نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره ۳۰ - شماره ۱ - پیاپند ۱۱٤ بهار ۹٦

فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در اثر محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد در شرایط تنش خشکی در ذرت KSC 704

Current of photosynthesis and remobilization of assimilate affected spraying growth regulator under drought stress condition on maize cultivar KSC 704

علی ماهرخ[1*]، مجید نبی پور[2]، حبیب الله روشنفکر دزفولی[3] و رجب چوکان[4]

۱. دانشجوی سابق دانشگاه شهید چمران اهواز واستادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (نگارنده مسئول)
۲. استاد گروه زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴. استاد بازنشسته مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۸/۲۰

چکیده

ماهرخ، ع.، نبی پور، م.، روشنفکر دزفولی، ح.، چوکان، ر.
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ۱ - پیاپند ۱۱٤ بهار ۹٦: ۴۸-۳۳

این مطالعه به منظور تعیین فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در اثر تغییرات تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین و اکسین در شرایط تنش خشکی در ذرت سینگل کراس ۷۰٤ انجام شد. آزمایش در سه محیط جداگانه، شامل محیط بدون تنش خشکی، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله رشد زایشی انجام شد. تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین در سه سطح (شاهد، محلول‌پاشی در مرحله پنج تا شش برگی و هشت تا ده برگی) و اکسین در سه سطح (شاهد، محلول‌پاشی در مرحله ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم) در هر محیط درسه تکرار بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. تأثیر تنش خشکی بر میزان، کارایی و سهم فتوسنتز جاری و سهم انتقال مجدد در سطح احتمال یک درصد و بر کارایی انتقال مجدد در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۲/۸۰ تن در هکتار در شرایط عدم تنش خشکی و کمترین عملکرد دانه با میانگین ٦/۵۰ تن در هکتار در شرایط تنش زایشی حاصل گردید. تنش خشکی در مرحله رشد زایشی باعث کاهش میزان فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه به ترتیب به مقدار ٦۱/٤۳ و ۲۸/۱۸ درصد گردید و همچنین باعث افزایش انتقال مجدد و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به ترتیب به مقدار ٤۰/٦۸ و ۲۸/۱۸ درصد گردید. بیشترین و کمترین میزان انتقال مجدد با میانگین ۲۱۳/۲۲ و ۱۳۸/۸۹ گرم در متر مربع به ترتیب در شرایط تنش زایشی و رویشی بدست آمد. فتوسنتز جاری و میزان انتقال مجدد در محیط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و محیط بدون تنش خشکی غیر معنی‌دار بود. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی (آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) برای صرفه جویی در مصرف آب آبیاری مؤثر خواهد بود. همچنین محلول‌پاشی تنظیم کننده رشد سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی باعث افزایش میزان فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه به ترتیب به مقدار ۱۳/۷٤ و ۱۱/۱۰ درصد گردید و محلول‌پاشی تنظیم کننده رشد اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش میزان انتقال مجدد و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به ترتیب به مقدار ۲٤/۹۵ و ٤/۳۸ درصد گردید. بنابراین محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی در افزایش فتوسنتز جاری و اکسین در مرحله ظهور ابریشم در افزایش انتقال مجدد و نهایتا عملکرد دانه مؤثر خواهد بود.

واژه های کلیدی: اکسین، سیتوکینین، سهم فتوسنتز جاری، کارایی فتوسنتز جاری، مراحل رشد

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: ali_mahrokh229@yahoo.com

مقدمه

در میان تنش‌های غیر زیستی، خشکی مهمترین عامل محدودیت تولید ذرت است (Sallah, *et al.* 2002). تخمین زده شده است که خشکی بیش از ۵۰ درصد از عملکرد ذرت در سراسر جهان را کاهش می‌دهد. ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است که میانگین تبخیر و تعرق در آن نسبت به میانگین بارندگی بسیار بالا می‌باشد، از این رو تنش های محیطی بخصوص تنش خشکی به صورت عمده ترین عامل محدود کننده تولید ذرت درآمده است. تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش فتوسنتز می‌شود (Lawlor, 2002; Marthinez, *etal*.2007) و کاهش فتوسنتز جاری از طریق کاهش دوره پر شدن دانه باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Beheshti and Behboodi, 2010).

ذرت این قابلیت را دارد که در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره شده به دانه از کاهش شدید عملکرد جلوگیری نماید. میزان این انتقال مجدد که در شرایط تنش یک شاخص نسبتاً مطلوب فیزیولوژیک محسوب می‌شود به عواملی همچون ژنوتیپ، تراکم، شدت تنش و زمان وقوع تنش بستگی دارد (Lak, *etal*. 2008). معمولاً تنش خشکی در دوره پرشدن دانه منجر به القاء پیری زودرس و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه می‌شود اما باعث افزایش انتقال مجدد مواد پرورده ذخیره شده از ساقه به دانه می‌شود (Plaut 2004 .*etal*,). در آزمایشی میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه ذرت بطور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و بیشترین میزان آن با میانگین ۱۶۴/۴۲ گرم در متر مربع در تنش خشکی متوسط مشاهده شد (Lak, *etal*. 2008).

تقریباً تمام فرایندهای زندگی گیاهان بطور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر تنش‌ها و تنظیم کننده‌های رشد گیاهی قرار می‌گیرند (POSPisILOVA, 2003). تنظیم کننده‌های رشد گیاه بطور گسترده‌ای بصورت طبیعی و سنتزی در محصولات کشاورزی بعنوان عاملی در جهت بهبود گیاهان زراعی استفاده می‌شوند (POSPisILOVA, 2003). تنظیم کننده‌های رشد گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین بعنوان تنظیم کننده‌های دخیل در پاسخ‌های گیاهی به اثرات نامطلوب شرایط محیطی شناخته شده هستند (Kaya, etal., 2009; Walker, and Dumbroff, 1981). برخی مطالعات نشان می‌دهد که تنظیم کننده رشد کننده‌های برای انتقال و تسهیم فراورده‌های فتوسنتزی برای پر شدن دانه در غلات ضروری هستند و بنابراین می‌توانند در تنظیم وزن دانه و عملکرد دخیل باشند (Ahmadi and Baker,1999).

آندوسپرم اصلی‌ترین ماده خشک دانه ذرت را تشکیل می‌دهد و باعث تسلط مقصد برای

دریافت مواد فتوسنتزی و دیگر اسیمیلات‌ها در طی رشد زایشی می‌شود. سرعت افزایش وزن تر آندوسپرم در طی تقسیم سلولی با غلظت اکسین هماهنگ است (Lur' and Setter,1993). اکسین با تأثیر بر تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های آندوسپرم و یا کنترل مواد پرورده مهم به سمت مقصد بر قدرت آن دخیل است (Hansen and Grossmann, 2000). سیتوکینین‌ها نیز نقش مهمی را در تنظیم رشد و نمو گیاه بازی می‌کنند. سیتوکینین باعث تجمع کلروفیل و تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست و تأخیر پیری برگ می‌شود (Brault, and Maldiney,1999). افزایش بیشتر اینوتاز در اثر کاربرد سیتوکینین ممکن است باعث تحریک تخلیه آوند آبکش از ساکاروز و در نتیجه افزایش تبدیل ساکاروز به هگزوزها شود (Satvir, *etal*.2000).

برخی محققین (Yang, *etal*.,2003) اعلام کردند که تنظیم کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین در دانه ممکن است باعث تقسیم سلولی در آندوسپرم برنج در اوایل مرحله پر شدن دانه شوند و بنابراین در تعیین اندازه مقصد (دانه) دخیل هستند. بطور کلی اعتقاد عمومی بر این است که میزان پر شدن دانه در غلات ارتباط نزدیکی با قدرت مقصد دارد (Liang, etal.2001). تصور می‌شود که تنظیم کننده‌های رشد در مقصد فاکتور تعیین کننده برای قدرت دانه باشند (Brenner and Cheikh, 1995). اکسین با تأثیر بر تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های آندوسپرم و یا کنترل مواد پرورده مهم به سمت مقصد دخیل هستند (Hansen and Grossmann, 2000).گزارش شده است که تجزیه نشاسته و تجمع قندهای محلول در آندوسپرم گندم توسط سیتوکینین افزایش می‌یابد که این امر منجر به افزایش شیب اسمزی برای ورود آب می‌شود (Boothby and Wright, 1962). همچنین بیان شده است که مقدار اکسین در مرحله پر شدن دانه گندم به حداکثر مقدار خود می‌رسد و نقش مهمی را در تنظیم پر شدن دانه بازی می‌کند (Brenner and Cheikh, 1995). اثرات مثبت اکسین در نمو دانه گندم در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی در سایر مطالعات نیز اثبات شده است (Darussalam Cole and Patrick,1998). برخی از محققین اعلام کردند که پر شدن کمتر دانه در برنج به مقدار کم اکسین ارتباط دارد (Wang,etal.1998; Yang, etal. 1999). همچنین پیشنهاد شد که تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین و اکسین از طریق تغییر تقسیم سلول‌های آندوسپرم و ایجاد قدرت کشش مقصد، میزان پر شدن دانه را در مراحل اولیه تنظیم می‌کنند.

نتایج برخی مطالعات (Yang, etal. 1999) نشان داد که انتقال مجدد کربن ذخیره شده در گندم و برنج بوسیله تنش رطوبتی افزایش می‌یابد و کمبود آب تحمیل شده در دوره پر شدن دانه باعث افزایش پیری گیاه و تسریع پر شدن دانه می‌شود. در فرضیه‌ای بیان شد که اکسین

ممکن است به همراه سیتوکینین باعث تحریک تقسیم سلولی شود. در این آزمایش(Singh and Gerung,1982)سطوح بالای اکسین در مقصد توانست ایجاد یک قدرت جذب کند که این امر منجر به افزایش سطوح سیتوکینین در دانه شد. در مطالعه‌ای (Wang,etal.1998) مقدار سیتوکینین و ایندول -۳-استیک اسید (اکسین) در دانه موقتاً در ابتدای مرحله پر شدن دانه افزایش یافت و تیمارهای تنش خشکی به سرعت آن‌ها را در اواخر پر شدن دانه کاهش داد. بر اساس نتایج این آزمایش تغییر تعادل تنظیم کننده رشد در دانه برنج بوسیله تنش خشکی در طی پر شدن دانه، بویژه کاهش در جیبرلین و افزایش ABA باعث افزایش انتقال مجدد کربن از قبل ذخیره شده به سمت دانه و تسریع در سرعت پر شدن دانه می‌شود.

گزارش شده است که در مرحله پر شدن دانه، افزایش نسبت آبسیزیک اسید به سیتوکینین در برگ‌ها، باعث کاهش سطح برگ، افزایش مرگ بافت‌های گیاهی، افزایش میزان تنفس و نهایتاً کاهش تجمع ماده خشک و افزایش انتقال مجدد در ذرت می‌شود (Murchie, etal. 2002).

در این آزمایش میزان فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در اثر محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین و اکسین در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مؤسسه تحقیقات اصلاح وتهیه نهال و بذر کرج، طی سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. این مزرعه در کرج با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا بین ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی واقع شده است. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵ میلی‌متر بوده که با زمستان‌های سرد جزو مناطق سرد کم باران به شمار می‌رود. بافت خاک مزرعه رسی- شنی، با جرم مخصوص ظاهری حدود ۱/۳۶ گرم بر سانتیمتر مکعب، pH حدود ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر و ظرفیت زراعی حدود ۲۶ درصد وزنی می‌باشد. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره بود. براساس آزمون خاک، قبل از کاشت، به ترتیب حدود ۹۲ و ۵۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به ترتیب از منبع اوره و فسفات آمونیوم و ۱۳۸ کیلوگرم فسفر خالص از منبع فسفات آمونیوم مصرف شد و در مرحله ۸-۶ برگی نیز معادل ۹۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره بصورت سرک مصرف شد. به دلیل کفایت میزان پتاسیم خاک کود پتاس استفاده نشد. میزان موجودی خاک از نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک به ترتیب شامل ۰/۱۱ درصد، ۸/۷۲ میلی گرم در کیلوگرم و ۲۳۱/۱ میلی گرم در کیلوگرم بود.

بعد از آماده‌سازی بستر مناسب بذر، از قبیل شخم، دیسک و لولر سه آزمایش مستقل بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هر محیط اجرا

شد. در این آزمایش هیبرید KSC 704 در سه محیط جداگانه، شامل محیط یک: شاهد یا بدون تنش خشکی (آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه)، محیط دو: تنش خشکی در مرحله رشد رویشی (در مرحله V4 تا ظهور گل تاجی، آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت ولی از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت) و محیط سه: تنش خشکی در مرحله رشد زایشی(از مرحله V4 تا ظهور گل تاجی آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت ولی در مرحله گرده افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت) و تنظیم کننده رشد اکسین (در سه زمان مصرف: شاهد یا عدم مصرف، ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم) و تنظیم کننده رشد سیتوکینین (در سه زمان مصرف: شاهد یا عدم مصرف، تشکیل جوانه بلال یعنی مرحله V5-V6 و مرحله V8-V10) بصورت فاکتوریل در هر محیط، مورد ارزیابی قرار گرفت. کاشت به صورت جوی و پشته با فاصله ردیف و بوته به ترتیب ۷۵ و ۱۸ سانتی‌متر (تراکم کاشت حدود ۷/۵ بوته در متر مربع)، هر کرت آزمایشی شامل ۵ خط کاشت به طول ۶ متر بود. از ایندول بوتریک اسید و بنزیل آدنین (تهیه شده از نمایندگی شرکت مرک آلمان) به ترتیب بعنوان تنظیم کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین استفاده شد. غلظت مصرف تنظیم کننده‌های رشد اکسین و سیتوکینین به ترتیب در کرت‌های مورد نظر به مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (Shaddad, *etal*. 2011). به منظور جذب بیشتر تنظیم کننده رشد از ماده سورفکتانت توین ۲۰ (تهیه شده از نمایندگی شرکت مرک آلمان) استفاده شد و محلول‌پاشی در عصر پس از غروب خورشید انجام شد. همچنین جهت افزایش حلالیت بیشتر تنظیم کننده رشد در آب از اتانول ۷۰ درصد استفاده شد. برای از بین بردن اثرات آب و اتانول، در کرت‌های شاهد بطور همزمان ترکیب آب و اتانول محلول‌پاشی شد. برای تعیین زمان آبیاری از اندازه‌گیری رطوبت وزنی خاک در هر محیط استفاده شد و تیمارهای مختلف تنش خشکی متناسب با هر محیط آزمایش و بر اساس مراحل فنولوژیکی گیاه اعمال شد. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری در هر محیط، قبل از آبیاری نمونه برداری از خاک محیط مورد نظر تا عمق توسعه ریشه انجام شد و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد. حجم آب آبیاری با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین گردید (Alizadeh, etal. 2001). مقدار آب مصرفی با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شده بود، کنترل گردید. آبیاری نیز بصورت جوی و پشته و با

استفاده از لوله‌های هیدروفلوم و دریچه‌هایی که در ابتدای خطوط کاشت تعبیه شده بود صورت گرفت.

$$H = \rho b(\theta_{F.C} - \theta_m).D \quad [۱]$$

$$V = H \times AV = H \times A \quad [۲]$$

در رابطه‌های ۱ و ۲، H نشان دهنده ارتفاع آب داخل کرت، bρ جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C}$ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، θ_m رطوبت جرمی کرت مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری در کرت و A مساحت کرت است. برای مبارزه با علف‌های هرز قبل ازکاشت از علف‌کش ارادیکان معادل ۶ لیتر در هکتار و پس از کاشت نیز، یکبار وجین دستی در مرحله ۶-۴ برگی صورت گرفت. برای مبارزه با آفات ذرت در همین مرحله از حشره‌کش سوین به میزان ۳ لیتر در هکتار استفاده شد.

میزان انتقال مجدد، کارایی انتقال مجدد ،سهم انتقال مجدد، میزان فتوسنتز جاری، سهم فتوسنتز جاری و کارایی فتوسنتز جاری با استفاده از روابط زیر تعیین شدند (Uhart, and Andrade, 1995):

میزان انتقال مجدد (گرم در متر مربع)= وزن خشک اندام رویشی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی بدون وزن دانه (گرم در متر مربع)- وزن خشک اندام رویشی در مرحله ظهور ابریشم (گرم در متر مربع)

کارایی انتقال مجدد (درصد)= میزان انتقال مجدد (گرم در متر مربع)/ وزن خشک اندام رویشی در مرحله ظهور ابریشم (گرم در متر مربع)×۱۰۰

سهم انتقال مجدد (درصد)= عملکرد دانه (گرم در متر مربع) / میزان انتقال مجدد (گرم در متر مربع)×۱۰۰

میزان فتوسنتز جاری (گرم در متر مربع) =میزان انتقال مجدد (گرم در متر مربع) - عملکر دانه (گرم در متر مربع)

وزن خشک اندام رویشی در زمان ظهور ابریشم (گرم در متر مربع) / میزان فتوسنتز جاری (گرم در متر مربع) =کارایی فتوسنتز جاری (درصد) ×۱۰۰

سهم انتقال مجدد (درصد)-۱۰۰ =سهم فتوسنتز جاری (درصد)

نمونه برداری‌ها در مرحله ظهور ابریشم، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی زراعی جهت محاسبه روابط فوق انجام شد و به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۸۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت و سپس با ترازوی دقیق توزین گردید. برداشت نهایی نیز از سطحی معادل ۴/۵ متر مربع در زمان رسیدگی زراعی برای تخمین عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) صورت گرفت، میزان رطوبت دانه نیز با استفاده از دستگاه رطوبت سنج دیجیتالی (DICKEY JOHN DJ-Mini GAC, USA) اندازه‌گیری شد. پس از انجام آزمون بارتلت، نتایج هر سه محیط بصورت مرکب تجزیه شدند. برای محاسبه تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید، و میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تأثیر تنش خشکی بر میزان، کارایی و سهم فتوسنتز جاری و سهم انتقال مجدد در سطح احتمال یک درصد و بر کارایی انتقال مجدد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول۱).

میزان فتوسنتز جاری

تفاوت میزان فتوسنتز جاری در شرایط محیط بدون تنش خشکی و محیط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). بنابراین بنظر می‌رسد ذرت در مرحله رشد رویشی از نظر میزان فتوسنتز جاری نسبت به تنش خشکی متحمل باشد، این نظریه با مطالعات (Murchie, etal. 2002) هماهنگ است. وی در آزمایش خود گزارش کرد که تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه فتوسنتز جاری را کاهش داد، ولی در اوایل مراحل رشد تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر فتوسنتز جاری نداشت. در محیط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی میزان فتوسنتز جاری نسبت به محیط شاهد ۶۱/۴۳ درصد کاهش معنی‌داری داشت (جدول۳). به نظر می‌رسد، در شرایط کمبود رطوبت در خاک در مرحله رشد زایشی در پاسخ به سیگنال‌های ABA ارسالی از ریشه گیاه، روزنه‌های برگ بسته شده‌اند، مقاومت روزنه‌ای افزایش یافته و منجر به کاهش ورود دی اکسید کربن تثبیت شده در فرایند فتوسنتز گردیده است و نهایتاً میزان فتوسنتز جاری کاهش یافت.

محلول پاشی تنظیم کننده رشد سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگی تأثیری بر میزان فتوسنتز جاری نداشت و تفاوت آن با تیمار شاهد غیر معنی‌دار بود (جدول ۲)، ولی سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی باعث افزایش میزان فتوسنتز جاری به مقدار ۱۳/۷۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد واز ۸۵۷/۲۲ گرم در متر مربع به ۹۷۵/۰۷ گرم در متر مربع رسید (جدول۲). احتمالاً سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی سبب افزایش تقسیم سلولی و افزایش سطح برگ گردیده و باعث افزایش دریافت تشعشع فعال خورشیدی شده است، و همچنین احتمالاً سیتوکینین در این مرحله برخلاف ABA عمل کرده و مانع از بسته شدن روزنه‌ها شده و باعث افزایش میزان فتوسنتز جاری شده است. برخی پژوهشگران بیان کردند که سیتوکینین‌ها نقش مهمی را در تنظیم رشد و نمو گیاه بازی می‌کنند. سیتوکینین باعث تجمع کلروفیل و تبدیل اتیوپلاست به کلروپلاست و تأخیر در پیری برگ می‌شود که این عوامل باعث افزایش فتوسنتز جاری خواهند شد (Brault, and Maldiney,1999).

مصرف تنظیم کننده رشد اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث بیشتر شدن میزان فتوسنتز جاری شد ولی این مقدار با عدم مصرف اکسین معنی‌دار نبود (جدول ۲). بنظر می‌رسد افزایش سطح اکسین در میزان فتوسنتز جاری در ذرت مؤثر نباشد.

کارایی فتوسنتز جاری

بیشترین کارایی فتوسنتز جاری به مقدار ۸۶/۵ درصد در محیط بدون تنش خشکی ایجاد شد که تفاوت آن با کارایی فتوسنتز جاری در محیط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی غیر معنی‌دار بود (جدول ۲)، یعنی در شرایط بدون

تنش خشکی و حتی تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، نسبت ماده خشک ذخیره شده در پیکره گیاه به ماده خشک انتقال یافته به مقصد بیشتر است، ولی کارایی فتوسنتز جاری در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی به میزان ۹/۲ درصد کاهش یافت که نشان دهنده افزایش نسبت ماده خشک انتقال یافته به مقصد است تا بتواند کاهش عملکرد دانه را تا حدی جبران نماید. در آزمایشی توسط (Lak, etal. 2008) نتایج مشابهی بیان شد، نامبردگان گزارش کردند که گیاه ذرت این قابلیت را دارد که در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره شده به دانه تا حدودی از کاهش شدید عملکرد جلوگیری نماید.

محلول‌پاشی تنظیم کننده رشد سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی باعث افزایش کارایی فتوسنتز جاری به مقدار ۲/۴ درصد شد که این مقدار نسبت به تیمار شاهد و محلول پاشی در مرحله پنج تا شش برگی غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). این بدان معنی است که سیتوکینین باعث افزایش فتوسنتز جاری شده است ولی در نسبت انتقال ماده خشک از برگ و یا ساقه به مقصد بدون تأثیر بوده است. تأثیر مصرف اکسین نیز بر کارایی فتوسنتز جاری غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). بنظر می‌رسد اکسین برعکس سیتوکینین بر فتوسنتز جاری بدون تأثیر باشد.

سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه

سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری در محیط‌های بدون تنش خشکی و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی بیشترین مقدار بود ولی در محیط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی، سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری، ۲۸/۱۸ درصد کاهش یافت و به ۵۶/۷۳ درصد رسید (جدول ۲). سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه در شرایط بهینه افزایش می‌یابد ولی بهنگام وقوع شرایط نامناسب مانند تنش خشکی سهم فتوسنتز جاری کاهش یافته و سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در عملکرد دانه افزایش می‌یابد بنحوی که انتقال مجدد بصورت تعدیل کننده عمل نموده و تا حدی خسارت حاصل از نقصان فتوسنتز جاری را جبران می‌نماید. به دلیل معنی‌دار نشدن تفاوت فتوسنتز جاری در محیط بدون تنش خشکی و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی بنظر می‌رسد، احتمالاً میزان ساخت مواد فتوسنتزی در شرایط تنش در مرحله رشد رویشی به اندازه کفایت گیاه بوده است که در این شرایط نیاز به انتقال مجدد کاهش یافته است.

محلول‌پاشی تنظیم کننده رشد سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگی و هشت تا ده برگی باعث افزایش سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری شد. بیشترین سهم فتوسنتز جاری با محلول‌پاشی سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی به میزان ۸۰/۳۸ درصد حاصل شد (جدول ۲). بنظر می‌رسد سیتوکینین با افزایش تحریک تقسیم سلولی و افزایش هدایت روزنه‌ای بترتیب

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد بر تغییرات فتوسنتز جاری و انتقال مجدد در ذرت دانه‌ای

Table 1: Result of variance analysis for the effects of drought stress and spraying of growth regulators on current photosynthesis and remobilization in maize

میانگین مربعات		Mean Square						
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میزان فتوسنتز جاری Rate of current photosynthesis	کارایی فتوسنتز جاری Efficiency of current photosynthesis	سهم فتوسنتز جاری contribution of current photosynthesis	میزان انتقال مجدد Rate of remobilization	کارایی انتقال مجدد Efficiency of remobilization	سهم انتقال مجدد Contribution of remobilization	عملکرد دانه Grain yield
محیط Environment(En)	2	4268324.70**	9.910**	7489.33**	42699.00*	0.075 ns	7269.76**	**349.63
بلوک (محیط) Block(En.)	6	559080.69	0.752	375.43	21284.00	0.009	366.99	74.27
سیتوکینین Cytokinin (Cy)	2	192817.41**	0.128 ns	932.13*	11767.58 ns	0.009 ns	866.36*	ns 1.24
محیط × سیتوکینین En.×Cy.	4	10694.44 ns	0.426 ns	133.17 ns	12266.58 ns	0.025 ns	118.11 ns	ns 0.40
اکسین Auxin	2	22302.60 ns	0.160 ns	1011.38*	22219.84*	0.001 ns	896.27*	**50.73
محیط × اکسین Au.×En.	4	27175.81 ns	0.048 ns	112.52 ns	5118.00 ns	0.002 ns	94.42 ns	ns 0.90
اکسین × سیتوکینین Cy.×Au.	4	40659.61 ns	0.181 ns	396.64 ns	2150.52 ns	0.003 ns	414.99 ns	ns 3.37
محیط × اکسین × سیتوکینین Cy.×Au.×En.	8	40881.41 ns	0.412 ns	442.00 ns	13054.56 ns	0.011 ns	437.09 ns	ns 3.98
خطا (Error)	48	65129.86	0.234	357.37	20397.45	0.019	350.71	5.04

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ و معنی‌دار نبودن اثر عامل آزمایشی می‌باشند.

*, ** Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: non- significant

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ذرت دانه‌ای، تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های رشد در مراحل مختلف رشد

Table 2: Means comparison for maize current photosynthesis and remobilization as affected by drought stress and spraying of growth regulators at different growth stages

تیمار Treatment	میزان فتوسنتز جاری current photosynthesis (g per m^2)	کارایی فتوسنتز جاری Efficiency of current photosynthesis (%)	سهم فتوسنتز جاری contribution of current photosynthesis(%)	میزان انتقال مجدد Rate of remobilization (g per m^2)	کارایی انتقال مجدد Efficiency of remobilization (%)	سهم انتقال مجدد Contribution of remobilization (%)	عملکرد دانه Grain yield (t/ha)
محیط Environment							
شاهد Control	1095.3^{a}	86.5^{a}	84.91^{a}	151.56^{a}	13.5^{b}	15.09^{b}	^{a} 12.80
تنش خشکی در مرحله رویشی Drought stress at vegetative stage	1125.8^{a}	86.4^{a}	85.82^{a}	138.89^{a}	13.6^{b}	14.18^{b}	^{a} 12.67
تنش خشکی در مرحله زایشی Drought stress at reproductive stage	422.4^{b}	77.3^{b}	56.73^{b}	213.22^{a}	22.7^{a}	43.27^{a}	^{b} 6.50
محول پاشی سیتوکینین Spraying of Cytokinin							
شاهد Control	857.22b	83^{a}	69.28^{b}	186.22^{a}	17^{a}	30.72^{a}	^{a} 10.90
مرحله ۵ تا شش برگی stage V5-V6	811.22b	81.7^{a}	78.18^{a}	172.28^{a}	18.3^{a}	21.82^{b}	^{a} 10.51
مرحله هشت تا ده برگی stage V8-V10	975.07a	85.4^{a}	80.38^{a}	145.17^{a}	14.6^{a}	19.62^{b}	^{a} 10.56
محلول پاشی اکسین Spraying of Auxin							
شاهد Control	876.46^{a}	84.1^{a}	81.43^{a}	137.46^{b}	15.9^{a}	18.57^{b}	9.92 ^{b}
مرحله ظهور ابریشم Silk emergence stage	911.97^{a}	83.3^{a}	69.34^{a}	194.44^{a}	16.7^{a}	30.66^{a}	12.24 ^{a}
۱۵ روز پس از ظهور ابریشم 15 days after silk emergence	855.07^{a}	82.8^{a}	77.05^{ab}	171.76^{ab}	17.2^{a}	22.95^{b}	9.81 ^{b}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون و برای هر عامل مشترک دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشند.

Means followed by similar letter(s) in each column of each treatment are not significantly different at 5% level of probability

باعث افزایش سطح برگ و افزایش ورود دی اکسید کربن تثبیت شده، باعث افزایش سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه شده باشد. گزارش شده است که افزایش سیتوکینین در برگ‌ها، باعث افزایش سطح برگ، کاهش مرگ بافت‌های گیاهی، کاهش میزان تنفس و نهایتاً افزایش سهم فتوسنتز جاری و تجمع ماده خشک و کاهش انتقال مجدد در ذرت شده است (Murchie, etal. 2002).

محلول پاشی اکسین باعث کاهش سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه به دلیل افزایش سهم انتقال مجدد شد (جدول۲). با مصرف اکسین مقداری از مواد فتوسنتزی که ظرفیت ذخیره شدن در پیکره گیاه را داشتند به سمت دانه انتقال مجدد یافتند. اکسین با تبدیل ساکاروز به سایر هگزوزها از جمله نشاسته در آندوسپرم دانه و تداوم برقرای شیب غلظت مواد فتوسنتزی از مبدأ به مقصد باعث افزایش سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه می‌شود (Robert and John, 2004). بدیهی است که چنین مکانیزمی باعث کاهش سهم عملکرد دانه از قتوسنتز جاری در اثر مصرف تنظیم کننده رشد اکسین شود.

میزان انتقال مجدد

تنش خشکی در مرحله رشد رویشی باعث افزایش میزان انتقال مجدد نشد ولی در مرحله رشد زایشی میزان انتقال مجدد۴۰/۶۸ درصد نسبت به محیط عاری از تنش خشکی افزایش یافت و به بیشترین مقدار خود (۲۱۳/۲۲ گرم در متر مربع) رسید (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی که گیاه ذرت در این مرحله بسیار حساس است برای جبران کاهش ساخت مواد فتوسنتزی، موادی که قبلاً در پیکره گیاه ذخیره شده را به سمت دانه انتقال می‌دهد تا حدودی کاهش عملکرد در اثر کاهش سنتز مواد فتوسنتزی جبران نماید، افزایش انتقال مجدد در شرایط نامساعد محیطی مانند تنش خشکی یک عامل فیزیولوژیکی مطلوب محسوب می‌شود. نتایج برخی مطالعات (Yang, etal. 2000) نشان داد که انتقال مجدد کربن ذخیره شده در گندم و برنج بوسیله تنش رطوبتی افزایش می‌یابد.

محلول پاشی سیتوکینین تأثیری بر میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی نداشت (جدول ۱) چنین امری به دلیل زمان مصرف سیتوکینین (در مرحله رشد رویشی) بدیهی بنظر می‌رسد. ولی محلول‌پاشی اکسین باعث افزایش میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی شد (جدول۲). محلول‌پاشی اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش ۴۱/۴۵ درصدی انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مقصد شد (جدول ۲) و میزان انتقال مجدد به ۱۹۴/۴۴ گرم در متر مربع رسید. در آزمایشی بیان شده است که مقدار اکسین در مرحله پر شدن دانه گندم به حداکثر مقدار خود رسید و در تنظیم پر شدن دانه نقش مهمی دارد (Brenner and Cheikh, 1995). اثرات مثبت اکسین در نمو دانه گندم در انتقال فراورده‌های

فتوسنتزی در سایر مطالعات نیز اثبات شده است (Darussalam Cole and Patrick,1998). برخی از محققین اعلام کردند که پر شدن کمتر دانه در برنج به مقدار کم اکسین ارتباط دارد (Wang,etal.1998; Yang, etal. 1999).

کارایی انتقال مجدد

کارایی انتقال مجدد در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی نسبت به رشد رویشی و محیط عاری از تنش خشکی افزایش یافت (جدول ۲)، که نشان دهنده افزایش نسبت انتقال مواد فتوسنتزی به مواد ذخیره شده است. در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی کارایی انتقال مواد فتوسنتزی به ۲۲/۷ درصد رسید که نسبت به محیط بدون تنش خشکی ۹/۲ درصد افزایش یافت (جدول۲).

محلول‌پاشی سیتوکینین و اکسین بترتیب در مرحله پنج تا شش و مرحله ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم باعث افزایش کارایی انتقال مجدد شد که البته این مقدار غیر معنی‌دار بود (جدول۲).

سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه

سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی افزایش یافت و به ۴۳/۲۷ درصد رسید که نسبت به محیط بدون تنش خشکی ۲۸/۱۸ درصد افزایش یافت (جدول ۲). در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی فتوسنتز جاری به اندازه کفایت گیاه ادامه داشته ولی در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی با کاهش فتوسنتز جاری، مواد غذایی برای رشد مقصد به اندازه کافی نبوده و گیاه برای جبران کاهش عملکرد دانه از مواد ذخیره شده در بخش‌های مختلف گیاه استفاده کرده تا بتواند کاهش عملکرد را تا حد امکان جبران نماید.در آزمایشی (Lak, etal. 2008) میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه ذرت بطور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و بیشترین میزان آن با میانگین ۱۶۴/۴۲ گرم در متر مربع در تنش خشکی متوسط مشاهده شد.

محلول‌پاشی سیتوکینین باعث کاهش سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد (جدول ۲) به دلیل افزایش میزان فتوسنتز جاری شد. بنظر می‌رسد سیتوکینین احتمالاً باعث افزایش تقسیم سلولی و افزایش سطح برگ شده و همچنین برخلاف ABA عمل نموده،در نتیجه باعث باز شدن روزنه‌ها به مدت طولانی‌تر گردیده و نهایتاً تثبیت دی اکسید کربن افزایش یافته و باعث افزایش فتوسنتز جاری شده است و میزان نیاز گیاه به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی برای تکمیل رشد مقصد کاهش یافت.

برخلاف سیتوکینین، محلول‌پاشی اکسین در زمان ظهور ابریشم باعث افزایش سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه شد (جدول ۲). یک شیب غلظت انتقال مواد فتوسنتزی از جائیکه تولید می‌شوند (مبدأ) به جائیکه منتقل می‌شوند (مقصد) وجود دارد. تا زمانیکه این شیب برقرار

باشد مواد فتوسنتزی به سمت مقصد منتقل می‌شوند. مواد فتوسنتزی به شکل ساکاروز منتقل و به شکل نشاسته ذخیره می‌شوند. هر چقدر در دانه میزان تبدیل ساکاروز به نشاسته بیشتر شود شیب انتقال بین مبدأ و مقصد بیشتر و انتقال مواد به سمت دانه بیشتر خواهد بود (Robert and John, 2004). بنظر می‌رسد افزایش غلظت اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش تبدیل ساکاروز به نشاسته شود که افزایش غلظت آن توانسته سهم عملکرد دانه را از انتقال مواد فتوسنتزی افزایش دهد. در مرحله ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم اکسین نتوانست کارکردی مشابه با زمان ظهور ابریشم ایجاد کند. احتمالاً اکسین در این مرحله قابلیت لازم را ندارد و یا حساسیت بافت و یا اندام مورد نظر به تنظیم کننده رشد اکسین در این مرحله کاهش می‌یابد. آندوسپرم اصلی‌ترین ماده خشک دانه ذرت را تشکیل می‌دهد و باعث تسلط مقصد برای دریافت مواد فتوسنتزی و دیگر اسیمیلات‌ها در طی رشد زایشی می‌شود. سرعت افزایش وزن تر آندوسپرم در طی تقسیم سلولی با غلظت اکسین هماهنگ است (Lur' and Setter,1993). اکسین، با تأثیر بر بزرگ شدن سلول‌های آندوسپرم و یا کنترل مواد پرورده مهم به سمت مقصد بر قدرت آن دخیل است (Hansen and Grossmann, 2000).

عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه در محیط بدون تنش با میانگین ۱۲/۸۰ تن در هکتار حاصل شد (جدول ۲)، که این مقدار با میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش رویشی با میانگین ۱۲/۶۷ تن در هکتار معنی‌دار نبود (جدول ۲). عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی ۴۹/۲۱ درصد بطور معنی‌داری کاهش یافت و به ۶/۵۰ تن در هکتار رسید (جدول ۲). همچنین با توجه به اینکه سیتوکینین در گیاه عمدتاً جهت افزایش تقسیم سلول‌های مبدأ (برگ) به کار می‌رود، عدم افزایش عملکرد دانه با محلول‌پاشی سیتوکینین نشان دهنده عدم محدودیت مبدأ در گیاه ذرت می‌باشد (مواد فتوسنتزی به اندازه کافی و حتی ممکن است بیش از نیاز گیاه در ذرت ساخته شود).

مصرف اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش ۲۳/۳۸ درصدی عملکرد دانه شد و از ۹/۹۲ به ۱۲/۲۴ تن در هکتار رسید (جدول ۲)، ولی مصرف این تنظیم کننده رشد در ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم تأثیری بر عملکرد دانه نداشت (جدول ۲). به نظر می‌رسد اکسین با تأثیر گذاری بر افزایش انتقال مجدد باعث افزایش عملکرد دانه شود که منطبق بر نظریه بسیاری از محققین مبنی بر مبدأ محدود بودن گیاه ذرت می‌باشد (Robert and John, 2004). احتمالاً در مرحله ظهور ابریشم غلظت اکسین در گیاه کاهش می‌یابد و محلول‌پاشی این تنظیم کننده رشد می‌تواند عاملی جهت رشد سلول‌های مریستمی دانه و افزایش تقاضای آن‌ها به دریافت

مواد فتوسنتزی بصورت ساکاروز باشد که بتواند در آینده آن را با فعالیت‌های آنزیمی مربوطه به صورت نشاسته در دانه تجمع دهد و عملکرد دانه افزایش یابد.

در مرحله ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم احتمالاً افزایش عمر سلول‌های مریستمی دانه و احتمالاً لیگنینی شدن دیواره سلولی و کاهش انعطاف پذیری آن مانع از رشد سلول‌های مریسمی دانه در اثر افزایش غلظت اکسین می‌شود (Lur, and Setter, 1993). بنابراین محلول‌پاشی اکسین در این مرحله تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه نداشت (جدول ۲).

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش با توجه به معنی‌دار نبودن فتوسنتز جاری و میزان انتقال مجدد در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و محیط بدون تنش خشکی شاید بتوان گیاه ذرت را در مرحله رشد رویشی گیاهی متحمل به خشکی دانست و یا ممکن است تنش خشکی در مرحله رشد رویشی باعث گستردگی بیشتر ریشه نسبت به محیط بدون تنش شده باشد و سپس ایجاد شرایط رطوبتی مطلوب در مرحله رشد زایشی باعث جذب بیشتر آب از محیط عمیق‌تر خاک در این شرایط شود. بنابراین در مناطقی که با کمبود آب آبیاری مواجه هستند، آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه در مرحله رشد رویشی و پس از ظهور گل تاجی آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش معنی‌دار در میزان فتوسنتز ذرت شود. همچنین با توجه به بیشتر بودن میزان فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه در محلول‌پاشی سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی و همچنین بالاتر بودن میزان انتقال مجدد و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه با محلول‌پاشی اکسین در مرحله ظهور ابریشم، بهترین مراحل در مصرف تنظیم کننده‌های رشد سیتوکینین و اکسین شناسایی شدند. بنابراین شاید در آینده بتوان با شناسایی ژن‌هایی که باعث افزایش غلظت اکسین و سیتوکینین در این مراحل می‌شوند در دست ورزی‌های ژنتیکی در علم مهندسی ژنتیک اقدام به تولید ژرم پلاسم‌های متحمل به خشکی نمود و یا با استفاده از شناسایی لاین‌هایی که میزان سیتوکینین و اکسین در مراحل مورد نظر در آن‌ها افزایش می‌یابد اقدام به انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی در اصلاح نباتات نمود. انجام آزمایش‌های بیشتر برای شناسایی غلظت‌های متفاوت و مراحل بیشتر مصرف تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در شرایط تنش خشکی ضروری به نظر می‌رسد.

References

Ahmadi, A. and Baker, D.A. 1999. Effects of abscisic acid (ABA) on grain filling processes in wheat. Plant Growth Regul. 28: 187–197.

Alizadeh, A. 2011. Relationship among water, soil and plant. University of Emam Reza publication. (In Persian).

Asseng, S. and van Herwaarden, A. F. "Analysis of the Benefits to Wheat Yield from Assimilates Stored Prior to Grain Filling in a Range of Environments," Plant and Soil, Vol. 256, No. 1, 2000, pp. 3217-3219.

Beheshti, A. R. and Behboodi, B.2010. Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotyps (Sorghum Bicolor L. Moeuch) under drought stress. Australian Journal of crops science. 4(3): 185-189.

Boothby, D. and Wright, S.T.C.1962. Effect of kinetin and other growth regulators on starch degradation. Nature 196: 389–390.

Brault, M., Maldiney, R. 1999.Mechanisms of cytokinin action. Plant Physiol. Biochem. 37: 403-412.

Brenner, M.L. and Cheikh, N.1995. The role of hormones in photosynthate partitioning and seed filling. In: Davies P.J. (ed.), Plant Hormones, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 649–670.

Darussalam, Cole, M.A. and Patrick, J.W. 1998. Auxin control of photoassimilate transport to and within developing grains of wheat. Aust. J. Plant Physiol. 25: 69–77.

Hansen, H. and Grossmann, K. 2000. Auxin-induced enthylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. Plant Physiol. 124: 1437–1448.

Kaya, C. A., Tuna, L. and Yokas, I. 2009. "The Role of Plant Hormones in Plants under Salinity Stress," Book Salinity and Water Stress, Vol. 44, No. 1, pp. 45-50.

lack S, naderi A, saidat S A, Ayenehband A, Nour – Mohammadi G, Moosavi S. 2008, The Effects of Different Levels of Irrigation, Nitrogen and Plant Population on Yield, Yield Components and Dry Matter Remobilization of Corn at Climatical Conditions of Khuzestan. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources. 11 (42):1-14. (In Persian with English abstract).

Lawlor, D.W., 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and role of ATP. Ann. Bot. 89, 871-885.

Liang, J., Zhang, J. and Cao, X. 2001. Grain sink strength may be related to the poor grain filling of indica-japonica rice (Oryza sativa) hybrids. Physiol. Plant. 112: 470–477.

Lur, H. S. and Setter, T. 1993. Role of Auxin in Maize Endosperm Development' Timing of Nuclear DNA Endoreduplication, Zein Expression, and Cytokinin. Plant Physiol., 103: 273-280.

Martınez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., Pinto, M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (Phaseolus

vulgaris L.). Europ. J. Agron. 26, 30- 38.

Murchie, E., Yang, H.J., Hubbart, S., Horton, P., Peng, S., 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? J. Exp. Bot. 53(378), 2217-2224.

Plaut, Z. Butow B. J. and. Blumenthal, C. S. 2004 "Transport of Dry Matter into Developing Wheat Kernels and Its Contribution to Grain Yield under Post-Anthesis Water Deficit and Elevated Temperature," Field Crops Research, Vol. 86, No. 2-3, pp. 185-198.

Pospisilova, J. 2003. Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. BIOLOGIA PLANTARUM 46 (4): 491-506. (36).

Robert, H. and John, P. 2004. The physiology of crop yield. Second Edition.

Sallah, P.Y.K., Antwi K.O. and Ewool, M.B. 2002. Potential of elite maize composites for drought tolerance in stress and non-drought stress environments. African Crop Sci. J., 10: 1–9.

Satvir K., Anil, G. K. and Narinder, K.2000. Effect of GA3, kinetin and indole acetic acid on carbohydrate metabolism in chickpea seedlings germinating under water stress. Plant Growth Regulation 30: 61–70.

Shaddad, M. A. K., M. Hamdia Abd El-Samad, and H. T. Mohammed. 2011. Interactive Effects of Drought Stress and Phytohormones or Polyamines on Growth and Yield of Two M (Zea maize L.) Genotypes. American Journal of Plant Sciences, 2, 790-807.

Singh G. and Gerung S.B. 1982. Hormonal role in the problem of sterility in Oryza sativa. Plant Physiol. Biochem. 9: 22–23.

Uhart, S. A. and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon - nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. Crop Sci. 35: 1384 -1389.

Walker, M. A. and Dumbroff, B. 1981. "Effect of Salt Stress on Abscisic and Cytokinin Levels," Zeitschrift für Pflanzen Physiologie, Vol. 101, p. 661.

Wang Z, Yang, J. Zhu, Q. Zhang, Z. Lang, Y. Wang X. 1998. Reasons for poor grain filling in inter sub specific hybrid rice. Acta Agron. Sin. 24: 782–787.

Yang J, Wang, Z. Zhu, Q. Lang Y. 1999. Regulation of ABA and GA to rice grain filling. Acta Agron. Sin. 25: 341–348.

Yang, J., Zhang, J. Wang Z. and Zhu. Q. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and post-anthesis development of spikelets in rice. Plant Growth Regulation 41: 185–195.

Current photosynthesis and remobilization of assimilates in maize cultivar KSC 704 as affected by spraying of growth regulators under drought stress conditions

A. Mahrokh[1], M. Nabipour[2], H. Roshanfekr[3], R. Choukan[4]

1. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension organization, Karaj, Iran. (Corresponding author)
2. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran.
3. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran.Agronomy and Plant Breeding Department
4. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension organization, Karaj, Iran.

Received: October 2016 Accepted: November 2017

Extended Abstract

Mahrokh, A., Nabipour, M., Roshanfekr, H., Choukan, R. , Current photosynthesis and remobilization of assimilates in maize cultivar KSC 704 as affected by spraying of growth regulators under drought stress conditions
Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 1, 2017 7-09: 33-48(in Persian)

Introduction:

Drought is one of the major environmental conditions that adversely affects plant growth and crop yield. Drought is the most major restriction in maize production. The reduction in plant growth under drought stress conditions could be an outcome of altered hormonal balance and hence the exogenous application of growth regulators under stress conditions could be the possible means of reversing the effects of abiotic stress. Plant growth regulators such as auxin and cytokinin are known to be involved in the regulation of plant response to the adverse effects of stress conditions. Previous studies have shown that endogenous hormones are essential regulators for translocating and partitioning of photo-assimilates for grain filling in cereal crops (Yang, et al. 2003), and therefore could be involved in the regulation of grain weight and yield. This study was conducted to determine the effects of exogenous application of growth regulators on the current photosynthesis and remobilization of assimilates in maize cultivar KSC704 under drought stress conditions.

Materials and Methods:

The experiment was carried out in three distinct environments at Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Karaj, Iran, in 2013. The environments included non-drought stress (irrigation after soil moisture reached 75% of field capacity), drought stress at vegetative stage (irrigation after soil moisture reached 50% of field

Email address of the corresponding author: ali_mahrokh229@yahoo.com

capacity from V4 to tasseling stage and irrigation after soil moisture reached 75% of field capacity from pollination to physiological maturity stage) and drought stress at reproductive stage (irrigation after soil moisture reached 75% of field capacity from V4 to tasseling stage and irrigation after soil moisture reached 50% of field capacity from pollination to physiological maturity stage). Cytokinin was applied at V5 –V6 and V8-V10 stages and auxin was sprayed at silk emergence stage and 15 days after that period. No usage of the growth regulators was served as control. The trial was laid out as a factorial scheme based on randomized complete block design with three replications. Auxin was used in the form of Indole-3-butyric acid and cytokinin was sprayed as N_6-benzyladenin. Harvesting was done from 4.5 m^2 at field maturity stage at 14 % grain moisture content and was used to estimate grain yield. Remobilization, efficiency of remobilization, contribution of remobilization, current photosynthesis, efficiency of current photosynthesis and contribution of current photosynthesis were measured by the equation of Uhart and Andrade (1995).

Results and Discussion:

The effect of drought stress on current photosynthesis, efficiency of current photosynthesis, contribution of current photosynthesis and remobilization was significant ($P<0.01$). Efficiency of remobilization was also affected by water stress ($P<0.05$) (Table 1). The difference in the rate of current photosynthesis and remobilization under drought stress and non- stress environments at vegetative stage was insignificant (Table 2). Cytokinin increased the rate of current photosynthesis by 13.74% as compared to control treatment at V8-V10 stage. It is possible that the application of cytokinin at V8-V10 stage resulted in enhanced cell division and leaf area, leading to increased absorption of photosynthetically active radiation by the plant. Contribution of current photosynthesis to grain yield was maximal under optimum irrigation and water stress treatments at vegetative stage. However, it experienced a 28.18% decline under drought stress at reproductive stage. The application of auxin was associated with increased contribution of remobilization to grain yield at silk emergence stage. It seems that auxin involvement in the conversion of sucrose to other hexoses such as starch in endosperm and its role in maintaining concentration gradient of assimilates from source to sink are the reasons for this increase. (Robert and John, 2004).

Conclusion:

Based on the results of this experiment, drought stress at vegetative stage (irrigation after decreasing soil moisture to 50% field capacity) can be effective in conserving irrigation water and increasing water use efficiency. Moreover, considering the fact that the higher rates of current photosynthesis and contribution

of current photosynthesis to grain yield were achieved with cytokinin application at V8-V10 stage and spraying with auxin at silk emergence stage led to the increased rates of remobilization and contribution of remobilization to grain yield, the aforementioned growth periods were identified as the best application times for cytokinin and auxin, respectively.

Key words: auxin, cytokinin, efficiency of current photosynthesis, growth stage, current photosynthesis contribution

References:

Robert, H. and John, P. 2004. The physiology of crop yield. Second Edition.

Uhart, S. A. and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon - nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. Crop Sci. 35: 1384 -1389.

Yang, J., Zhang, J. Wang Z. and Zhu. Q. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and post-anthesis development of spikelets in rice. Plant Growth Regulation 41: 185–195.