Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۲۷۸-۲۶۶

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 2, Summer. 2016, p. 266-278

ارزیابی روابط هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر عملکرد و اجزای عملکرد دانهٔ ذرت در شرایط تنش خشکی

علی ماهرخ[۱*]- مجید نبی‌پور[۲]- حبیب‌الله روشنفکر دزفولی[۳]- رجب چوکان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷

چکیده

کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی نتیجه برهم‌خوردن تعادل هورمون‌ها می‌باشد، بنابراین کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند عاملی در جهت معکوس‌کردن تنش‌های غیرزنده باشد. این مطالعه به‌منظور ارزیابی کاربرد هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر عملکرد دانه و اجزای آن در ذرت سینگل‌کراس۷۰۴ در شرایط تنش خشکی اجرا شد. آزمایش در سه‌محیط جداگانه، شامل محیط بدون‌تنش خشکی، تنش خشکی در مرحلهٔ رشدرویشی و تنش خشکی در مرحلهٔ رشدزایشی انجام شد. هورمون‌های سیتوکینین در سه‌سطح (شاهد، محلول‌پاشی در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی و هشت تا ده‌برگی) و اکسین در سه‌سطح (شاهد، محلول‌پاشی در مرحلهٔ ظهور ابریشم و ۱۵روز پس از ظهور ابریشم) در هر محیط در سه‌تکرار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۱۳۹۲اجرا شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در محیط بدون‌تنش و مصرف هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم به‌ترتیب با میانگین ۱۲/۸۰ و ۱۲/۲۴تن در هکتار حاصل‌شد. اختلاف عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی و بدون‌تنش معنی‌دار بود، و ۴۹/۲۱درصد نسبت به‌محیط بدون‌تنش افت کرد. محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین باعث افزایش تعداد دانه و کاهش وزن دانه شد، ولی محلول‌پاشی هورمون اکسین باعث افزایش وزن دانه و عملکرد دانه گردید. بر اساس نتایج تجزیهٔ‌مرکب حاصل از این آزمایش، در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین به‌ترتیب در مراحل هشت تا ده‌برگی و ظهور ابریشم به‌دلیل برقرای تعادل هورمونی مختل‌شده، تا حدود ۲۰درصد مانع از افت عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی شدند و به‌عنوان مراحل حساس در واکنش به‌این هورمون‌ها در شرایط تنش خشکی توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تعادل هورمونی، تنش رویشی، تنش زایشی، تنظیم‌کننده رشد، محلول‌پاشی هورمون

مقدمه

در حال حاضر تنش خشکی به‌علت کمبود جهانی منابع آبی، تبدیل به‌عامل اصلی محدودیت تولید گیاهان‌زراعی در عرصه جهانی شده است. هم‌چنین، خشکی مهم‌ترین عامل محدودیت تولید ذرت (*Zea mays*) است (Sallah *et al*..2002). تخمین‌زده شده است که خشکی باعث کاهش بیش‌تر از ۵۰درصد از عملکرد ذرت در سراسر جهان می‌شود. در ذرت خشکی باعث کاهش سطح برگ، مقدار کلروفیل برگ، فتوسنتز و نهایتاً کاهش عملکرد دانه می‌شود (Athar and Ashraf, 2005). در زمان گل‌دهی، خشکی باعث طولانی‌ترشدن فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (ASI) در این گیاه می‌شود که به‌شدت باعث کاهش تعداد دانه خواهدشد (Emeadeas *et al.*, 2000). در شرایط خشکی پیرشدن برگ تسریع و اندازهٔ کانوپی کاهش می‌یابد که به‌شدت بر عملکرد محصول مؤثر است. تأخیر در پیری برگ تأثیرات مثبتی بر کاهش اثرات مضر خشکی بر عملکرد محصول دارد (Rivero *et al.*, 2007). تنش خشکی پس از گرده افشانی در ذرت باعث کاهش رشد دانه و اغلب عملکرد دانه می‌شود. دانه‌ها در منطقه انتهایی بلال بیش‌تر از دانه‌های پایینی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند. کمبود آب در طی مراحل اولیهٔ نمو آندوسپرم ممکن‌است مانع از رشد دانه به‌وسیله کاهش تقسیم سلول‌های آندوسپرم شود و این پاسخ ممکن‌است به‌وسیله تغییر در سطح هورمون آبسزیک‌اسید (ABA) صورت‌گیرد (Ober *et al.*,1991). تنش خشکی باعث کاهش تعداد هسته‌های آندوسپرم در طی دوره نمو آندوسپرم می‌شود و بیش‌ترین تأثیر نیز بر روی دانه‌های انتهای بلال است (Ober *et al.*,1991).

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شهید چمران اهواز و پژوهشگر موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز
۴- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
(*- نویسنده مسئول: (Email: ali_mahrokh229@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

اگرچه، آب ناکافی یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های رشد گیاهان زراعی است، ولی تأثیرات کم‌بود آب در مراحل مختلف رشد گیاهان متفاوت است. در ذرت، اگر کمبود آب در مرحلهٔ گل‌دهی یا پُرشدن دانه رخ دهد، کاهش عملکرد دانه بسیار شدید خواهدبود (Claassen and Shaw, 1970). تنش خشکی در مرحلهٔ گل‌دهی اثر زیادی بر تعداد دانه دارد، درحالی‌که تنش خشکی پس از گرده‌افشانی به‌طور عمده بر اندازهٔ دانه اثر دارد (Claassen and Shaw, 1970). در ۱۰ تا ۱۵روز پس از گرده‌افشانی، ذرت از مرحلهٔ تقسیم‌سلولی آندوسپرم وارد مرحلهٔ تجمع مواد ذخیره‌ای می‌شود (Marks *et al.*, 1985; Kowles and Phillips, 1988). در گیاهانی که حدود هفت تا ۱۵روز پس از گرده‌افشانی به‌خوبی آبیاری شده‌اند فعالیت آنزیم‌ها در مسیر سنتز نشاسته افزایش می‌یابد اما در حدود ۲۰روز پس از گرده‌افشانی به‌حداکثر خود می‌رسند (Ober *et al.*, 1991). تعداد سلول‌های آندوسپرم همبستگی نزدیکی با اندازهٔ نهایی دانه دارد. بنابراین تنش خشکی باعث کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم دانه ذرت در نتیجه باعث کاهش اندازهٔ دانه و درنهایت باعث کاهش عملکرد دانه خواهدشد (Ober *et al.*, 1991). برخی پژوهش‌گران (Doorenbos and kassam, 1979) گزارش‌کردند که ذرت به‌کمبود آب در مرحلهٔ رویشی و رسیدگی متحمل است و بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود رطوبت در پروفیل خاک در طی دوره گل‌دهی رخ می‌دهد. در مطالعه آن‌ها، تنش رطوبتی در یک یا دو مرحلهٔ حساس (ظهور گل نر و تشکیل بلال) به‌طور جدی باعث کاهش عملکرد شد، و آبیاری در این‌دو مراحل باعث بالاترین عملکرد دانه شد.

گیاهان طوری تکامل‌یافته‌اند که توانایی سازگاری الگوی رشدشان را در پاسخ به‌محرک‌های محیطی داشته‌باشند. یک الگوی تعادل مناسب در ریشه و اندام‌های هوایی برای جذب مناسب موادغذایی، نور و آب بسیارمهم است. تولید اندام و بافت در گیاهان به‌وسیله سلول‌های بنیادی گیاه (سلول‌های مریستمی) تداوم پیدامی‌کند و به‌وسیله اثرات پیچیده بین هورمون‌های مختلف تنظیم می‌شود (Muraro *et al.*, 2011). هورمون‌های گیاهی به‌عنوان عاملی در جهت سازگاری گیاهان به‌تنش‌های خشکی و نقش مهم آن‌ها در رشدونمو گیاهان شناخته‌شده هستند. تنش خشکی باعث تغییر سطح هورمون‌های گیاهی می‌شود (Kawai and Uchimiga, 2000). کاهش رشد در شرایط تنش در نتیجه تغییرات نفوذپذیری غشاء و جذب آب در اثر تغییرات سطح هورمون‌های داخلی رخ می‌دهد (Farooq *et al.*.2009; Karmoker and Van Steveninck, 1979). هنوز هم اطلاعات کمی درباره ارتباط مقدار هورمون‌های داخلی گیاه و آسیب سلول در شرایط تنش خشکی در ذرت وجود دارد (Wang *et al.*, 2008).

تقریباً تمام فرایندهای زندگی گیاهان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت‌تأثیر تنش‌ها و هورمون‌های گیاهی قرارمی‌گیرند (Pospisilova, 2003). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه به‌طور گسترده‌ای به‌صورت طبیعی و سنتزی در محصولات کشاورزی به‌عنوان عاملی در جهت بهبود گیاهان‌زراعی استفاده می‌شوند (Pospisilova, 2003). هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های دخیل در پاسخ‌های گیاهی به‌اثرات نامطلوب شرایط‌محیطی شناخته‌شده هستند (Kaya *et al.*, 2009; Walker and Dumbroff, 1981). برخی مطالعات نشان‌می‌دهد که هورمون‌ها تنظیم‌کننده‌های ضروری برای انتقال و تسهیم فراورده‌های فتوسنتزی برای پُرشدن دانه در غلات هستند و بنابراین می‌توانند در تنظیم وزن دانه و عملکرد دخیل‌باشند (Ahmadi and Baker, 1999).

تنش خشکی باعث برهم‌خوردن تعادل هورمون‌ها شامل: افزایش ABA در برگ و یا کاهش مقدار سیتوکینین، اکسین و جیبرلین می‌شود. (Pospisilova, 2003). در آزمایشی در ذرت مقدار ۲۰میکرومول از هورمون‌های IAA، GA_3، Kinetin و مخلوط آن‌ها استفاده شد. با محلول‌پاشی هورمون‌ها، عملکرد، سطح‌برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش قابل‌توجهی داشتند، که نشان از همبستگی کامل میان این سه‌فاکتور است. (Shaddad *et al.*, 2011). قابل‌ذکر است که IAA تنها هورمونی بود که تا رطوبت در حد ۵۰درصد ظرفیت مزرعه توانست عملکرد قابل‌قبولی تولید کند، اگرچه سایر هورمون‌ها افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در رشد گیاه در مرحلهٔ رشد رویشی داشتند. در این آزمایش در ۲رقم حساس به‌خشکی در ذرت، محلول‌پاشی هورمون‌ها باعث افزایش عملکرد به‌میزان بیش‌تر از شاهد در شرایط کاهش رطوبت تا ۷۰درصد ظرفیت مزرعه شد. هم‌چنین، تولید عملکرد در استفاده از هورمون IAA در شرایط کاهش رطوبت تا ۵۰درصد ظرفیت مزرعه و شرایط آبیاری نرمال (رطوبت در حد ۹۰درصد ظرفیت مزرعه) یکسان بود. نتایج پژوهشی نشان‌داد هنگامی‌که رطوبت خاک به ۳۰درصد ظرفیت مزرعه رسید، هیچ عملکردی حاصل‌نشد ولی در شرایط استفاده از هورمون‌ها در همین‌مقدار رطوبت خاک، مقدار ۲۵درصد عملکرد شاهد حاصل‌شد (Shaddad *et al.*, 2011).

در آزمایشی دیگر (Wang *et al.*, 2008) گیاهچه‌های ذرت در روز دوم اعمال تنش خشکی شروع به‌پژمرده‌شدن کردند و روند افزایش ارتفاع گیاه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت، درحالی‌که علائم پژمردگی در گیاهچه‌های ذرت که با هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین تیمار شده‌بودند تا روز پنجم اعمال تنش خشکی مشاهده‌نشد. پس از هفت‌روز تنش خشکی ارتفاع گیاهچه‌های ذرت ۱۶/۷۱درصد نسبت به‌شاهد کاهش‌یافت، درحالی‌که گیاهچه‌های تیمارشده با جیبرلین و سیتوکینین به‌ترتیب فقط ۹/۶۶درصد و ۷/۸۳درصد در مقایسه با شاهد کاهش‌یافتند. از سوی‌دیگر، کاربرد سیتوکینین و

www.SID.ir

Archive of SID

جیبرلین نشت الکترولیت‌ها را در مواجه با تنش خشکی کاهش‌داد. بنابراین، پیشنهادشد که هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین می‌توانند در تخفیف آسیب‌سلولی در مواجه با تنش خشکی در گیاهچه‌های ذرت مؤثر باشند. مطالعه حاضر نشان‌داد که کاربرد خارجی سیتوکینین و جیبرلین باعث کاهش آسیب‌سلولی و بهبود رشد گیاهچه‌های ذرت در شرایط تنش خشکی می‌شود. بنابراین، نتایج حاکی‌از آن است که هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین ممکن‌است به‌پایداری غشاء سلول و افزایش تحمل خشکی در گیاهچه‌های ذرت مفید باشند.

۱۰روز پس از گرده‌افشانی ذرت تغییراتی در نسبت هورمون سیتوکینین به اکسین مشاهده می‌شود و این تغییرات هورمونی منجربه شروع تجمع نشاسته و ذخیره پروتئین در این‌مرحلهٔ می‌شود. این‌امکان وجوددارد که سیتوکینین و اکسین نقش مستقلی در این‌زمینه داشته‌باشند (Lur' and Setter, 1993). در آزمایشی (Yang,2003) بیان‌شد که سیتوکینین و اکسین احتمالاً باعث تنظیم پُرشدن دانه در اوایل مراحل پُرشدن دانه در برنج (*Oryza sativa*) می‌شوند و این کار احتمالاً از طریق دست‌کاری تقسیم سلول‌های آندوسپرم و ایجاد قدرت‌کشش مقصد انجام می‌شود.

این آزمایش جهت تعیین رابطه هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر عملکرد و اجزای‌عملکرد دانه ذرت، هیبرید سینگل‌کراس۷۰۴ در شرایط تنش خشکی طراحی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، با ارتفاع ۱۳۲۱متر از سطح دریا بین ۳۵درجه و ۴۸دقیقه عرض‌شمالی و ۵۱درجه طول‌شرقی در سال‌زراعی ۱۳۹۲ به‌اجرا درآمد. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵میلی‌متر بوده که با زمستان‌های سرد جزو مناطق سرد کم‌باران به‌شمار می‌رود. بافت خاک مزرعه رسی-شنی، با وزن‌مخصوص ظاهری حدود ۱/۳۶گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH حدود ۷/۵ و هدایت‌الکتریکی ۰/۷دسی‌زیمنس بر متر و ظرفیت‌زراعی حدود ۲۶درصد وزنی می‌باشد. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره بود. براساس آزمون خاک، قبل از کاشت، به‌ترتیب حدود ۲۰۰ و ۳۰۰کیلوگرم در هکتار اوره و فسفات‌آمونیوم مصرف‌شد و در مرحلهٔ شش-هشت‌برگی نیز معادل ۲۰۰کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک توزیع‌شد. به‌دلیل کفایت میزان پتاسیم خاک این نوع کود استفاده‌نشد (جدول ۱).

جدول ۱- میزان موجودی NPKبر اساس آزمون خاک

Table 1- NPK values in soil test

سال آزمایش Year	درصد نیتروژن کل percent Total Nitrogen	فسفر قابل‌استفاده (ppm) Available Phosphorus	پتاسیم قابل‌استفاده (ppm) Available potassium
2013	0.11	8.72	231.1

بعد از آماده‌سازی بستر مناسب بذر سه‌آزمایش مستقل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه‌تکرار اجرا شد. در این آزمایش هیبرید KSC704 در سه‌محیط جداگانه، شامل محیط یک: شاهد یا بدون‌تنش خشکی (آبیاری پس‌از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵درصد ظرفیت مزرعه)، محیط ۲: تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی (در مرحلهٔ V_4 تا ظهور گل‌تاجی، آبیاری پس‌از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰درصد ظرفیت مزرعه صورت‌گرفت ولی از مرحلهٔ گرده‌افشانی تا رسیدگی‌فیزیولوژیک آبیاری پس‌از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵درصد ظرفیت مزرعه صورت‌گرفت) و محیط سه: تنش خشکی در مرحلهٔ رشدزایشی (از مرحلهٔ V_4 تا ظهور گل‌تاجی آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵درصد ظرفیت‌مزرعه صورت‌گرفت، ولی در مرحلهٔ گرده‌افشانی تا رسیدگی‌فیزیولوژیک آبیاری پس‌از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰درصد ظرفیت‌مزرعه صورت‌گرفت) و هورمون اکسین (در سه‌زمان مصرف: شاهد یا عدم‌مصرف، ظهور ابریشم و ۱۵روز پس از ظهور ابریشم) و هورمون سیتوکینین (در سه‌زمان مصرف: شاهد یا عدم‌مصرف، تشکیل جوانهٔ بلال یعنی مرحلهٔ V_5-V_6 و مرحلهٔ V_8-V_{10}) به‌صورت فاکتوریل در هر محیط، به‌شکل تصادفی موردارزیابی قرارگرفت. کاشت به‌صورت جوی‌وپشته، فاصله پشته‌ها از هم ۷۵سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها پس از تنک‌کردن حدود ۱۸سانتی‌متر (تراکم کاشت حدود ۷/۵بوته در متر مربع)، هر کرت آزمایشی شامل پنج‌خط کاشت به‌طول شش‌متر بود. از ایندول بوتریک اسید(IBA) و بنزیل‌آدنین(BA) (تهیه‌شده از نمایندگی شرکت مِرک آلمان) به‌ترتیب به‌عنوان هورمون‌های اکسین و سیتوکینین استفاده‌شد. غلظت مصرف هورمون‌های اکسین و سیتوکینین به‌ترتیب در کرت‌های موردنظر به‌مقدار ۱۰ و ۵۰میلی‌گرم در لیتر بود. به‌منظور جذب بیش‌تر هورمون از ماده سورفاکتانت توین۲۰[1] (تهیه‌شده از نمایندگی شرکت مِرک آلمان) استفاده‌شد و محلول‌پاشی در عصر پس‌از غروب خورشید انجام‌شد. هم‌چنین جهت افزایش حلالیت بیش‌تر هورمون در آب از اتانول ۷۰درصد استفاده شد. برای از بین‌بردن اثرات آب و اتانول، در کرت‌های شاهد به‌طور هم‌زمان ترکیب آب و اتانول محلول‌پاشی شد. برای تعیین زمان آبیاری از

1 -Tween 20

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری رطوبت‌وزنی خاک در هر محیط استفاده‌شد و تیمارهای مختلف تنش خشکی متناسب با هر محیط آزمایش و بر اساس مراحل فنولوژیکی گیاه اعمال‌شد. برای تعیین حجم آب‌مصرفی در هر آبیاری در هر محیط، قبل از آبیاری نمونه‌برداری از خاک محیط موردنظر تا عمق توسعه ریشه انجام‌شد و درصد رطوبت‌وزنی خاک تعیین‌شد. حجم آب‌آبیاری بااستفاده از معادله‌های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین‌گردید. مقدار آب‌مصرفی بااستفاده از کنتور که در ابتدای فلکه‌اصلی قرار داده‌شده بود، کنترل‌گردید. آبیاری نیز به‌صورت جوی‌وپشته و بااستفاده از لوله‌های هیدروفلوم و دریچه‌هایی که در ابتدای خطوط‌کاشت تعبیه‌شده بود صورت‌گرفت.

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

$$V = H \times A \quad (۲)$$

در معادله‌های ۱ و ۲، H نشان‌دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C}$ رطوبت خاک در حد ظرفیت‌مزرعه، θ_m رطوبت جرمی کرت موردنظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب‌آبیاری در کرت و A مساحت کرت است. میزان مصرف آب در محیط بدون‌تنش خشکی، تنش در مرحلهٔ رشد رویشی و تنش در مرحلهٔ رشد زایشی به‌ترتیب ۱۰۶۴۲، ۸۴۲۵ و ۸۷۸۷مترمکعب در هکتار بود.

برای مبارزه با علف‌های‌هرز قبل ازکاشت از علف‌کش اراديکان معادل شش‌لیتر در هکتار و پس‌از کاشت نیز، یک‌بار وجین‌دستی در مرحلهٔ چهار تا شش‌برگی صورت‌گرفت. برای مبارزه با آفات ذرت در همین‌مرحلهٔ از حشره‌کش سوین به‌میزان سه‌لیتر در هکتار استفاده‌شد.

برداشت نهایی از سطحی معادل ۴/۵متر مربع با رعایت حاشیه، در زمان رسیدگی‌زراعی برای تخمین عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴درصد) صورت‌گرفت. جهت تعیین اجزای عملکرد، تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در هر ردیف بلال، تعداد ۱۰بلال به‌طور تصادفی از بلال‌های برداشت‌شده از هرکرت انتخاب و تعداد دانه به‌صورت دستی بر روی بلال شمارش‌گردید، میزان رطوبت دانه نیز بااستفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی مدل DICKEY JOHN تخمین‌زده شد. شمارش دانه برای تخمین وزن هزاردانه بااستفاده از دستگاه بذرشمار مدل دیجیتالی صورت‌گرفت و سپس هزاردانه شمارش‌شده با ترازوی حساس توزین و وزن هزاردانه بر حسب گرم محاسبه‌گردید. پس از انجام آزمون بارتلت، نتایج هر سه‌محیط به‌صورت مرکب تجزیه شدند. برای محاسبه تجزیه‌واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده‌گردید، و میانگین عوامل آزمایش بااستفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد موردمقایسه قرارگرفتند.

نتایج و بحث

تأثیر تنش خشکی بر تعداد بلال در بوته، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در مترمربع، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود، اما تعداد دانه در ردیف معنی‌دار نبود (جدول۲). محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین بر تعداد بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه در مترمربع در سطح احتمال یک‌درصد و بر وزن هزاردانه در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار بود و بر تعداد دانه در ردیف و عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول۲). هم‌چنین، محلول‌پاشی هورمون اکسین بر وزن هزاردانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود و بر سایر اجزای عملکرد معنی‌دار نبود (جدول۲).

تعداد بلال

بیش‌ترین تعداد بلال در محیط بدون‌تنش خشکی با میانگین ۰/۹۶بلال در هر بوته حاصل‌شد (جدول۳). در شرایط تنش در مرحلهٔ زایشی تولید بلال در هر بوته افت‌کرد و به ۰/۷۲بلال در هر بوته رسید، یعنی ۲۸درصد بوته‌ها فاقد بلال بودند که این مقدار نیز با تولید بلال در شرایط تنش در مرحلهٔ رویشی معنی‌دار نبود (جدول۳). به‌نظر می‌رسد عدم‌توانایی تولید بلال در شرایط تنش رویشی و زایشی به‌ترتیب به‌دلیل عدم‌تشکیل جوانه بلال در مرحلهٔ پنج تا ۱۰برگی و عدم‌ظهور ابریشم به‌دنبال تنش خشکی باشد.

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث افزایش ۱۰درصدی تولید بلال نسبت به‌عدم محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین شد. ولی مصرف این هورمون در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی بر تولید بلال معنی‌دار نبود (جدول۳). به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث افزایش تقسیم سلول‌های مریستمی مولد جوانه بلال شده و کاهش تقسیم‌سلولی در شرایط تنش خشکی را جبران‌کرده است. در همین‌راستا نیز برخی محققین گزارش‌کردند که سیتوکینین‌ها با هماهنگی یا تضاد با سایر هورمون‌های گیاهی باعث تقسیم‌سلولی و فرایندهای مرتبط با رشد گیاه می‌شوند (Zazimalova *et al.*, 1999). در مرحلهٔ رشد رویشی از زمان پنج تا ۱۰برگی چندین جوانه‌ی بلال تولید می‌شود ولی نهایتاً یک یا ۲عدد از این جوانه‌ها شکل‌گرفته و به‌بلال تبدیل می‌شوند. احتمالاً جوانه تولیدی در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی سقط‌شده است و به‌همین‌دلیل مصرف هورمون سیتوکینین در این مرحلهٔ نتوانسته مانع از سقط جوانه بلال شود.

مصرف هورمون اکسین در هر ۲مرحلهٔ ظهور ابریشم و ۱۵روز پس‌از ظهور ابریشم بر تولید بلال بی‌تأثیر بود (جدول۳)، که باتوجه به زمان تشکیل جوانه بلال (مرحلهٔ رویشی) و زمان مصرف هورمون اکسین (مرحلهٔ زایشی) چنین واکنشی بدیهی به‌نظر می‌رسد.

تعداد ردیف دانه

بیش‌ترین تعداد ردیف دانه با میانگین ۱۶/۳۸ردیف در شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

بدون‌تنش خشکی حاصل‌شد، که با تعداد ردیف دانه تولیدی در محیط تنش زایشی معنی‌دار نبود (جدول۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون‌ها بر تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد در ذرت دانه‌ای

Table 2- the results of variance analysis drought stress effect and spraying hormones on variation of yield and components in grain maize

منابع تغییرات Source of variance	df	میانگین مربعات Mean of square					
		تعداد بلال در هر بوته ears per plant	تعداد ردیف دانه row/ear	تعداد دانه در ردیف Kernels row^{-1}	تعداد دانه در متر مربع Kernels per m^2	وزن هزاردانه 1000 kernels weight	عملکرد دانه Grain yield
محیط Environmental	2	0.376**	40.48**	230.29 ns	14570986.78**	36143.59**	349.63**
بلوک (محیط) Block (environmental)	6	0.094	2.17	144.09	6500869.72	5358.27	74.27
سیتوکینین Cytokinine	2	0.099**	13.05**	52.26 ns	7552601.89**	16144.36*	1.24 ns
سیتوکینین × محیط Cytokinine × Environmental	4	0.009 ns	0.047 ns	12.49 ns	332113.06 ns	3255.95*	0.40 ns
اکسین Auxine	2	0.008 ns	0.07 ns	7.97*	227506.59 ns	9617.10**	50.73**
اکسین × محیط Auxine × Environmental	4	0.017 ns	0.11 ns	21.88 ns	883871.94 ns	577.08 ns	0.90 ns
سیتوکینین × اکسین Cytokinine × Auxine	4	0.008 ns	0.26 ns	10.49 ns	267425.43 ns	2165.97 ns	3.37 ns
سیتوکینین × اکسین × محیط Cytokinine × Auxine × Environmental	8	0.014 ns	1.53**	40.70*	1099430.85 ns	511.76 ns	3.98 ns
خطا Error	48	0.018	0.45	18.59	557382.2	1150.91	5.04

*، ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داربودن در سطح احتمال پنج، یک‌درصد و معنی‌دارنبودن اثر عوامل آزمایشی می‌باشند

*, **: Significant at the 5% and 1% levels respectively and ns: no significant

در شرایط تنش رویشی میانگین تعداد ردیف دانه در بلال نسبت به‌محیط بدون‌تنش ۱۴/۵۲درصد به‌طور معنی‌داری افت کرد. به‌نظر می‌رسد کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی در زمان تشکیل جوانه بلال در مرحلهٔ رشد رویشی در شرایط تنش خشکی باعث کاهش تعداد ردیف دانه شود. دیگر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که تشکیل پتانسیل نهایی تعداد ردیف دانه در ذرت از مرحلهٔ پنج‌برگی شروع می‌شود و تا پایان تقسیم سلول‌های مریستمی در مرحلهٔ حدوداً ۱۰ تا ۱۲برگی ادامه دارد، و ایجاد شرایط نامساعد در این‌مرحلهٔ باعث کاهش تعداد ردیف دانه خواهدشد (Choukan, 2012). هم‌چنین برخی دیگر از محققین (Emeadeas *et al.*, 2000) نیز، کاهش تعداد ردیف دانه ذرت را به طولانی‌شدن فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم و کاهش درصد لقاح نسبت دادند.

بیش‌ترین تعداد ردیف دانه با میانگین ۱۶/۱۶دانه در هر ردیف با محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا 10برگی حاصل شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد افزایش تقسیم سلول‌های مریستمی جوانه بلال تشکیل شده در این‌مرحلهٔ باعث افزایش تعداد ردیف دانه شده است، ولی مصرف هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی باعث افزایش تعداد ردیف دانه نشد (جدول۳). احتمالاً جوانه بلال تشکیل‌شده در این‌مرحلهٔ سقط‌شده و بلال نهایی ایجادشده در مراحل بعدی تشکیل شده و باعث‌شده که افزایش غلظت سیتوکینین در این مرحلهٔ بر تعداد ردیف دانه مؤثر نباشد (جدول۳).

محلول‌پاشی هورمون اکسین باعث افزایش تعداد ردیف دانه نشد (جدول۳)، که البته چنین‌واکنشی باتوجه به‌زمان مصرف این هورمون (مرحلهٔ گرده‌افشانی و ۱۵روز پس از گرده‌افشانی) که پتانسیل تعداد ردیف دانه شکل‌گرفته است بدیهی به‌نظر می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای، تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون‌ها در مراحل مختلف رشد

Table 3- means corporation yield and yield components grain maize affected drought stress and spraying hormones in growth different stages

عوامل آزمایشی Experimental factors	تعداد بلال در هر بوته ears per plant	تعداد ردیف دانه row/ear	تعداد دانه در ردیف Kernels/row	تعداد دانه در متر مربع Kernels per m^2	وزن هزار دانه 1000 kernels weight (g)	عملکرد دانه grain yield (ton per hectare)
محیط Environmental						
بدون‌تنش خشکی Non drought stress	0.96 a	16.38 a	45.30 a	5048.9 a	308.54 a	12.80 a
تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی Drought stress in vegetative stage	0.86 ab	14.00 b	45.11 a	4018.3 b	317.64 a	12.67 a
تنش خشکی در مرحلهٔ رشد زایشی Drought stress in productive stage	0.72 b	15.71 a	40.15 a	3626.8 b	250.21 b	6.50 b
محلول‌پاشی سیتوکینین Cytokinine spraying						
شاهد Control	0.82 b	15.02 b	44.73 a	4004.5 b	306.03 a	10.90 a
مرحلهٔ پنج تا شش برگی V_5-V_6 stage	0.80 b	14.91 b	43.84 a	3853.7 b	306.46 a	10.51 a
مرحلهٔ هشت تا ده برگی V_8-V_{10} stage	0.92 a	16.16 a	42.00 a	4835.8 a	263.90 b	10.56 a
محلول‌پاشی اکسین Auxine spraying						
شاهد Control	0.83 a	15.37 a	44.10 a	4230.7 a	279.98 b	9.92 b
مرحلهٔ ظهور ابریشم Silk emergence stage	0.83 a	15.31 a	43.01 a	4139.8 a	313.87 a	12.24 a
مرحلهٔ ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم 15 days after silk emergence stage	0.87 a	15.41 a	43.45 a	4323.4 a	282.53 b	9.81 b

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف الفبای مشترک دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشند.

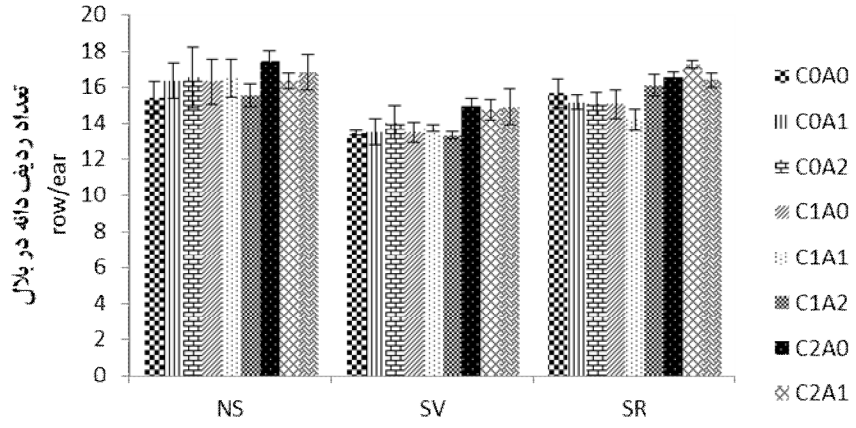
Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

در شرایط بدون‌تنش خشکی به‌دلیل وجود تعادل هورمونی، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مصرف و عدم‌مصرف هورمون‌های سیتوکینین و اکسین وجودنداشت (نمودار۳)، ولی به‌نظر می‌رسد، در شرایط تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی و به‌دنبال آن اختلال در تعادل هورمونی در اثر تنش (Kawai and Uchimiga, 2000)، مصرف هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث افزایش تعداد ردیف دانه شد، ولی مصرف هورمون اکسین در این‌شرایط مؤثر واقع نشد (نمودار۱)، هم‌چنین در شرایط تنش خشکی در مرحلهٔ زایشی مصرف هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی و مصرف هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم باعث افزایش تعداد ردیف دانه شد (نمودار۱). به‌نظر می‌رسد این دو هورمون در این‌مراحل در برقراری تعادل هورمونی مختل‌شده در مرحلهٔ رشد زایشی در اثر تنش خشکی مؤثر هستند. برخی محققین نیز گزارش‌کردند که هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های دخیل در پاسخ‌های گیاهی به‌اثرات نامطلوب شرایط‌محیطی مانند تنش خشکی شناخته‌شده هستند (Kaya *et al.*, 2009; Walker and

www.SID.ir

Archive of SID

(Dumbroff, 1981).



شکل ۱- محول‌پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین در مراحل مختلف

figure 1- spraying cytokinie and auxine hormones in different stages

شکل (۱) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین را در مراحل مختلف بر تعداد ردیف دانه نشان می‌دهد. NS، SV و SR به‌ترتیب نشان‌دهنده محیط بدون‌تنش خشکی، تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی و تنش خشکی در مرحلهٔ رشد زایشی می‌باشد. C_0، C_1 و C_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی و هشت تا ۱۰برگی می‌باشد و A_0، A_1 و A_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم و ۱۵روز پس از ظهور ابریشم می‌باشد. میانگین‌ها و SD± نمونه‌های سه‌تکرار می‌باشند.

تعداد دانه در ردیف بلال

بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف با میانگین ۴۵/۳۰دانه در محیط بدون‌تنش خشکی حاصل‌شد که این مقدار با محیط تنش رویشی و زایشی معنی‌دار نبود (جدول ۳). هم‌چنین محلول‌پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین تفاوت معنی‌داری بر تعداد دانه در ردیف در هر بلال ایجاد نکرد (جدول۳).

تعداد دانه در مترمربع

بیش‌ترین تعداد دانه با میانگین ۵۰۴۸/۹دانه در مترمربع در شرایط بدون‌تنش حاصل‌شد (جدول ۳). با ایجاد تنش خشکی در مرحلهٔ رویشی تعداد دانه ۲۰/۴۱درصد کاهش‌یافت و به ۴۰۱۸/۳رسید. به‌نظر می‌رسد پتانسیل تعداد دانه در مرحلهٔ رشد رویشی شکل می‌گیرد. برخی محققین گزارش‌کردند که در مرحلهٔ چهار تا ۱۰برگی ایجاد شرایط محیطی نامناسب باعث کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی جوانه بلال و کاهش تعداد ردیف دانه و نهایتاً کاهش تعداد دانه در مترمربع خواهدشد (choukan, 2012). هم‌چنین برخی محققین ایجاد شرایط تنش خشکی در دو هفته قبل از گرده‌افشانی (مرحلهٔ ۱۲ تا ۱۴برگی) تا دو هفته پس از گرده‌افشانی را عامل اصلی کاهش تعداد دانه می‌دانند (Emeadeas *et al.*, 2000).

هم‌چنین در شرایط تنش زایشی نیز تعداد دانه در مترمربع نسبت به‌شرایط بدون‌تنش، ۲۸/۱۶درصد کاهش یافت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کاهش تعداد بلال در هر بوته در شرایط تنش زایشی باعث کاهش تعداد دانه در مترمربع در مرحلهٔ زایشی شود (جدول۳). هم‌چنین در مرحلهٔ گرده‌افشانی، تنش خشکی باعث مرگ دانه‌های گرده و خشک‌شدن ابریشم‌های نوک بلال شده، درنتیجه درصد لقاح کاهش‌یافته و تعداد دانه تشکیل‌شده در هر بلال کاهش می‌یابد.

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث افزایش تعداد دانه به‌میزان ۲۰/۷۵درصد شد (جدول۳). افزایش غلظت هورمون سیتوکینین در این‌مرحله با افزایش تعداد بلال و افزایش تعداد ردیف دانه در هر بلال باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع شد (جدول ۳). محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی باعث افزایش تعداد دانه نشد (جدول۳). به‌نظر می‌رسد جوانه بلال تشکیل‌شده در این‌مرحله سقط‌شده باشد و جوانه بلال تشکیل‌شده در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باقی‌مانده و نهایتاً حتی اگر تقسیم سلولی در مرحلهٔ چهار تا پنج‌برگی نیز در اثر مصرف سیتوکینین تحریک‌شده باشد در نهایت بی‌تأثیر باقی‌مانده است.

محلول‌پاشی هورمون اکسین باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع

www.SID.ir

Archive of SID

نشد. احتمالاً هورمون اکسین بر تعیین پتانسیل تعداد دانه بی‌تأثیر است و یا در شرایط این آزمایش پتانسیل تعداد دانه کاملاً در مرحلهٔ رشد رویشی تعیین‌شده است (زمانی‌که غلظت هورمون اکسین پایین بوده است).

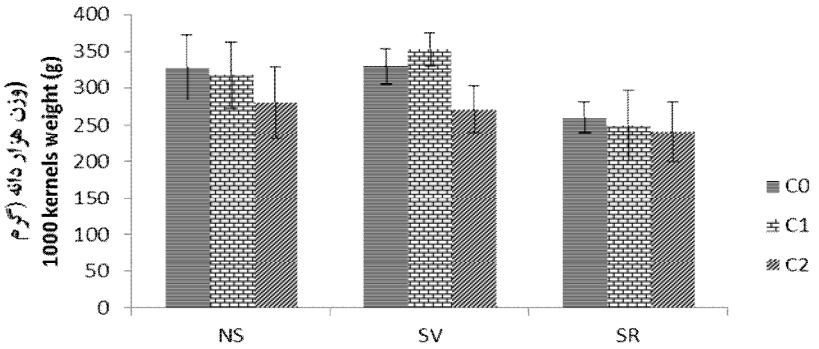
وزن هزاردانه

بیش‌ترین وزن هزاردانه در شرایط تنش رویشی با میانگین ۳۱۷/۶۴گرم حاصل شد، که این‌مقدار با وزن هزاردانه در محیط بدون‌تنش معنی‌دار نبود (جدول۳). احتمالاً بیش‌تربودن وزن هزاردانه در محیط تنش رویشی نسبت به‌محیط بدون‌تنش به‌علت بیش‌تربودن تعداد دانه در محیط بدون‌تنش است که باعث می‌شود مواد فتوسنتزی مساوی بین تعداد بیش‌تری دانه تقسیم شود و سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی به‌مقدار ناچیزی کاهش‌یافته است. در شرایط تنش زایشی وزن هزاردانه به‌مقدار ۱۸/۹۰درصد کاهش‌یافت و به ۲۵۰/۲۱گرم رسید (جدول۳). به‌نظر می‌رسد کاهش مقدار موادپرورده در اثر وقوع تنش زایشی باعث کاهش وزن دانه شد. باتوجه به‌این‌که تعداد دانه نیز در شرایط تنش زایشی کاهش‌یافت ولی موادفتوسنتزی موجود برای همین تعداد دانه نیز کافی نبود و وزن دانه کاهش یافت. ممکن است علاوه‌بر کاهش مواد فتوسنتزی در اثر تنش زایشی، آنزیم SSS[1] که باعث تبدیل ساکاروز به نشاسته در دانه می‌شود نیز تخریب‌شده باشد. در اثر تخریب این آنزیم تبدیل ساکاروز به نشاسته در آندوسپرم دانه کاهش می‌یابد و نهایتاً وزن دانه نیز کاهش می‌یابد (Nabipour, *et al.*, 2011). حتی برخی گزارشات حاکی‌از این است که مسدودشدن پلاسمودسماتا در شرایط تنش خشکی نیز باعث کاهش انتقال سلولی مواد فتوسنتزی و احتمالاً کاهش وزن دانه خواهدشد (Nabipour, *et al.*, 2013). محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث کاهش وزن هزاردانه به‌مقدار ۱۳/۷۶درصد شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد افزایش تعداد دانه در اثر مصرف هورمون سیتوکینین در این مرحله و تقسیم‌شدن مواد فتوسنتزی مساوی در تعداد بیش‌تر دانه باعث این کاهش شده باشد.

بیش‌ترین وزن هزاردانه با میانگین ۳۱۳/۸۷گرم از محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم حاصل‌شد (جدول۳) و مصرف این هورمون باعث افزایش ۱۲/۱۰درصد وزن دانه نسبت به‌عدم‌مصرف هورمون شد. به‌نظر می‌رسد هورمون اکسین باعث افزایش قابلیت آنزیم SSS شود، و با تبدیل بیش‌تر ساکاروز به نشاسته باعث افزایش تداوم صادرات از مبدأ به‌مقصد شود که در این‌حالت افزایش وزن دانه قابل‌دسترس می‌شود. در آزمایش (Yang,2003) بیان‌شد که اکسین احتمالاً از طریق دست‌کاری تقسیم سلول‌های آندوسپرم و ایجاد قدرت‌کشش مقصد باعث تنظیم پُرشدن دانه می‌شود.

محلول‌پاشی هورمون اکسین در ۱۵روز پس از ظهور ابریشم در افزایش وزن دانه بی‌تأثیر بود (جدول۳). احتمالاً در این‌مرحله بافت و یا اندام موردنظر حساسیت خود را نسبت به هورمون اکسین از دست داده باشند و یا هورمون اکسین توانایی ایجاد حساسیت را نداشته و یا حتی سلول‌های مریستمی آندوسپرم توانایی کشش و تسلط مقصد را از دست داده‌اند. در آزمایشی در ذرت بیان‌شد که حدود هفت تا ۱۵روز پس از گرده‌افشانی فعالیت آنزیم‌ها در مسیر سنتز نشاسته افزایش می‌یابد، اما در حدود ۲۰روز پس از گرده‌افشانی به‌حداکثر خود می‌رسند و پس از آن کاهش می‌یابد (Ober *et al.*,1991).

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین بر وزن هزار دانه در محیط بدون‌تنش و تنش زایشی روند یکسانی داشت، ولی در محیط تنش رویشی مصرف سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث کاهش وزن هزاردانه به‌دلیل افزایش تعداد دانه شد (نمودار۲). بنابراین تأثیرگذاری هورمون سیتوکینین بر تعداد دانه در شرایط تنش رویشی نسبت به‌محیط بدون‌تنش و تنش زایشی معنی‌دار بود.



شکل ۲- محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مراحل مختلف در شرایط محیطی متفاوت
figure2- spraying cytokinine hormone in different stages in different enviromental

شکل (۲) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین را در مراحل مختلف بر تعداد ردیف دانه نشان می‌دهد. NS، SV و SR

www.SID.ir

Archive of SID

به‌ترتیب نشان‌دهنده محیط بدون‌تنش خشکی، تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی و تنش خشکی در مرحلهٔ رشد زایشی می‌باشد. C_0، C_1 و C_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ پنج تا شش برگی و هشت تا ۱۰برگی می‌باشد. میانگین‌ها و SD± نمونه‌های سه‌تکرار می‌باشند.

عملکرد دانه

بیش‌ترین عملکرد دانه در محیط بدون‌تنش با میانگین ۱۲/۸۰تن در هکتار حاصل شد (جدول۳)، که این‌مقدار با میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش رویشی (۱۲/۶۷تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول۳). بیش‌تربودن وزن هزار دانه در شرایط تنش رویشی نسبت به‌محیط بدون‌تنش توانست کاهش تعداد دانه در شرایط تنش رویشی را جبران نماید، و تفاوت عملکرد در هر دو محیط بدون‌تنش و تنش رویشی معنی‌دار نبود.

جدول ٤- تأثیر محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین و اکسین در مراحل مختلف و در شرایط محیطی متفاوت بر عملکرد دانه. NS، SV و SR به‌ترتیب نشان‌دهنده محیط بدون‌تنش خشکی، تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی و تنش خشکی در مرحلهٔ رشد زایشی می‌باشد. C0، C1 و C2 به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ پنج تا شش‌برگی و هشت تا ۱۰برگی و A_0، A_1 و A_2 به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم و ۱۵روز پس از ظهور ابریشم می‌باشد. عملکرد دانه به‌صورت میانگین و SD ± سه‌تکرار نشان داده شده است

Table 4- Auxine and Cytokinine hormones effect on grain yield of maize in different stages and different environmental condition. NS: Non drought stress, SV: Drought stress in vegetative stage, SR: Drought stress in reproductive stage, C0: Control, C1: Cytokinine spraying in V_5-V_6 stage, C2: Cytokinine spraying in V_8-V_{10} stage, A0: Control, A1: Auxine spraying in Silk emergence stage and A2: Auxine spraying in 15 days after silk emergence stage. Grain yield has been shown as average and ±SD with three replications

محیط Enviromental	سیتوکینین Cytokinine	اکسین Auxine	عملکرد دانه Grain yield (ton ha^{-1})
NS	C0	A0	12.26 ± 3.49
VS	C0	A0	12.67 ± 0.47
RS	C0	A0	6.77 ±2.72
NS	C0	A1	15.49 ±4.60
VS	C0	A1	13.53 ± 2.54
RS	C0	A1	7.83 ± 2.61
NS	C0	A2	11.38 ± 3.33
VS	C0	A2	12.92 ±1.64
RS	C0	A2	5.29 ± 3.00
NS	C1	A0	11.93 ± 6.63
VS	C1	A0	12.39 ± 0.46
RS	C1	A0	6.23 ± 2.89
NS	C1	A1	13.85 ± 4.40
VS	C1	A1	14.27 ± 3.31
RS	C1	A1	7.25 ± 3.42
NS	C1	A2	11.72 ± 3.27
VS	C1	A2	10.56 ± 1.80
RS	C1	A2	6.38 ± 2.90
NS	C2	A0	12.09 ± 4.14
VS	C2	A0	11.73 ± 0.87
RS	C2	A0	3.24 ± 0.42
NS	C2	A1	13.99 ± 5.62
VS	C2	A1	14.61 ± 3.39
RS	C2	A1	9.33 ± 3.01
NS	C2	A2	12.47 ± 4.72
VS	C2	A2	11.36 ± 2.75
RS	C2	A2	6.21 ± 4.71

برخی پژوهش‌گران (Doorenbos and kassam, 1979) نیز به‌نتایج مشابهی رسیدند و گزارش‌کردند که ذرت به‌کمبود آب در مرحلهٔ رویشی متحمل است و بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود رطوبت در پروفیل خاک در طی دوره گل‌دهی رخ می‌دهد. در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه به‌مقدار ۴۹/۲۱درصد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به ۶/۵۰تن در هکتار رسید (جدول۳). در

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط تنش زایشی کاهش تعداد دانه به‌دلیل کاهش تعداد بلال و کاهش وزن دانه به‌دلیل کاهش مواد فتوسنتزی عملکرد دانه را به‌شدت کاهش داد.

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین تأثیری در عملکرد دانه نداشت (جدول۳) و علت این‌امر نیز کاهش ۱۳/۷۶درصدی وزن دانه در اثر افزایش ۲۰/۷۵درصدی تعداد دانه در اثر مصرف هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی و در مجموع ایجاد تعادلی موزون با عدم‌مصرف هورمون گردید. بنابراین به‌نظر می‌رسد وزن دانه تأثیر بیش‌تری بر عملکرد نسبت به‌تعداد دانه داشته باشد.

مصرف هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم باعث افزایش عملکرد دانه به‌میزان ۲۳/۳۸درصد شد (جدول۳)، ولی مصرف این‌هورمون در ۱۵روز پس از ظهور ابریشم تأثیری بر عملکرد دانه نداشت.

با وقوع تنش زایشی عملکرد دانه ۴۸/۰۴درصد نسبت به‌محیط بدون‌تنش کاهش‌یافت و از ۱۲/۲۶ به ۶/۷۷تن در هکتار رسید، ولی با مصرف هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه ۳۶/۱۳درصد نسبت به‌محیط بدون‌تنش کاهش یافت و به ۷/۸۳تن در هکتار رسید (جدول۴). درنتیجه مصرف هورمون اکسین در این مرحله توانست ۱۱/۹۱درصد از کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی ممانعت‌کند و هم‌چنین مصرف هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم به‌همراه هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی و در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه ۲۴/۱۵درصد از کاهش عملکرد ممانعت‌کند و عملکرد دانه به ۹/۳۳تن در هکتار رسید، که این‌مقدار با عملکرد دانه در شرایط محیطی بدون‌تنش و عدم‌مصرف هورمون‌ها معنی‌دار نبود (جدول۴).

باتوجه به‌عدم معنی‌داربودن عملکرد دانه در محیط بدون‌تنش و تنش خشکی در مرحلهٔ رویشی، می‌توان گیاه ذرت را در مرحلهٔ رویشی متحمل به‌خشکی دانست و یا این‌که اعلام‌کرد که این گیاه پس از طی دوران تنش خشکی در مرحلهٔ رویشی و با ایجاد شرایط مطلوب رطوبتی در مرحلهٔ زایشی تا رسیدگی فیزیولوژیکی قابلیت بازیابی مناسبی پیدا می‌کند و می‌تواند خود را به شرایط بهینه نزدیک کند. یا این احتمال نیز وجود دارد که اعمال تنش رویشی باعث گسترده‌شدن بیش‌تر ریشه نسبت به‌محیط بدون‌تنش شده و سپس قرارگرفتن در شرایط مطلوب رطوبتی پس از اعمال تنش رویشی باعث استفاده از آب با کارایی بالاتر در مرحلهٔ زایشی (که مرحلهٔ بسیار حساسی است) می‌شود. هم‌چنین محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی باعث افزایش تعداد دانه و محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم باعث افزایش وزن دانه شد. پس از اعمال تنش زایشی عملکرد دانه از ۱۲/۲۶ به ۶/۷۷تن در هکتار رسید و نسبت به شاهد ۴۸/۰۴درصد افت کرد، ولی با مصرف هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ هشت تا ۱۰برگی و مصرف هورمون اکسین در مرحلهٔ ظهور ابریشم عملکرد دانه به ۹/۳۳تن در هکتار رسید، بنابراین مصرف این هورمون‌ها در این‌مراحل از افت حدود ۲۰درصد عملکرد دانه نسبت به‌محیط بدون‌تنش و عدم‌مصرف هورمون‌ها جلوگیری‌کرده است. بنابراین این‌مراحل می‌توانند به‌عنوان مراحل حساس در مطالعات آتی درباره این هورمون‌ها و یا شناسایی ژن‌های مرتبط در این گیاه در آزمایشات مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی مورداستفاده قرار گیرند. هم‌چنین باتوجه به نمودار اثر متقابل، تأثیرگذاری هورمون‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به‌محیط بدون‌تنش به‌دلیل برقراری روابط هورمونی مختل‌شده پررنگ‌تر است.

نتیجه‌گیری

References

1- Ahmadi, A., and Baker D. A. 1999. Effects of abscisic acid (ABA) on grain filling processes in wheat. Plant Growth Regulation. 28: 187–197. "The Role of Plant Hormones in Plants under Salinity Stress," Book Salinity and Water Stress 44:1. pp. 45-50.
2- Athar, H. R. and Ashraf, M. 2005. Photosynthesis under drought stress. In: Pessarakli, M. (ed.), Handbook of Photosynthesis, pp: 793–804. Taylor and Francis, New York.
3- Choukan, R. 2012. Maize and Maize properties. SPII, Iran (In Persian).
4- Claassen, M. M., and Shaw, R. H .1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. Agronomy Journal 62: 652-655.
5- Doorenbos, J., Kassam, A.K., 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, United Nations, Rome, p. 176.
6- Emeadeas, G.O., Banziger, M. and Ribaut, T.M. 2000. Maize improvement for drought limited environments. In: Physiological Basis for Maize Improvement, pp: 75–111. Food Products Press, New York.
7- Farooq, M., Wahid, A. Kobayashi, N. Fujita, D. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress, effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185–212.
8- Karmoker, JL and Van Steveninck, FM .1979. The effect of abscisic acid on the uptake and distribution of ions in intact seedlings of Phaseolus vulgaris cv. Redland Pioneer. Plant Physiology 45: 453-459.

www.SID.ir

Archive of SID

9- Kawai, M. and Uchimiga, H. 2000. Coleoptile senescence in rice (*Oryza sativa* L.). Annals of Botany 86:405–14.
10- Kowles, RV, Phillips RL .1988. Endosperm development in maize. International Review Cytology 112: 97-136.
11- Lur', H. S. and Setter, T. 1993. Role of Auxin in Maize Endosperm Development' Timing of Nuclear DNA Endoreduplication, Zein Expression, and Cytokinin. Plant Physiology 103: 273-280.
12- Marks, MD, Lindell, JS, Larkins, B.A .1985. Quantitative analysis of the accumulation of zein mRNA during maize endosperm development. Journal of Biological Chemistry 260: 16445-16450.
13- Muraro, D. Byrne, H., King, J., VoB, U., Kiber, J. and Bennett, M. 2011. The influence of cytokinin–auxin cross-regulationon cell-fate determination in Arabidopsis thaliana root development. Journal of Theoretical Biology 283:152–167.
14- Nabipour M., Khamady, N. Khamady F. Mahrokh A. Davani D., Nasiri M., Ahmadpour S.R., and sayahi N. 2013. Plasmodesmata. Vasef Lahiji Publications (In Persian).
15- Nabipour, M. Atlasi Pak, V. Abdeshahian, M. and Hasibi, P. 2011. Crop responses and adaptation to temperature stress. Ahwaz Shahid Chamran University Puplication (In Persian).
16- Ober, E. S., Setter, T. L, Madison, J. T., Thompson, J. F., and Shapiro, P. S. 1991. Influence of Water Deficit on Maize Endosperm Development. Plant Physiology 97:154-164.
17- POSPisILOVA, J. 2003. Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. Biologia plantarum 46(4): 491-506.
18- 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 Science Journal 10: 1–9.
19- Shaddad, M. A. K., Hamdia Abd El-Samad, M. and Mohammed, H. T. 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.
20- Slovin, J.P., Bandurski, R.S., Cohen, J.D. 1999. Auxin. In: Hooykaas, P.J.J., Hall, M.A., Libbenga, K.R. (ed.): Biochemistry and Molecular Biology of Plant Hormones. Pp. 115-140. Elsevier, Amsterdam.
21- Walker, M. A. and Dumbroff, B.1981. "Effect of Salt Stress on Abscisic and Cytokinin Levels," Zeitschrift für Pflanzen Physiologie, Vol. 101, p. 661.
22- Wang R.Y., Yu Z.W. and Pan Q.M. 1999. Changes of endogenous plant hormone contents during grain development in wheat. Acta Agronmica Sinica 25(3): 227–231.
23- Wang, C. A. Yang, H. Yin and Zhang, J. 2008. Influence of Water Stress on Endogenous Hormone Contents and Cell Damage of Maize Seedlings. Journal of Integrative Plant Biology 50 (4): 427–434.
24- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. and Zhu, Q. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. Plant Growth Regulation 41: 185–195.
25- Zažímalová, E., Kamínek, M., Březinová, A., Motyka, V. 1999. Control of cytokinin biosynthesis and metabolism. - In: Hooykaas, P.J.J., Hall, M.A., Libbenga, K.R. (ed.): Biochemistry and Molecular Biology of Plant Hormones. Pp. 141-160. Elsevier, Amsterdam.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 2, Summer. 2016, p. 266-278

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۲۷۸-۲۶۶

Evaluation of Relationship between Auxin and Cytokinine Hormones on Yield and Yield Components of Maize under Drought Stress Condition

A. Mahrokh[1*]- M. Nabi Pour[2]- H. A. Roshanfekr Dezfuli[3]- R. Choukan[4]

Received: 9-02-2014
Accepted: 4-06-2015

Introduction

Drought is one of the major environmental conditions that adversely affects plant growth and crop yield. In the face of a global scarcity of water resources, water stress has already become a primary factor in limiting crop production worldwide. Drought is the major restriction in maize production. The plant growth reduction 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 for reversing the effects of abiotic stress. Phytohormones such as auxine and cytokinine 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 translocation and partitioning of photoassimilates for grain filling in cereal crops, and therefore could be involved in the regulation of grain weight and yield.

Materials and Methods

The experiment was carried out in three separately environments included non-drought stress environment (irrigation after soil moisture reached to 75% field capacity), drought stress in vegetative stage (irrigation after soil moisture reached to 50% field capacity in V_4 to tasseling stage, but irrigation after soil moisture reached to 75% field capacity in pollination to physiological maturity stage) and drought stress in reproductive stage (irrigation after soil moisture reached to 75% field capacity in V_4 to tasseling stage and irrigation after soil moisture reached to 50% field capacity in pollination to physiological maturity stage). Cytokinin hormone in three levels (control, spraying in V_5 –V_6 and V_8-V_{10} stages) and auxin hormone in three levels (control, spraying in silk emergence stage and 15 days after that) were laid out as a factorial design based on randomized complete block with three replications in each environment at Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Karaj, Iran, in 2013. Indole-3-butyric acid and N_6-benzyladenin were used as auxin and cytokinin hormones, respectively. Concentration of auxine and cytokinine hormones were 10 and 50 mg per liter, respectively. Harvesting was done from 4.5 m^2 at field maturity stage with 14 % grain moisture for estimating grain yield and yield components. SAS software (version 9.1) was used for statistical analysis. Traits means were compared by Duncan's multiple range tests in 5% probably level.

Results and Discussion

Drought stress effect was significant ($P\leq0.01$) for ear number per plant, row/ear, grain number per m^2, 1000 kernels weight and grain yield and it wasn't significant for kernels/row. Spraying cytokinine hormone was significant ($P\leq0.01$) on ear number per plant, row/ear, grain number per m^2 and it was also ($P\leq0.05$) significant for 1000 kernels weight but it wasn't significant for kernels/row and grain yield. Spraying auxine hormone was significant ($P\leq0.01$) for1000 kernels weight and grain yield and it wasn't significant forother yield components. The maximum yield was obtained 12.80 and 12.24 tons per hectare in non-stress environment and using auxin hormone in silk emergence stage, respectively. Grain yield was decreased 49.21% under reproductive drought stress and grain yield difference between non drought stress and vegetative drought stress was not significant. Spraying cytokinine hormone increased ear number by 10% in V_8-V_{10} stage. The maximum row/ear was 16.16 kernels per row which was obtained by spraying cytokinine hormone in V_8-V_{10} stage. Spraying cytokinine hormone increased grain number per m^2 up to 20.75% in V_8-V_{10} stage but it decreased 1000 kernels weight up to 13.76% in the same stage. The maximum 1000 kernels weight was 313.87 gr that was obtained by spraying auxine hormone in silk emergence stage. Spraying auxine hormone increased grain yield up to 23.38% in silk emergence stage.

1- Ph.D student of crop physiology in Chamran university of Ahwase and researcher in Seed and Plant Improvement Institute of Karaj
2, 3- Professor and associate professor respectively, College of Agriculture, Chamran University of Ahwaz
4- Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj
(*- Corresponding Author Email: ali_mahrokh229@yahoo.com)

www.SID.ir

Archive of SID

Conclusions

Based on the results of this experiment, maize was tolerant to drought stress up to 50% field capacity in vegetative stage, but grain yield was decreased by 48.04% under drought stress condition in reproductive stage, and spraying cytokinine and auxine hormones in V_8-V_{10} and silk emergence stages respectively, could prevent about 20% of decreasing of grain yield. Therefore, under drought stress condition, spraying cytokinine and auxin hormones in V_8 –V_{10} and silk emergence stage can be recommended as the best time for using these hormones respectively, because they can balance hormones rate disturbs under drought stress condition.

Keywords: Drought in reproductive stage, Drought in vegetative stage, Growth regulative, Hormonal balance, Spraying hormone

www.SID.ir