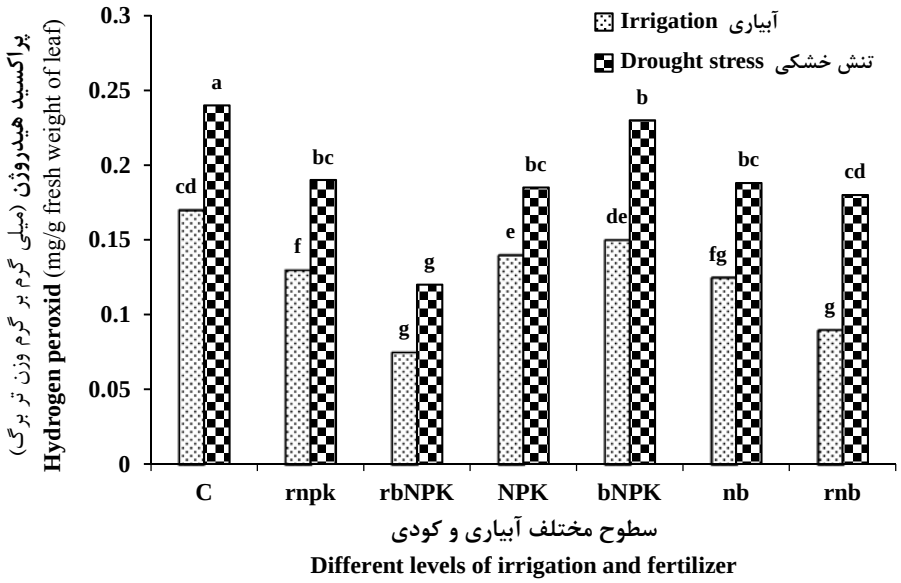
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	عملکرد دانه grain yield
Replication	تکرار	2	0.003^{ns}	0.001^{ns}	0.032^{ns}	328507^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	1	1.534^{**}	0.824^{**}	2.575^{**}	1127337^{*}
Error a	خطای الف	2	0.003	0.001	0.004	42507
Fertilization (F)	کود	6	0.173^{**}	0.136^{**}	0.712^{**}	71665^{**}
I*F	آبیاری×کود	6	0.014^{**}	0.012^{**}	0.056^{**}	2296^{**}
Error b	خطای ب	24	0.001	0.001	0.001	257
CV%	ضریب تغییرات		4.31	4.10	6.17	2.9

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد است.

* and **, significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان پراکسید هیدروژن تولیدشده در گیاه ذرت. C = شاهد بدون کود، rNPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی، bNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 1. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation and fertilizer on amount of hydrogen peroxide produced in corn plant. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

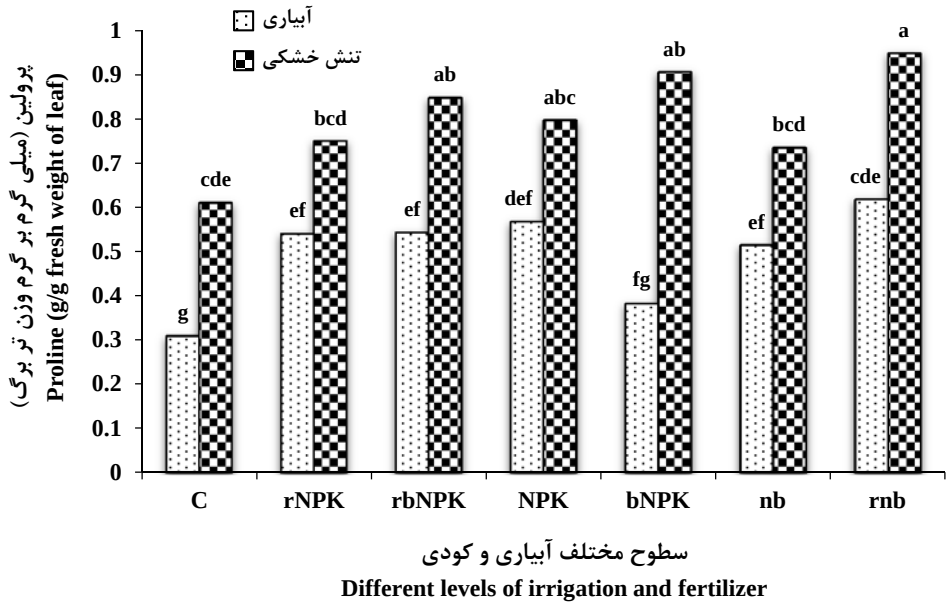
در شرایط آبیاری کامل، بالاترین محتوی پرولین برگ (۶۱،۰ میلی-گرم بر گرم وزن تر برگ) به تیمار کودی مصرف بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی اختصاص پیدا کرد که به‌غیراز تیمارهای مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات و تیمار عدم مصرف کود با سایر تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین محتوی پرولین برگ در شرایط آبیاری کامل به تیمار عدم مصرف کود اختصاص داشت که با تیمار مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + سوپر فسفات تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نشان نداد. عناصر ریزمغذی در شرایط تنش خشکی نقش بهبود تنظیم اسمزی به‌واسطه افزایش میزان پرولین و یا قندهای محلول را دارند (Delaney et al., 1993) این محققان اظهار داشتند پرولین به‌طورکلی از دو مسیر عمده ساخته می‌شود: مسیر گلوتامات که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و مسیر اورنتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند. مسیر گلوتامات در گیاهان عالی اهمیت بیشتری دارد و به نظر می‌رسد آنزیم‌های کلیدی این مسیر به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی واکنش مثبت نشان داده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان دریافت که کاربرد کود (زیستی و شیمیایی) به‌واسطه تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه سبب افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه و افزایش میزان سنتز اسیدهای آمینه ازجمله پرولین می‌گردد که این افزایش پرولین نشان‌دهنده تجمع مواد سازگار کننده‌ای است که جهت محافظت اسمزی توسط گیاه بکار گرفته می‌شود و نیروی نگهداری آب را در برگ‌ها افزایش داده و بدین ترتیب شرایط سازگاری گیاه با شرایط خشک را فراهم می-نماید (Hare et al., 1998).

کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر سطوح آبیاری و سطوح مختلف کودی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳-A) گویای آن است که میزان فعالیت کاتالاز در شرایطی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار داشت به‌مراتب بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود و تنش میزان فعالیت این آنزیم را حدوداً ۱۳۰ درصد افزایش داد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان پرولین برگ ذرت. C= شاهد بدون کود، rNPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی، bNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 2. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation (Irrigation, white columns; drought stress, dark colimns) and fertilizer on amount of proline in corn leaf. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

وقتی گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، محتوای نسبی آب برگ آن کاهش می‌یابد و گیاه با تولید سیگنال‌هایی روزنه‌ها را می‌بندد و در این حالت گونه‌های فعال اکسیژن که شکل‌های ناقصی از اکسیژن می‌باشند در اثر تنفس نوری شکل می‌گیرند (Esfandiari et al., 2009). درنتیجه، تنش اکسیداتیو در گیاه رخ می‌دهد و سلول‌های گیاهی از طریق مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی سعی در حفظ تعادل خود دارند؛ بنابراین، در چنین شرایطی که محتوای نسبی آب برگ کاهش‌یافته، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش می‌یابد. کاتالاز در تمام سلول‌های گیاهی یافت می‌شود و سلول‌های گیاهی را از سمیت پراکسید هیدروژن که درنتیجه تبدیل سوپراکسید به پراکسید هیدروژن به‌وسیله آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تولید می‌شود، حفظ می‌کند (Luna et al., 2005).

در بین تیمارهای کودی کمترین میزان فعالیت این آنزیم، از ذرت‌های تحت تیمار مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی به‌دست آمد که با تیمارهای کودی کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات و بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم در گیاهان تحت تیمار شاهد بدون کود ملاحظه گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۳-B). سه تیمار کودی مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی+ ریزمغذی، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و بیوسوپرفسفات + نیتروکسین نیز در رتبه بعدی و در یک گروه آماری قرار داشتند. کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی توأم با عناصر ریزمغذی فعالیت کاتالاز را نسبت به تیمار شاهد بدون کود به‌طور معنی‌داری کاهش داد. درواقع، کاربرد این کودها ممکن است به دلیل کاهش میزان تولید H_2O_2 سبب کاهش میزان فعالیت کاتالاز شده باشد (شکل ۳-B).

یکی از اثرات تنش خشکی، کاهش قابلیت انحلال عناصر و کاهش دسترسی گیاه به عناصر غذایی است. تأمین و در

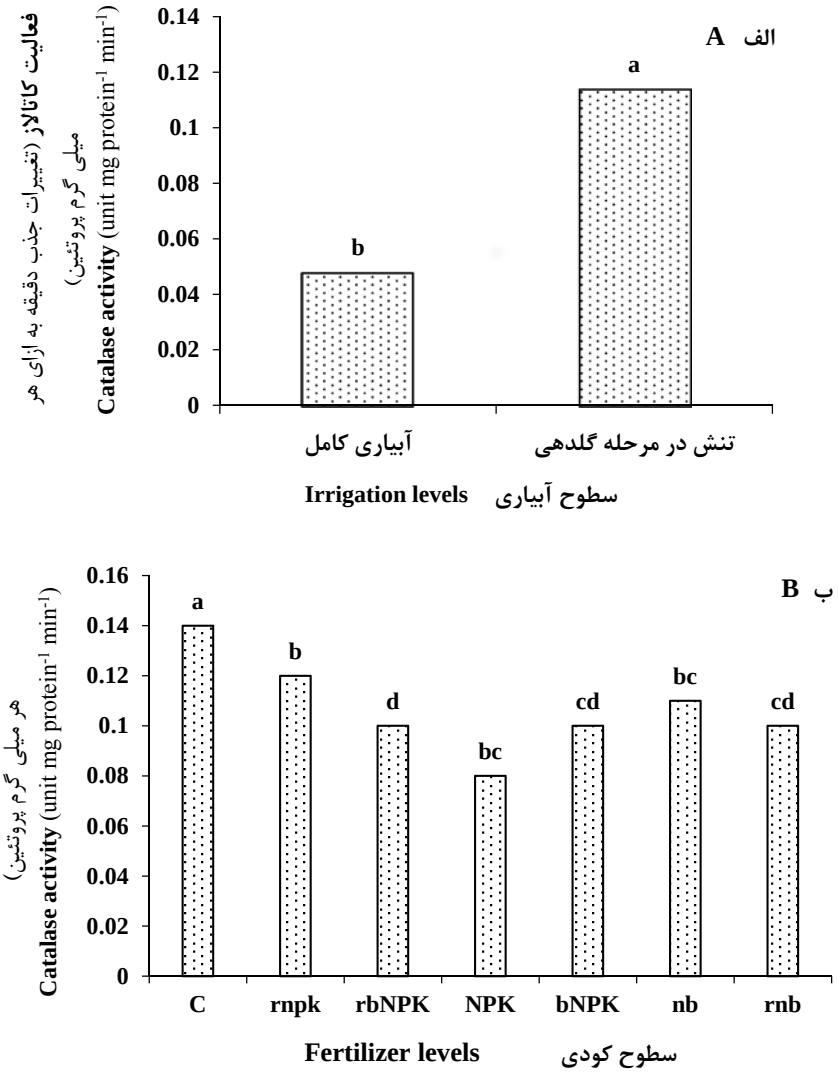
www.SID.ir

Archive of SID

دسترس قرار دادن این عناصر به‌واسطه مصرف کودهای شیمیایی و زیستی باعث افزایش جذب عناصر و بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (Akbari et al., 2008) و همین امر می‌تواند در کاهش گونه‌های فعال اکسیژن مؤثر باشد. از طرف دیگر میکروارگانیسم‌های موجود در کودهای زیستی علاوه بر اینکه قابلیت دسترسی به عناصر غذایی موجود در خاک را افزایش می‌دهند از طریق تولید فیتوهورمون‌های محرک رشد گیاه ازجمله اکسین باعث بهبود رشد و افزایش تعداد ریشه‌های فرعی و موئین شده و توان گیاه را در جذب آب از خاک افزایش می‌دهند (Rajai et al., 2007).

پراکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح آبیاری و سطوح کودی بر میزان فعالیت این آنزیم، در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری (A) و سطوح کودی (B) بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ ذرت. C= شاهد بدون کود، rNPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی، bNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

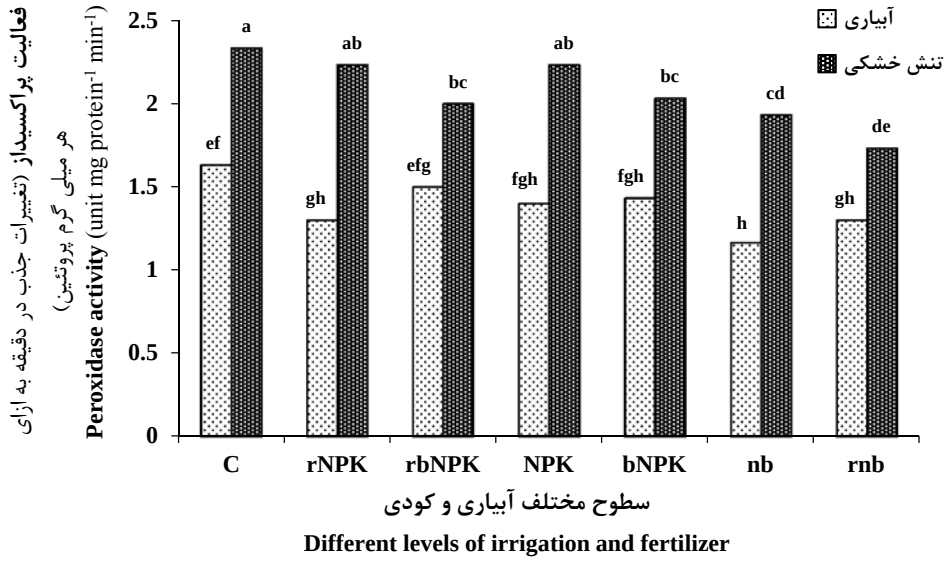
Fig. 3. Means comparison of effect of irrigation levels (A) and fertilizer levels (B) on amount of enzyme catalase activity in corn leaf. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

www.SID.ir

Archive of SID

اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث افزایش معنی-دار فعالیت پراکسیداز در ذرت گردید. به‌طوری‌که در تمامی سطوح کودی، گیاهان تحت تنش خشکی در مقایسه با گیاهان با آبیاری کامل فعالیت پراکسیداز بیشتری نشان دادند. تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان یکی از مکانیسم‌هایی است که در گیاهان برای افزایش تحمل به تنش‌ها رخ می‌دهد (Hernandez et al., 2000). به نظر می‌رسد پراکسیدازها عموماً به‌عنوان آنزیم‌های مسمومیت‌زدای گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کنند، زیرا پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) ماده‌ای است که برای دامنه گسترده‌ای از واکنش‌های وابسته به پراکسیداز به‌عنوان ماده پذیرنده الکترون عمل می‌کند؛ بنابراین افزایش فعالیت پراکسیداز در شرایط تنش خشکی باهدف کاهش اثرات تخریبی گونه‌های فعال اکسیژن طبیعی به نظر می‌رسد. در تحقیق دیگری نیز افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ذرت گزارش شده است (Li-Ping et al., 2006). در شرایط تنش خشکی، بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز، به ذرت‌های تحت تیمار شاهد بدون مصرف کود تعلق داشت. بین تیمار شاهد و تیمارهای کودی مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی تحت همان شرایط آبیاری تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نگردید. کمترین میزان فعالیت این آنزیم نیز به گیاهان تحت تیمار مصرف کودهای زیستی + ریزمغذی اختصاص داشت که با تیمار کودی مصرف کودهای زیستی بیوسوپرفسفات + نیتروکسین در یک گروه آماری قرار گرفتند. (شکل ۴).

در شرایط آبیاری کامل، بالاترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در ذرت‌های تحت تیمار عدم مصرف کود حاصل گردید که با تیمارهای مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی و کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین مقدار فعالیت این آنزیم نیز به ذرت‌های تحت تیمار مصرف بیوسوپرفسفات + نیتروکسین تعلق داشت. بین این تیمار و تیمارهای کاربرد کودهای بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی، مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی ازنظر آماری اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نگردید (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و سطوح مختلف کودی بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه ذرت. C= شاهد بدون کود، rNPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی، bNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 4. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation (Irrigation, white columns; drought stress, dark colimns) and fertilizer on activity of peroxidase enzyme in corn plant. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

www.SID.ir

Archive of SID

کمتر بودن فعالیت آنزیم در تیمارهای حاوی کودهای زیستی نشان‌دهنده این است که احتمالاً کودهای زیستی گیاه را در شرایط مناسب‌تری قرار داده‌اند و درنتیجه، گیاه مقدار پراکسیداز کمتری تولید نموده است. یا به‌عبارت‌دیگر، باکتری‌ها اثر تنش خشکی را از طریق مکانیسم دفاعی دیگری کاهش می‌دهند، که از بالا رفتن آنزیم پراکسیداز جلوگیری کرده است. گزارش‌شده که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تنها مکانیسم دفاعی گیاه در برابر اکسیژن‌های رادیکال آزاد (ROS) تولیدشده در شرایط تنش نیست و افزایش پرولین نیز می‌تواند موجب کاهش ROSهای تولیدشده در شرایط تنش شود (Trovato et al., 2008). به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ناشی از مصرف کودهای زیستی و عناصر ریزمغذی، به اثر غیرمستقیم این کودها بر فعالیت آنزیم‌ها برمی‌گردد، بدین ترتیب که این کودها از طریق کاهش اثر مخرب تنش ازجمله تأمین مناسب، تدریجی و مداوم عناصر غذایی و افزایش رشد و توسعه ریشه و توان گیاه در جذب آب از افزایش فعالیت آنزیم‌ها جلوگیری می‌کنند (Davoodi-fard, 2011).

پراکسیداسیون لیپیدی غشاء

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مقدار مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری و سطوح کودی قرار گرفت (جدول ۲). مالون‌دی‌آلدئید شاخصی از پراکسیداسیون لیپیدها در نظر گرفته شده است. در این آزمایش، بیشترین مقدار پراکسیداسیون لیپیدی غشاء در گیاهانی مشاهده گردید که تحت تنش خشکی در مرحله گلدهی قرار داشتند به‌طوری‌که اعمال تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل پراکسیداسیون لیپیدی غشاء را حدوداً ۴۲ درصد افزایش داد (شکل ۵-A). تنش خشکی باعث تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود (Sadizadeh et al., 2009). این رادیکال‌ها بسیار واکنشگر بوده و می‌توانند با خارج کردن H+ از فسفولیپیدها موجب تشکیل رادیکال فعال اسید چرب و رادیکال‌های لیپید و پراکسی و هیدرو پراکسی شوند. رادیکال‌های جدید تولیدشده می‌توانند واکنش‌های اکسیداسیون لیپیدها را تسریع کنند و رادیکال اسید چرب در حضور اکسیژن با تولید پراکسید اسید چرب می‌تواند ضمن تخریب چربی‌ها و پروتئین‌ها رادیکال‌های بیشتری تولید نماید (Manoochehri-Kalantari et al., 2007).

مقایسه میانگین اثر کودها (شکل ۵-B) بر این صفت نشان می‌دهد که بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (۰/۸۱ نانومولار بر گرم وزن تر برگ) در تیمار شاهد بدون مصرف کود مشاهده گردید که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت و کمترین مقدار این صفت (۶۴,۰ نانومولار بر گرم وزن تر برگ) به تیمار مصرف بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی مربوط بود که با تیمارهای مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی در یک گروه آماری قرار داشتند. ازآنجاکه اسیدهای چرب غیراشباع در میتوکندری و بخصوص در تیلاکوئیدهای کلروپلاستی فراوان است، ازاین‌رو این اندامک‌ها بیشتر تحت تأثیر رادیکال‌های آزاد ایجادشده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، پراکسیداسیون غشاء کلروپلاست‌ها و تیلاکوئیدها باعث برهم زدن شیب و نفوذپذیریpH می‌شود، فتوسنتز را مختل و منجر به کاهش تولید در گیاهان می‌شود؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که احتمالاً عناصر ریزمغذی با حفظ میزان کلروفیل و فتوسنتز از تولید گونه‌های فعال و مخرب اکسیژن و اثرات تخریبی آن بر غشاء جلوگیری می‌کنند.

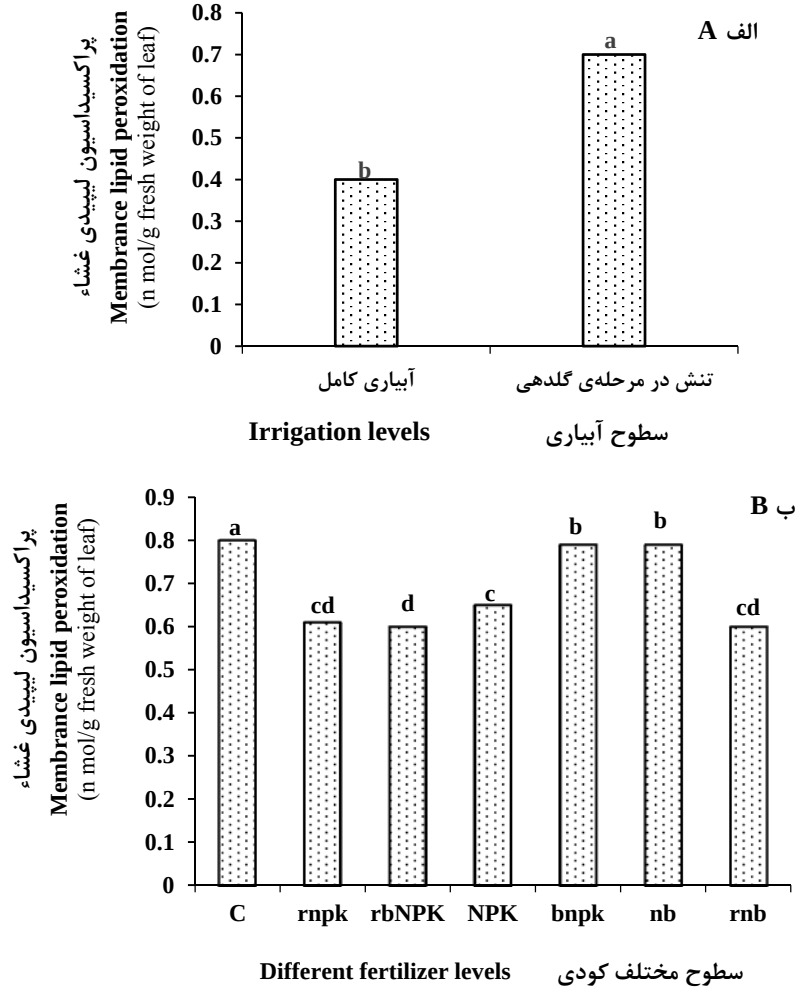
کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۳) که کلروفیل aبه‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد به‌وسیله اثر توأم سطوح آبیاری و کاربرد کودها تحت تأثیر قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها گویای آن است که تنش خشکی در مقایسه با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل a را کاهش داد و این کاهش معنی‌دار در کلیه تیمارهای کودی مشاهده گردید. طبق بررسی‌ها، کاهش غلظت کلروفیل در شرایط خشکی به‌واسطه تأثیر تنش خشکی بر تجزیه کلروفیل‌ها و پراکسیداسیون آن است (Ahmadi and Sio-Se Marde, 2004). بسیاری از محققین عقیده دارند که پایداری کلروفیل در شرایط تنش رطوبتی، جهت تداوم فتوسنتز ضروری است و این صفت به‌عنوان یک شاخص مقاومت گیاه به تنش خشکی محسوب می‌گردد. در شرایط اعمال تنش خشکی، کمترین میزان کلروفیلa (38.0 میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به شاهد بدون مصرف کود تعلق داشت که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با سایر تیمارها نشان داد. بیشترین محتوی کلروفیلa (78.0میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط تنش به تیمار کودی کاربرد کودهای

www.SID.ir

Archive of SID

زیستی + ریزمغذی اختصاص پیدا کرد که با تیمارهای کودی مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در یک گروه آماری قرار گرفتند. مصرف کود شیمیایی NPK باعث می‌شود که میزان نیتروژن در دسترس گیاه افزایش‌یافته و به دنبال آن، جذب و انتقال این عنصر به برگ‌ها افزایش یابد و درنتیجه، سنتز کلروفیل بیشتر شود. عناصر روی و آهن نیز از عناصر ضروری برای رشد گیاه هستند که در شرایط کمبود آن‌ها، تعداد رنگ‌دانه‌های فتوسنتز کننده و مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد (Malakouti and Tehrani, 1999). به‌طوری‌که در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد در شرایط تنش خشکی، مصرف کودهای ریزمغذی احتمالاً به‌واسطه کاهش میزان تولید پراکسیدهیدروژن (شکل ۱) اثر مثبتی بر پایداری کلروفیل برگ‌ها و کاهش اثرات تنش بر دستگاه فتوسنتزی داشت.



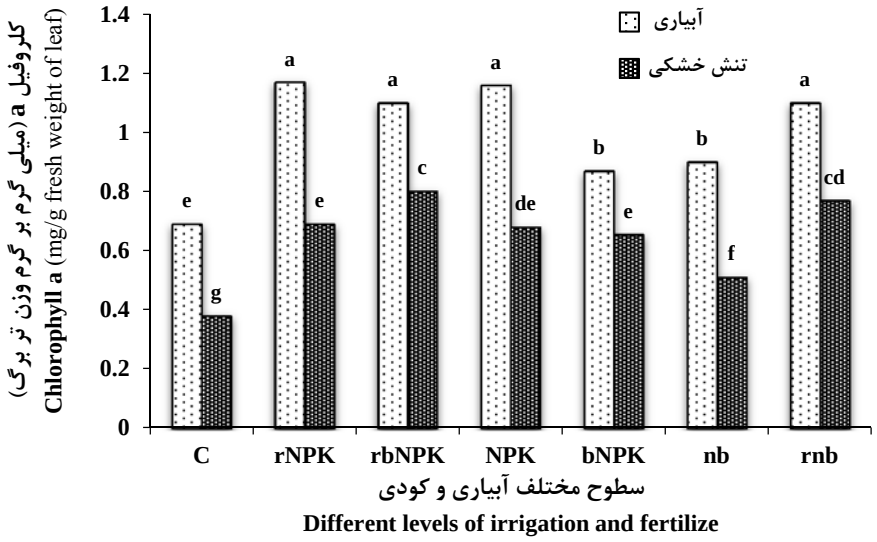
شکل ۵. مقایسه میانگین سطوح آبیاری (A) و سطوح مختلف کودی (B) بر میزان پراکسیداسیون لیپیدی غشاء در گیاه ذرت. C = شاهد بدون کود، rNPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی، bNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 5. Comparison of means of different levels of irrigation (A) and fertilizer (B) on amount of membrane lipid peroxidation in corn plant. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

www.SID.ir

Archive of SID

در شرایط آبیاری کامل، بیشترین محتوی کلروفیلa (17.1میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + عناصر ریزمغذی مربوط بود که با تیمارهای کودی کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، کاربرد کودهای زیستی + ریزمغذی و مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نداشت. کمترین میزان آن نیز به تیمار شاهد بدون مصرف کود مربوط بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها در این شرایط آبیاری داشت (شکل ۶). به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کودها در مقایسه با شرایط عدم مصرف کود به‌طور چشمگیری محتوی کلروفیل a برگ را افزایش داد. کاربرد این کودها می‌تواند با افزایش میزان نیتروژن در گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها شده باشد که به دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و درنهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، عناصر ریزمغذی بخصوص آهن و روی در ساختمان کلروفیل نقش دارند، کاهش فتوسنتز در گیاهان مبتلا به کمبود عناصر ریزمغذی می‌تواند به کاهش در مقدار کلروفیل و اختلال در ساختمان طبیعی کلروپلاست منجر گردد (Yakan et al., 2000)؛ بنابراین تأمین این عناصر ریزمغذی نیز می‌تواند به باعث افزایش محتوی کلروفیل گیاه گردد.



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کودی بر صفت میزان کلروفیل a برگ ذرت. C= شاهد بدون کود، rNPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ٪۱۰۰ کود شیمیایی، bNPK= ٪۵۰ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 6. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation (Irrigation, white columns; drought stress, dark colimns) and fertilizer on amount of chlorophyll a trait in corn leaf. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

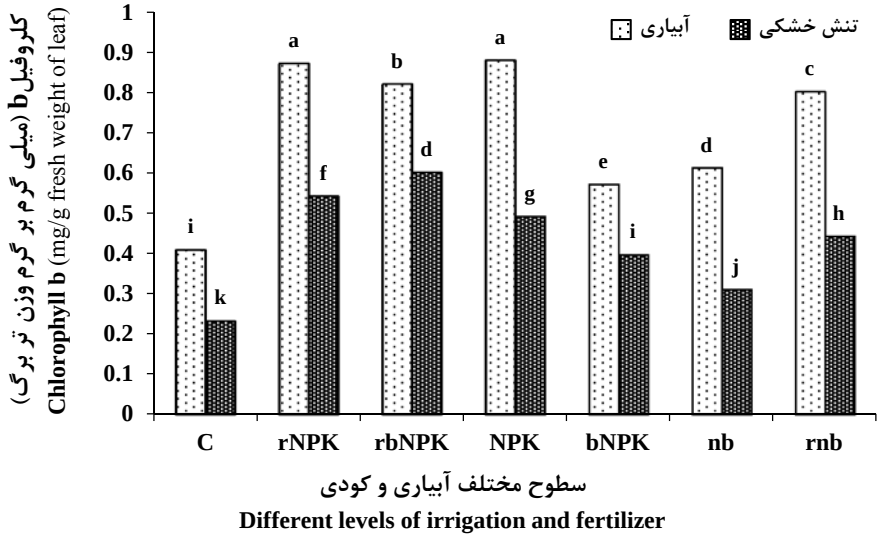
کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) که اثر سطوح آبیاری، کود و اثر متقابل این دو عامل در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوی کلروفیل b برگ تأثیر داشت. در کلیه سطوح کودی، میزان کلروفیل b در برگ‌های ذرت تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار این صفت در برگ ذرت‌های تحت آبیاری کامل بود (شکل ۷). احتمالاً مقدار مناسب آب، در حفظ کلروپلاست و به دنبال آن در انجام وظایف کلروفیل‌ها مانند جذب و انتقال انرژی مؤثر واقع می‌شود (Klynger da Silva Lobato et al., 2013). مطابق تحقیقات انجام‌گرفته، کاهش غلظت کلروفیل ناشی از تنش خشکی می‌تواند به دلیل تجزیه کلروفیل و پراکسیداسیون آن توسط گونه‌های فعال اکسیژن باشد (Bahavar et al., 2009). چراکه گونه‌های فعال اکسیژن

www.SID.ir

Archive of SID

باعث تخریب لیپیدها، پروتئین‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند. کاهش محتوی کلروفیل در شرایط تنش خشکی را به کاهش پایداری غشاء کلروپلاست و تخریب آن نسبت داده‌اند (Gnaana and Paliwal, 2011). نتایج مقایسات میانگین سطوح کودی در شرایط تنش نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b (۰/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به تیمار مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی مربوط بود که با سایر تیمارهای کودی تفاوت قابل‌توجهی داشت. کمترین مقدار این صفت (۲۲,۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به تیمار شاهد بدون مصرف کود اختصاص پیدا کرد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای کودی نشان داد. کمبود نیتروژن در گیاه منجر به کلروزه شدن و درنتیجه کاهش رشد و پیری زودرس گیاه می‌شود و شاید به همین دلیل است که محتوی کلروفیل گیاه در شرایط عدم مصرف کود از سایر تیمارها کمتر بود. ازآنجایی‌که عناصر ریزمغذی بخصوص آهن و روی در ساختمان کلروفیل نقش دارند، کاهش فتوسنتز در گیاهان مبتلا به کمبود عناصر ریزمغذی می‌تواند به کاهش در مقدار کلروفیل و اختلال در ساختمان طبیعی کلروپلاست منجر گردد (Yakan et al., 2000)؛ بنابراین با محلول‌پاشی این عناصر می‌توان شاهد افزایش میزان کلروفیل در شرایط تنش بود. زمانی که گیاه در مراحل رویشی یا زایشی رشد در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها می‌تواند موجب افزایش کلروفیل شود یا به عبارتی از کاهش شدید کلروفیل جلوگیری کند (احتمالاً به‌واسطه کاهش تولید پراکسیدهیدروژن) و این امر سبب جلوگیری از کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سبزینگی شده و درنتیجه رشد نسبتاً مطلوب گیاه می‌گردد و به این طریق به گیاه کمک می‌کند تا حدود زیادی ثبات عملکرد خود را حفظ نماید (Vebric et al., 2005). در بین تیمارهای کودی، بیشترین مقدار کلروفیلb (۰/۸۷میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در ذرت‌های تحت تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در شرایط آبیاری کامل حاصل شد که با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی+ریزمغذی، تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان این صفت (۰/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) نیز در ذرت‌های تحت تیمار عدم مصرف کود حاصل شد که با سایر تیمارهای کودی تحت شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۷).



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان کلروفیل b برگ ذرت. C= شاهد بدون کود، rNPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی، bNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 7. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation (Irrigation, white columns; drought stress, dark colimns) and fertilizer on amount of chlorophyll b in corn plant. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

www.SID.ir

Archive of SID

به‌واسطه‌ی ارتباط مستقیم بین غلظت نیتروژن و کلروفیل برگ (Motalebifard, 2016)، تأمین کافی نیتروژن از طریق استفاده از کود شیمیایی نیتروژنه و همچنین تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت اتمسفری (کودهای زیستی) باعث افزایش میزان تولید کلروفیل در گیاه ذرت گردید؛ بنابراین به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت مصرف کودهای شیمیایی با افزایش میزان نیتروژن گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها شده و درنتیجه سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و درنهایت رشد و عملکرد افزایش می‌یابد.

کلروفیل کل برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۳) که کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد به‌وسیله اثر توأم سطوح آبیاری و کاربرد کودها تحت تأثیر قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارها برای میزان کلروفیل کل نیز نشان-دهنده‌ی روند مشابه با کلروفیل a است، به‌طوری‌که در کلیه تیمارهای کودی، ذرت‌های تحت آبیاری کامل در مقایسه با ذرت‌های تحت تنش خشکی در مرحله گلدهی، محتوی کلروفیل کل بیشتری در برگ‌های خود داشتند. در شرایط اعمال تنش خشکی، کمترین میزان کلروفیل کل (۶,۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به شاهد بدون مصرف کود تعلق داشت که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای با سایر تیمارها نشان داد. بیشترین محتوی کلروفیل کل (۱/۷۸میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط تنش به تیمار کودی مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات+ریزمغذی اختصاص پیدا کرد که با تیمارهای کودی کاربرد کودهای زیستی + ریزمغذی و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در یک گروه آماری قرار گرفتند. بیشتر بودن محتوی کلروفیل در تیمار مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی می‌تواند تا حدودی به علت تأمین عناصر ریزمغذی در کنار تأمین عناصر ماکرو و نقش این عناصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل در گیاه باشد (Movahedi - dehnavi et al., 2004).

در شرایط آبیاری کامل، بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی (۲/۲۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کمترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد بدون مصرف کود (۳,۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) به‌دست آمد (شکل ۸). در شرایط آبیاری کامل بین ذرت‌های تحت تیمارهای مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی، بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی و ۵۰ درصد کود شیمیایی + بیوسوپرفسفات + ریزمغذی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. نیتروژن یک عنصر کلیدی برای تولید رنگیزه‌ی سبز و افزایش کلروفیل در گیاه گزارش شده است (Shah et al., 2004). به‌واسطه‌ی شرکت نیتروژن در ساختار کلروفیل، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین نیتروژن برگ و مقدار کلروفیل وجود دارد. کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی در این تحقیق، به شکل‌های مختلف با افزایش نیتروژن در دسترس گیاه، باعث افزایش کلروفیل گیاه شده است.

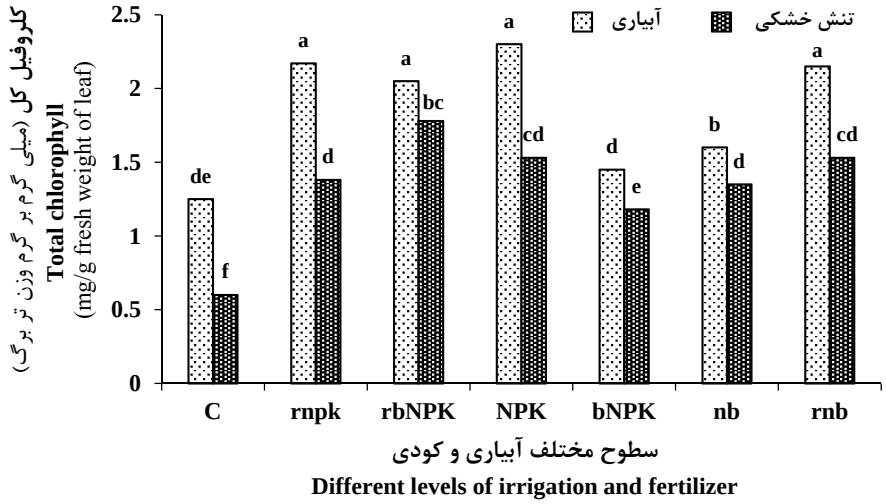
نیتروژن به‌واسطه‌ی نقشی که در تولید و صدور هورمون سیتوکنین از ریشه به اندام‌های هوایی دارد، موجب افزایش سرعت تقسیم سلولی و افزایش رشد گیاه می‌شود. از طرف دیگر نیتروژن به‌طور غیرمستقیم و به‌واسطه‌ی سیتوکنین بر هورمون جیبرلین اثر می‌گذارد و به‌این‌ترتیب سبب افزایش رشد بخش‌های انتهایی شاخه‌ها و برگ‌های جوان و همچنین بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (Shah et al., 2004)

عملکرد دانه

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که اثر متقابل سطوح آبیاری و سطوح کودی بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده است (جدول ۳). نتایج نشان داد که تنش خشکی در مقایسه با شرایط آبیاری کامل عملکرد دانه را به‌طور چشمگیری کاهش داد و این کاهش در تمامی تیمارهای کودی قابل‌مشاهده بود. در مقایسه تیمارهای کودی در شرایط تنش خشکی، مشاهده گردید که کمترین عملکرد دانه در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارهای کودی بود. تیمارهای مصرف کود باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی گردید و بالاترین عملکرد دانه (۷۸۴۰ کیلوگرم در هکتار) در ذرت‌های تحت تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی + ریزمغذی به دست آمد که به‌طور چشمگیری نسبت به سایر تیمارها عملکرد بالاتری داشت (شکل ۹). کاهش عملکرد در تیمارهای تحت تنش را می‌توان ازیک‌طرف به عدم جذب کافی مواد غذایی و کاهش میزان تولید کلروفیل به دلیل عدم تأمین کافی مواد غذایی به‌ویژه ازت و از طرف دیگر، به افزایش تولید پراکسید هیدروژن (شکل ۱) و به‌تبع آن افزایش

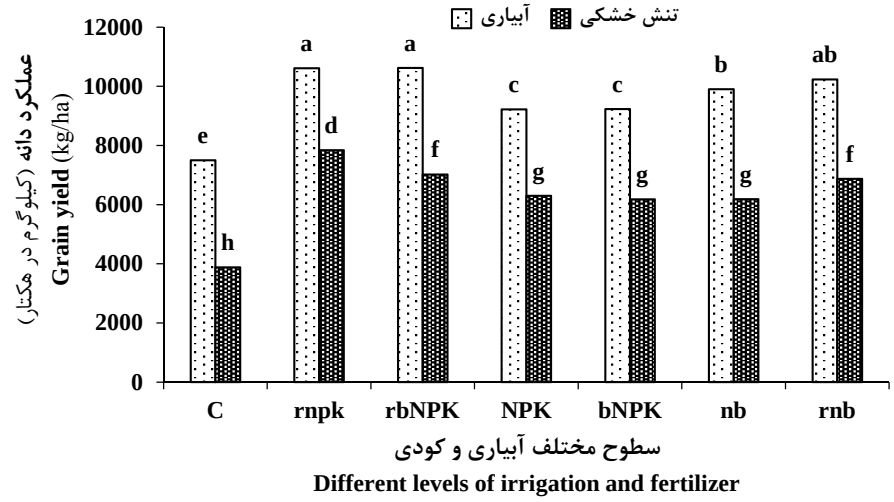
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان کلروفیل کل برگ ذرت. C= شاهد بدون کود، rNPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی، bNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 8. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation (Irrigation, white columns; drought stress, dark colimns) and fertilizer on amount of total chlorophyll in corn leaf. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کودی بر میزان عملکرد دانه ذرت C .= شاهد بدون کود، rNPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی + ریزمغذی، rbNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات + ریزمغذی، NPK= ۱۰۰٪ کود شیمیایی، bNPK= ۵۰٪ کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات، nb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین، rnb= بیوسوپرفسفات + نیتروکسین + ریزمغذی.

Fig. 9. Comparison of means for interaction effects between different levels of irrigation and fertilizer on amount of corn grain yield. C= control without fertilizer, rNPK= 100% chemical fertilizer + micronutrients, rbNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate + micronutrients, NPK= 100% chemical fertilizers, bNPK= 50% chemical fertilizer + Biosuperphosphate, nb= Biosuperphosphate + nitroxin, rnb= Biosuperphosphate + nitroxin + micronutrients.

پراکسیداسیون لیپیدی غشاء (شکل ۵الف) و کاهش محتوی کلروفیل (شکل‌های ۶، ۷ و ۸) گیاه نسبت داد که درنهایت باعث کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی و کاهش تولید در گیاه شده است. تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه در شرایط تنش خشکی به‌واسطه مصرف کودها باعث گردید ضمن اینکه گیاه از کلروفیل بیشتر و فتوسنتز بالاتر برخوردار باشد به دلیل

www.SID.ir

Archive of SID

تولید مقادیر بیشتر اسمولیت‌های سازگار ازجمله پرولین و همچنین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از توان مقابله بیشتری با تنش خشکی برخوردار باشد و بتواند رشد و عملکرد مناسب-تری داشته باشد. در شرایط آبیاری کامل، بیشترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۶۲۰ کیلوگرم در هکتار به ذرت‌های تحت تیمار مصرف ۵۰ درصد کود شیمیایی+ بیوسوپرفسفات+ ریزمغذی و همچنین ۱۰۰ درصد کود شیمیایی+ ریزمغذی اختصاص داشت. این تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری با تیمار کودی بیوسوپرفسفات+ نیتروکسین+ ریزمغذی نداشتند (شکل ۹).

در شرایط آبیاری کامل نیز کمترین عملکرد دانه به تیمار شاهد بدون مصرف کود تعلق داشت و تیمارهای مصرف کود باعث افزایش چشمگیر عملکرد دانه در واحد سطح گردید به‌طوری‌که احتمالاً تأمین مناسب عناصر غذایی ماکرو به‌ویژه ازت (که در سنتز پروتئین و کلروفیل نقش اساسی دارد) و فسفر (که در ذخیره و انتقال انرژی در گیاه نقش دارد) و عناصر ریزمغذی (آهن و روی) برای گیاه توسط این تیمارهای کودی باعث تولید بالای کلروفیل در گیاهان تحت این تیمارهای کودی گردید که درنهایت موجبات فتوسنتز و ماده‌سازی مناسب و به‌تبع آن بهبود و افزایش عملکرد دانه را برای این گیاهان فراهم نمود. به‌طوری‌که در شکل ۹ ملاحظه می‌گردد هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط آبیاری کامل، بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمارهایی بود که در آن‌ها عناصر ریزمغذی مورداستفاده قرار گرفته بود. آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد و فردوکسین، پروتئین حامل آهن است که در انتقال الکترون درگیر است (Manoochehri et al., 2005)، بنابراین طبیعی است که با افزایش آهن در برگ میزان کلروفیل برگ افزایش‌یافته، فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و از این طریق افزایش کربوهیدرات‌ها و مواد پروتئینی در گیاه افزایش یابد و ازآنجایی‌که بخشی از این مواد در دانه ذخیره می‌شود درنهایت، افزایش عملکرد را در پی داشته باشد.

در پنبه نتایج مشابهی مبنی بر تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در افزایش عملکرد دانه گزارش شده است (Sawan et al., 2001). تأثیر مثبت کودهای زیستی مورداستفاده در این تحقیق بر عملکرد دانه می‌تواند ناشی از توانایی بالای میکروارگانیسم‌های موجود در این کودها به لحاظ در دسترس قرار دادن تدریجی و مداوم عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن و فسفر و عناصر غذایی کم‌مصرف مانند آهن و منگنز (Daoodi-fard, 2011)، ایجاد تعادل در جذب عناصر غذایی (Aojaghlo et al., 2007)، تولید هورمون‌های محرک رشد ازجمله اکسین، سیتوکنین و جیبرلین و سنتز اسیدهای آمینه برای گیاه باشد (Gutierrez et al., 2001).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد تنش خشکی به‌واسطه کاهش میزان سنتز کلروفیل (a،b و کل) و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (H_2O_2) و درنتیجه، افزایش تجزیه کلروفیل و پراکسیداسیون لیپیدی غشاء باعث کاهش عملکرد دانه ذرت گردید. استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی (ماکرو و میکرو) از طریق بهبود فتوسنتز و افزایش تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تا حدودی موجب کاهش فعالیت گونه-های فعال اکسیژن و اثرات تخریبی آن‌ها بر کلروفیل و غشاهای بیولوژیک گردید و نه‌تنها در شرایط تنش خشکی بلکه در شرایط آبیاری کامل نیز عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد بدون کود به‌طور معنی‌داری افزایش داد و دراین‌بین، نقش عناصر ریزمغذی بسیار محسوس و قابل‌توجه بود. لذا استفاده از این کودها در مقادیر مناسب می‌تواند باعث بهبود عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش خشکی گردد و اثرات تنش کمبود آب بر رشد و عملکرد گیاه ذرت را تا حدودی کاهش دهد.

منابع

Ahmadi, A., Sio-se marde, A., 2004. Effect of drought stress, proline, chlorophyll and soluble carbohydrate in four wheat cultivars are compatible with different climatic conditions. Journal of Agricultural Science. 35, 763-753. [In Persian with English summary].

Akbari, P., Ghalavand, A., Modarres Sanavy, R. P.M., 2008. Effects of different nutrition systems and biofertilizer (PGPR) on

www.SID.ir

Archive of SID

phenology period yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Electronic Journal of Crop Production. 2(3), 134-119. [In Persian with English summary].

Aojaghlo, F., Farahvashzadeh, F., Gavan-shir, P., 2007. The effect of bio-fertilizer and phosphate with insemination fertile azotobacter on yield of safflower. Journal of Agricultural Science. 1, 51-39. [In Persian with English summary].

Arnon, D.I., 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24, 15-25.

Bahavar, N., Ebadi, A., Tobeh, A., Jamati Somarin, S.H., 2009. Effects of nitrogen application on growth of irrigated chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress in hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Sciences. 3, 448 – 455.

Barker, D.L., Sulivan, C.Y., Moser, L.E., 1993. Water deficits effect on osmotic potential, cell wall elasticity and prolin in five grass. Journal of Agronomy. 85, 250-275.

Bates, L.S., Waldern R.P., Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Journal of Plant and Soil. 39, 205-107.

Cakmak, I., Horst, W.J., 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). Physiologia Plantarum. 83, 463-468.

Chance, B.A., Maehly, C., 1995. The Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick, S.P., Kaplan, N.D., (eds.), Methods in Enzymology. Academic Press. New York. 2, 764-775.

Davoodi-fard, M., 2011. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (Azotobacter, Azospirillum, Pseudomonas) and foliar application of amino acids and silicic acid on drought resistance of wheat (*Triticum aestivum*). MSc dissertation. Islamic Azad University, Roodehen Branch, Iran [In Persian].

Delaney, A.J., Hu, C.A.A., Kishor, K.P.B., Verma, D.P.S., 1993. Cloning ornithine-aminotransferase cDNA from Vigna anconitifolia by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline biosynthesis. Journal of Biology. 268, 18673-18678.

Esfandiari, E., Alavi-Kia, S.S., Bahmani, A., Azami, M.A., 2009. The effect of light on ROS- scavenging systems and lipid peroxidation under cold conditions in saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agriculture Research. 4, 378-382. [In Persian with English summary].

FAO. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

Gilick, B. R., Penrose, D., Wenbo, M., 2004. Bacteria promotion of plant growth. Biotechnology Advances. 19, 135-138.

Gnaana, S., Paliwal, K., 2011. Drought induced changes in growth, leaf gas exchange and biomass production in Albizia lebbeck and Cassia siamea seedlings. Environmental Biology. 32, 173-178.

Gutierrez- Manero, F.J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouachi, J., Tadeo, F.R., Talon, M., 2001. The plant- growth promoting rhizobacteria Bacillus pumilus and Basillus licheniformis produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum. 111, 206-211.

Han, H., Supanjani, S., Lee, K. D., 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium soluble bacteria on mineral uptake and growth of popper and cucumber. Plant, Soil and Environment. 52, 103-106.

Hare, P.D., Cress, W.A., Van Standen, J., 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. Plant, Cell and Environment. 21, 535- 553.

Hernandez, J., Jimenez, A., Mullineaux, A., Sevilla, P., 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defenses. Plant, Cell and Environment. 23, 853-862.

Heuer, B., 1994. Osmoregulatory role of proline in water stress and salt- stressed plants. In: M. Pessarkli (ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Pub., New York. Pp. 363- 481

Irigoyen, J., Emerrich, J.D.W., Sanchez- Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plants. Journal of Plant Physiology. 84, 55-60.

Klynger da Silva Lobato, A., Maria Silva Guedes, E., Jose Marques, D., Ferreira de Oliveira

www.SID.ir

Archive of SID

Neto, C., 2013. Silicon: A benefic element to improve tolerance in plants exposed to water deficiency. Book chapter. Pp. 95-113. http://dx.doi.org/10.5772/53765

Koocheki, A., Ghorbani, R., Tabrizi, L., Victim, R., 2008. The evaluation of the effect of biological fertilizer on growth, yield and characteristics of qualitative characteristics of medicinal herb hyssop (*Hyssopus officinali*). Iranian Journal of Agronomic Research. 6, 137-127. [In Persian with English summary].

Li- ping, B., Fang-Gong, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L., Guang-Sheng, Z., 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. Pedosphere. 16, 326-332.

Loreto, F., Velikova, V., 2001. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. Journal of Plant Physiology. 127, 1781-1787.

Luna, C.M., Pastori, G.M., Driscul, L.S., Groten, K., Bernard, S., Foyer, C.H., 2005. Drought control on H2O2 accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. Journal of Experimental Botany. 56, 417-423.

Mac Adam, J.W., Nelson, C.J., Sharp, R.E., 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Plant Physiology. 99, 872-878.

Malakouti, M.M., Tehrani, M.J., 1999. The role of micronutrients in enhancing the yield and quality improvement of agricultural products, "Micro elements with macro effect". Tarbiat Modares University of Tehran publication. Iran. 328 p. [In Persian].

Manoochehri, A., Mousavi, A., Torkzadeh, M., 2007. The effect of a kind of epibrassinolide on the accumulation of Malone de-aldeied and amount of sugar, pigments, Proline of photosynthetic on rape seed (*Brassica napus* L.) under water deficit. Iranian Journal of Biology. 18, 295-306. [In Persian with English summary].

Malek Ahmadi, F., Manoochehri Kalantari, Kh., TorkZadeh, M., 2005. The effect of flooding stress on induction of oxidative stress and concentration of mineral element in pepper (*Capsicom annum* L.) plant. Iranian Journal of Biology. 18(2), 110-119. [In Persian with English summary].

Manoochehri-Kalantari, Kh., Ahmad Mousavi, P., 2005. Effect of paclobutrazol in the oxidant antibodies rally of tomato seedlings (*Lycopersicum esculentom*) under cold stress, Iranian Journal of Biology. 20, 217-206. [In Persian with English summary].

Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science. 7, 405-410.

Movahedi–dehnavi, M., Modares sanavi, S.A. M., Soroush-Zadeh, A., Jalali, M., 2004. The changes to the amount of total soluble sugars, PROLINE, chlorophyll (SPAD) chlorophyll fluorescence and safflower cultivars lutea under drought stress and fitted on the dissolved evaporation and manganese. The Desert, 9, 93-109. [In Persian with English summary].

Motalebifard, R., 2016. The Effect of Irrigation and Nitrogen on Growth Attributes and Chlorophyll Content of Garlic in Line Source Sprinkler Irrigation System. Journal of Water and Soil. 30, 1043-1058. [In Persian with English summary].

Pedrol, N., Ramos, P., Riegosa, M.J., 2000. Phenotypic plasticity and acclimation to water deficits in velvet- grass a long- term greenhouse experiment. Changes in leaf morphology photosynthesis and stress-indused metabolites. Journal of Plant Phisiology. 157, 383- 393.

Poor taghi, A., 2010. Reviews for physiological responses to water deficit stress sunflower. Ph. D dissertation. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Karaj, Iran. [In Persian].

Rajai, Q., Alikhani, H., Raeesi, F., 2007. The effect of the stimulus for the growth of the potential strain of azotobacter chroococcum native fitted on the growth, yield and uptake of nutrients in wheat. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 11(41), 296-285. [In Persian with English summary].

Saleh-Rastin, N., 2011. Biological fertilizer and its role in order to achieve sustainable agriculture. The necessity of industrial production in the country. Publication of Agricultural Education Agricultural Jihad Ministry, Karaj, Iran. [In Persian].

Sawan, Z. M., Hafez, S. A., Basyony, A. E., 2001. Effect of nitrogen fertilization and foliar

www.SID.ir

Archive of SID

application of plant growth retardant and zinc on cotton seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. Journal of Agronomy and Crop Science. 186, 183-191.

Sadizadeh, M., Abbasi, F., Boghizadeh, A., yazdanpanah, A., 2009. The Effect of salicylic acid and ascorbic acid on some of resistance mechanisms to drought stress in Echium amoenum. American-Eurasian. Journal Agriculture and Environment Science. 6(3), 262-267.

Schonfeld, M.A., Johanson, R.C., Carver, B.F., Mornhinweg, D.W., 1988. Water relation in winter wheat at drought resistance indicators. Crops Science. 28, 526- 531.

Shah, A.N., Rahman, M.M., Oad, F.C., 2004. Effects of NP combinations on the seed yield and oil contents of mustard (*Brassica juncea*). Asian Journal of Plant Sciences. 3, 256-257.

Trovato M., Mattioli R., Costantino P., 2008. Multiple roles of praline in plant stress tolerance and development. Rendiconti Lincei. 19, 325-346.

Veberic, R., Vodnik, D., Stampar, F., 2005. Influence of foliar- applied phosphorus and potassium on photosynthesis and transpiration of “Golden Delicious” apple leaves (*Malus domestica* Borkh.). Acta Agriculture Slovenica, 85(1), 143-155.

Yakan, H., Gurbuze, M. A., Avsar, F., Surek, H., Beser, N., 2000. The effect of zinc application on rice yield and some agronomic characters. Cahiers Option Mediterraneans. 58, 1-5.

Yegappan, T.M., Paton, D.M., Gates, C.T., Muller, W.J., 1982. Genetic variability of sunflower cultivars. Water stress in sunflower response of cypsela size. Annuals of Botany. 4, 63-65.

www.SID.ir