

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

علی ماهرخ^{۱*} - مجید نبی پور^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 برهم خوردن تعادل هورمون‌ها می‌باشد، بنابراین کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند عاملی در جهت معکوس کردن تنش‌های غیرزنده باشد. این مطالعه به منظور ارزیابی کاربرد هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر عملکرد دانه و اجزای آن در ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی اجرا 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. هورمون‌های سیتوکینین در سه سطح (شاهد، محلول پاشی در مرحله پنج تا شش برگی و هشت تا دهرگی) و اکسین در سه سطح (شاهد، محلول پاشی در مرحله ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم) در هر محیط در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. بیش‌ترین عملکرد دانه در محیط بدون تنش و مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم به ترتیب با میانگین ۱۲/۸۰ و ۱۲/۲۴ تن در هکتار حاصل شد. اختلاف عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی و بدون تنش معنی‌دار بود، و ۴۹/۲۱ درصد نسبت به محیط بدون تنش افت کرد. محلول پاشی هورمون سیتوکینین باعث افزایش تعداد دانه و کاهش وزن دانه شد، ولی محلول پاشی هورمون اکسین باعث افزایش وزن دانه و عملکرد دانه گردید. بر اساس نتایج تجزیه مرکب حاصل از این آزمایش، در شرایط تنش خشکی، محلول پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین به ترتیب در مراحل هشت تا دهرگی و ظهور ابریشم به دلیل برقراری تعادل هورمونی مختل شده، تا حدود ۲۰ درصد مانع از افت عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی شدند و به عنوان مراحل حساس در واکنش به این هورمون‌ها در شرایط تنش خشکی توصیه می‌شوند.

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

مقدمه

طولانی‌تر شدن فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (ASI) در این گیاه می‌شود که به شدت باعث کاهش تعداد دانه خواهد شد (Emeadeas *et al.*, 2000). در شرایط خشکی پیرشدن برگ تسریع و اندازه کانوپی کاهش می‌یابد که به شدت 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 تحت تأثیر قرار می‌گیرند. کمبود آب در طی مراحل اولیه نمو آندوسپرم ممکن است مانع از رشد دانه به وسیله کاهش تقسیم سلول‌های آندوسپرم شود و این پاسخ ممکن است به وسیله تغییر در سطح هورمون آبسزیک‌اسید (ABA) صورت گیرد (Ober *et al.*, 1991). تنش خشکی باعث کاهش تعداد هسته‌های آندوسپرم در طی دوره نمو آندوسپرم می‌شود و بیش‌ترین تأثیر نیز بر روی دانه‌های انتهایی بلال است (Ober *et al.*, 1991).

در حال حاضر تنش خشکی به علت کمبود جهانی منابع آبی، تبدیل به عامل اصلی محدودیت تولید گیاهان زراعی در عرصه جهانی شده است. هم‌چنین، خشکی مهم‌ترین عامل محدودیت تولید ذرت (*Zea mays*) است (Sallah *et al.*, 2002). تخمین زده شده است که خشکی باعث کاهش بیش‌تر از ۵۰ درصد 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).

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شهید چمران اهواز و پژوهشگر مؤسسه 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 مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
- *- نویسنده مسئول: (Email: ali_mahrokh229@yahoo.com)

غیرمستقیم تحت تأثیر تنش‌ها و هورمون‌های گیاهی قرار می‌گیرند (Pospisilova, 2003). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه به‌طور گسترده‌ای به‌صورت طبیعی و سنتزی در محصولات کشاورزی به‌عنوان عاملی در جهت بهبود گیاهان زراعی استفاده می‌شوند (Pospisilova, 2003). هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های دخیل در پاسخ‌های گیاهی به‌اثرات نامطلوب شرایط محیطی شناخته شده هستند (Walker et al., 2009; Kaya et al., 1981). برخی مطالعات نشان می‌دهد که هورمون‌ها تنظیم‌کننده‌های ضروری برای انتقال و تسهیم فرآورده‌های فتوسنتزی برای پُرشدن دانه در غلات هستند و بنابراین می‌توانند در تنظیم وزن دانه و عملکرد دخیل باشند (Ahmadi and Baker, 1999).

تنش خشکی باعث برهم خوردن تعادل هورمون‌ها شامل: افزایش ABA در برگ و یا کاهش مقدار سیتوکینین، اکسین و جیبرلین می‌شود. (Pospisilova, 2003). در آزمایشی در ذرت مقدار ۲۰ میکرومول از هورمون‌های IAA, GA₃, Kinetin و مخلوط آن‌ها استفاده شد. با محلول‌پاشی هورمون‌ها، عملکرد، سطح برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی افزایش قابل توجهی داشتند، که نشان از همبستگی کامل میان این سه فاکتور است. (Shaddad et al., 2011). قابل ذکر است که IAA تنها هورمونی بود که تا رطوبت در حد ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه توانست عملکرد قابل قبولی تولید کند، اگرچه سایر هورمون‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای در رشد گیاه در مرحله رشد رویشی داشتند. در این آزمایش در رقم حساس به‌خشکی در ذرت، محلول‌پاشی هورمون‌ها باعث افزایش عملکرد به‌میزان بیش‌تر از شاهد در شرایط کاهش رطوبت تا ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه شد. همچنین، تولید عملکرد در استفاده از هورمون IAA در شرایط کاهش رطوبت تا ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه و شرایط آبیاری نرمال (رطوبت در حد ۹۰ درصد ظرفیت مزرعه) یکسان بود. نتایج پژوهشی نشان داد هنگامی که رطوبت خاک به ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه رسید، هیچ عملکردی حاصل نشد ولی در شرایط استفاده از هورمون‌ها در همین مقدار رطوبت خاک، مقدار ۲۵ درصد عملکرد شاهد حاصل شد (Shaddad et al., 2011).

در آزمایشی دیگر (Wang et al., 2008) گیاهچه‌های ذرت در روز دوم اعمال تنش خشکی شروع به پژمرده شدن کردند و روند افزایش ارتفاع گیاه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت، درحالی‌که علائم پژمردگی در گیاهچه‌های ذرت که با هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین تیمار شده بودند تا روز پنجم اعمال تنش خشکی مشاهده نشد. پس از هفت‌روز تنش خشکی ارتفاع گیاهچه‌های ذرت ۱۶/۷۱ درصد نسبت به‌شاهد کاهش یافت، درحالی‌که گیاهچه‌های تیمار شده با جیبرلین و سیتوکینین به‌ترتیب فقط ۹/۶۶ درصد و ۷/۸۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافتند. از سوی دیگر، کاربرد سیتوکینین و

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 مرحله گل‌دهی یا پُرشدن دانه رخ دهد، کاهش عملکرد دانه بسیار شدید خواهد بود (Claassen and Shaw, 1970). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی اثر زیادی بر تعداد دانه دارد، درحالی‌که تنش خشکی پس از گرده‌افشانی به‌طور عمده بر اندازه دانه اثر دارد (Claassen and Shaw, 1970). در ۱۰ تا ۱۵ روز پس از گرده‌افشانی، ذرت از مرحله تقسیم‌سلولی آندوسپرم وارد مرحله تجمع مواد ذخیره‌ای می‌شود (Marks et al., 1985). در گیاهانی که حدود هفت تا ۱۵ روز پس از گرده‌افشانی به‌خوبی آبیاری شده‌اند فعالیت آنزیم‌ها در مسیر سنتز نشاسته افزایش می‌یابد اما در حدود ۲۰ روز پس از گرده‌افشانی به‌حداکثر خود می‌رسند (Ober et al., 1991). تعداد سلول‌های آندوسپرم همبستگی نزدیکی با اندازه نهایی دانه دارد. بنابراین تنش خشکی باعث کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم دانه ذرت در نتیجه باعث کاهش اندازه دانه و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد (Ober et al., 1991). برخی پژوهش‌گران (Doorenbos and Kassam, 1979) گزارش کردند که ذرت به‌کمبود آب در مرحله 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 مرحله حساس (ظهور گل‌نر و تشکیل بلال) به‌طور جدی باعث کاهش عملکرد شد، و آبیاری در این دو مراحل باعث بالاترین عملکرد دانه شد.

گیاهان طوری تکامل یافته‌اند که توانایی سازگاری الگوی رشدشان را در پاسخ به محرک‌های محیطی داشته‌باشند. یک الگوی تعادل مناسب در ریشه و اندام‌های هوایی برای جذب مناسب مواد غذایی، نور و آب بسیار مهم است. تولید اندام و بافت در گیاهان به‌وسیله سلول‌های بنیادی گیاه (سلول‌های مریستمی) تداوم پیدایمی‌کند و به‌وسیله اثرات پیچیده بین هورمون‌های مختلف تنظیم می‌شود (Muraro et al., 2011). هورمون‌های گیاهی به‌عنوان عاملی در جهت سازگاری گیاهان به تنش‌های خشکی و نقش مهم آن‌ها در رشدونمو گیاهان شناخته شده 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

بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت، هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی طراحی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا بین ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی در سال زراعی ۱۳۹۲ به اجرا درآمد. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵ میلی‌متر بوده که با زمستان‌های سرد جزو مناطق سرد کم‌باران به‌شمار می‌رود. بافت خاک مزرعه رسی-شنی، با وزن 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 ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و فسفات آمونیوم مصرف شد و در مرحله شش-هشت‌برگی نیز معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک توزیع شد. به دلیل کفایت میزان پتاسیم خاک این نوع کود استفاده نشد (جدول ۱).

جیبرلین نشأت الکترولیت‌ها را در مواجهه با تنش خشکی کاهش داد. بنابراین، پیشنهاد شد که هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین می‌توانند در تخفیف آسیب‌سولوی در مواجهه با تنش خشکی در گیاهچه‌های ذرت مؤثر باشند. مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد خارجی سیتوکینین و جیبرلین باعث کاهش آسیب‌سولوی و بهبود رشد گیاهچه‌های ذرت در شرایط تنش خشکی می‌شود. بنابراین، نتایج حاکی از آن است که هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین ممکن است به‌پایداری غشاء سلول و افزایش تحمل خشکی در گیاهچه‌های ذرت مفید باشند.

۱۰ روز پس از گرده‌افشانی ذرت تغییراتی در نسبت هورمون سیتوکینین به اکسین مشاهده می‌شود و این تغییرات هورمونی منجر به شروع تجمع نشاسته و ذخیره پروتئین در این مرحله می‌شود. این امکان وجود دارد که سیتوکینین و اکسین نقش مستقلی در این زمینه داشته‌باشند (Lur' and Setter, 1993). در آزمایشی (Yang, 2003) بیان شد که سیتوکینین و اکسین احتمالاً باعث تنظیم پُرسدن دانه در اوایل مراحل پُرسدن دانه در برنج (*Oryza sativa*) می‌شوند و این کار احتمالاً از طریق دست‌کاری تقسیم سلول‌های آندوسپرم و ایجاد قدرت کشش مقصد انجام می‌شود. این آزمایش جهت تعیین رابطه هورمون‌های اکسین و سیتوکینین

جدول ۱- میزان موجودی NPK بر اساس آزمون خاک

Table 1- NPK values in soil test

سال آزمایش Year	درصد نیتروژن کل percent Total Nitrogen	فسفر قابل استفاده (ppm) Available Phosphorus	پتاسیم قابل استفاده (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 سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش هیبرید KSC704 در سه محیط جداگانه، شامل محیط یک: شاهد یا بدون تنش خشکی (آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه)، محیط ۲: تنش خشکی در مرحله رشد رویشی (در مرحله V₄ تا ظهور گل تاجی، آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه صورت‌گرفت ولی از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه صورت‌گرفت) و محیط سه: تنش خشکی در مرحله رشدزایشی (از مرحله V₄ تا ظهور گل تاجی آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه صورت‌گرفت، ولی در مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه صورت‌گرفت) و هورمون اکسین (در سه‌زمان مصرف: شاهد یا عدم مصرف، ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم) و هورمون سیتوکینین (در سه‌زمان مصرف: شاهد یا عدم مصرف، تشکیل جوانه بلال یعنی مرحله

۵-۷ و مرحله V₈-V₁₀) به‌صورت فاکتوریل در هر محیط، به‌شکل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. کاشت به‌صورت جوی و پشته، فاصله پشته‌ها از هم ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها پس از تنک کردن حدود ۱۸ سانتی‌متر (تراکم کاشت حدود ۷/۵ بوته در متر مربع)، هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت به‌طول شش‌متر بود. از ایندول بوتریک اسید (IBA) و بنزیل‌آدنین (BA) (تهیه‌شده از نمایندگی شرکت مرک آلمان) به‌ترتیب به‌عنوان هورمون‌های اکسین و سیتوکینین استفاده شد. غلظت مصرف هورمون‌های اکسین و سیتوکینین به‌ترتیب در کرت‌های مورد نظر به‌مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. به‌منظور جذب بیش‌تر هورمون از ماده سورفاکتانت توین ۲۰ (تهیه‌شده از نمایندگی شرکت مرک آلمان) استفاده شد و محلول پاشی در عصر پس از غروب خورشید انجام شد. هم‌چنین جهت افزایش حلالیت بیش‌تر هورمون در آب از اتانول ۷۰ درصد استفاده شد. برای آب بین‌بردن اثرات آب و اتانول، در کرت‌های شاهد به‌طور هم‌زمان ترکیب آب و اتانول محلول پاشی شد. برای تعیین زمان آبیاری از

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 (جدول ۲). محلول پاشی 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 (جدول ۲). همچنین، محلول پاشی هورمون اکسین بر وزن هزاردانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود و بر سایر اجزای عملکرد معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تعداد بلال

بیش‌ترین تعداد بلال در محیط بدون تنش خشکی با میانگین ۹۶/۰ بلال در هر بوته حاصل شد (جدول ۳). در شرایط تنش در مرحله زایشی تولید بلال در هر بوته افت کرد و به ۷۲/۰ بلال در هر بوته رسید، یعنی ۲۸ درصد بوته‌ها فاقد بلال بودند که این مقدار نیز با تولید بلال در شرایط تنش در مرحله رویشی معنی‌دار نبود (جدول ۳). به نظر می‌رسد عدم توانایی تولید بلال در شرایط تنش رویشی و زایشی به ترتیب به دلیل عدم تشکیل جوانه بلال در مرحله پنج تا ۱۰ برگی و عدم ظهور ابریشم به دنبال تنش خشکی باشد.

محلول پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث افزایش ۱۰ درصدی تولید بلال نسبت به عدم محلول پاشی هورمون سیتوکینین شد. ولی مصرف این هورمون در مرحله پنج تا شش برگی بر تولید بلال معنی‌دار نبود (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش غلظت هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث افزایش تقسیم سلول‌های مریستمی مولد جوانه بلال شده و کاهش تقسیم سلولی در شرایط تنش خشکی را جبران کرده است. در همین راستا نیز برخی محققین گزارش کردند که سیتوکینین‌ها با هماهنگی یا تضاد با سایر هورمون‌های گیاهی باعث تقسیم سلولی و فرایندهای مرتبط با رشد گیاه می‌شوند (Zazimalova et al., 1999). در مرحله رشد رویشی از زمان پنج تا ۱۰ برگی چندین جوانه بلال تولید می‌شود ولی نهایتاً یک یا ۲ عدد از این جوانه‌ها شکل گرفته و به بلال تبدیل می‌شوند. احتمالاً جوانه تولیدی در مرحله پنج تا شش برگی سقط شده است و به همین دلیل مصرف هورمون سیتوکینین در این مرحله نتوانسته مانع از سقط جوانه بلال شود. مصرف هورمون اکسین در هر ۲ مرحله ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم بر تولید بلال بی‌تأثیر بود (جدول ۳)، که باتوجه به زمان تشکیل جوانه بلال (مرحله رویشی) و زمان مصرف هورمون اکسین (مرحله زایشی) چنین واکنشی بدیهی به نظر می‌رسد.

تعداد ردیف دانه

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

اندازه‌گیری رطوبت‌وزنی خاک در هر محیط استفاده‌شد و تیمارهای مختلف تنش خشکی متناسب با هر محیط آزمایش و بر اساس مراحل فنولوژیکی گیاه اعمال شد. برای تعیین حجم آب‌مصرفی در هر آبیاری در هر محیط، قبل از آبیاری نمونه برداری از خاک محیط موردنظر تا عمق توسعه ریشه انجام شد و درصد رطوبت‌وزنی خاک تعیین شد. حجم آب‌آبیاری با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ در هر آبیاری تعیین گردید. مقدار آب‌مصرفی با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شده بود، کنترل گردید. آبیاری نیز به صورت جوی‌ویشته و با استفاده از لوله‌های هیدروفلوم و دریچه‌هایی که در ابتدای خطوط کاشت تعبیه شده بود صورت گرفت.

$$H = \rho b(\theta_{F.C} - \theta_m) \cdot D \quad (1)$$

$$V = H \times A \quad (2)$$

در معادله‌های ۱ و ۲، H نشان‌دهنده ارتفاع آب داخل کرت، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک، $\theta_{F.C}$ رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه، 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 بدون تنش خشکی، تنش در مرحله رشد رویشی و تنش در مرحله رشد زایشی به ترتیب ۱۰۶۴۲، ۸۴۲۵ و ۸۷۸۷ مترمکعب در هکتار بود.

برای مبارزه با علف‌های هرز قبل از کاشت از علف‌کش ارادیکان معادل شش لیتر در هکتار و پس از کاشت نیز، یک بار وجین‌دستی در مرحله چهار تا شش برگی صورت گرفت. برای مبارزه با آفات ذرت در همین مرحله از حشره‌کش سوین به میزان سه لیتر در هکتار استفاده شد. برداشت نهایی از سطحی معادل ۴/۵ متر مربع با رعایت حاشیه، در زمان رسیدگی زراعی برای تخمین عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) صورت گرفت. جهت تعیین اجزای عملکرد، تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در هر ردیف بلال، تعداد ۱۰ بلال به طور تصادفی از بلال‌های برداشت‌شده از هر کرت انتخاب و تعداد دانه به صورت دستی بر روی بلال شمارش گردید، میزان رطوبت دانه نیز با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی مدل DICKEY JOHN تخمین زده شد. شمارش دانه برای تخمین وزن هزاردانه با استفاده از دستگاه بذرشمار مدل دیجیتالی صورت گرفت و سپس هزاردانه شمارش‌شده با ترازوی حساس توزین و وزن هزاردانه بر حسب گرم محاسبه گردید. پس از انجام آزمون بار تلت، نتایج هر سه محیط به صورت مرکب تجزیه شدند. برای محاسبه تجزیه‌وارینانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید، و میانگین عوامل آزمایش با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

بدون تنش خشکی حاصل شد، که با تعداد ردیف دانه تولیدی در محیط تنش زایشی معنی‌دار نبود (جدول ۳).

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					عملکرد دانه Grain yield
		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	
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 Cytokinin	2	0.099**	13.05**	52.26 ^{ns}	7552601.89**	16144.36*	1.24 ^{ns}
سیتوکینین × محیط Cytokinin × 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 Cytokinin × Auxine	4	0.008 ^{ns}	0.26 ^{ns}	10.49 ^{ns}	267425.43 ^{ns}	2165.97 ^{ns}	3.37 ^{ns}
سیتوکینین × اکسین × محیط Cytokinin × 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 به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج، یک درصد و معنی‌دار نبودن اثر عوامل آزمایشی می‌باشند
* **, ns: Significant at the 5% and 1% levels respectively and ns: no significant

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا 10 برگی حاصل شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش تقسیم سلول‌های مریستمی جوانه بلال تشکیل شده در این مرحله باعث افزایش تعداد ردیف دانه شده است، ولی مصرف هورمون سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگی باعث افزایش تعداد ردیف دانه نشد (جدول ۳). احتمالاً جوانه بلال تشکیل شده در این مرحله سقط شده و بلال نهایی ایجاد شده در مراحل بعدی تشکیل شده و باعث شده که افزایش غلظت سیتوکینین در این مرحله بر تعداد ردیف دانه مؤثر نباشد (جدول ۳).

محلول‌پاشی هورمون اکسین باعث افزایش تعداد ردیف دانه نشد (جدول ۳)، که البته چنین واکنشی باتوجه به زمان مصرف این هورمون (مرحله گرده‌افشانی و ۱۵ روز پس از گرده‌افشانی) که پتانسیل تعداد ردیف دانه شکل گرفته است بدیهی به نظر می‌رسد.

در شرایط تنش رویشی میانگین تعداد ردیف دانه در بلال نسبت به محیط بدون تنش ۱۴/۵۲ درصد به‌طور معنی‌داری افت کرد. به نظر می‌رسد کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی در زمان تشکیل جوانه بلال در مرحله 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 مرحله پنج برگی شروع می‌شود و تا پایان تقسیم سلول‌های مریستمی در مرحله حدوداً ۱۰ تا ۱۲ برگی ادامه دارد، و ایجاد شرایط نامساعد در این مرحله باعث کاهش تعداد ردیف دانه خواهد شد (Choukan, 2012). هم‌چنین برخی دیگر از محققین (Emeadeas *et al.*, 2000) نیز، کاهش تعداد ردیف دانه ذرت را به طولانی شدن فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم و کاهش درصد لقاح نسبت دادند.

بیشترین تعداد ردیف دانه با میانگین ۱۶/۱۶ دانه در هر ردیف با

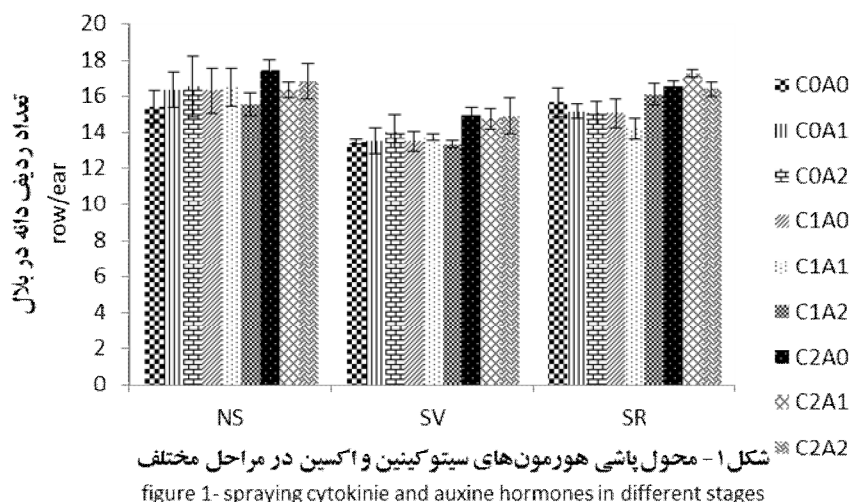
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای، تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون‌ها در مراحل مختلف رشد
 Table 3- means corporation yield and yield components grain maize affected drought stress and spraying hormones in growth different stages

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						
بدون تنش 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 مرحله 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 مرحله 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 Cytokinin spraying						
شاهد Control	0.82 b	15.02 b	44.73 a	4004.5 b	306.03 a	10.90 a
مرحله 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
مرحله 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
مرحله ظهور ابریشم Silk emergence stage	0.83 a	15.31 a	43.01 a	4139.8 a	313.87 a	12.24 a
مرحله 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)

مصرف هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی و مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش تعداد ردیف دانه شد (نمودار ۱). به نظر می‌رسد این دو هورمون در این مراحل در برقراری تعادل هورمونی مختل شده در مرحله رشد زایشی در اثر تنش خشکی مؤثر هستند. برخی محققین نیز گزارش کردند که هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های دخیل در پاسخ‌های گیاهی به‌اثرات نامطلوب شرایط محیطی مانند تنش خشکی شناخته شده هستند (Kaya et al., 2009; Walker and

در شرایط بدون تنش خشکی به‌دلیل وجود تعادل هورمونی، تفاوت معنی‌داری از لحاظ مصرف و عدم مصرف هورمون‌های سیتوکینین و اکسین وجود نداشت (نمودار ۳)، ولی به‌نظر می‌رسد، در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و به‌دنبال آن اختلال در تعادل هورمونی در اثر تنش (Kawai and Uchimiga, 2000)، مصرف هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث افزایش تعداد ردیف دانه شد، ولی مصرف هورمون اکسین در این شرایط مؤثر واقع نشد (نمودار ۱)، هم‌چنین در شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی



شرایط محیطی نامناسب باعث کاهش تقسیم سلول‌های مرستمی جوانه بلال و کاهش تعداد ردیف دانه و نهایتاً کاهش تعداد دانه در مترمربع خواهد شد (choukan, 2012). همچنین برخی محققین ایجاد شرایط تنش خشکی در دو هفته قبل از گرده‌افشانی (مرحله ۱۲ تا ۱۴ برگی) 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 به شرایط بدون تنش، ۲۸/۱۶ درصد کاهش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش تعداد بلال در هر بوته در شرایط تنش زایشی باعث کاهش تعداد دانه در مترمربع در مرحله زایشی شود (جدول ۳). همچنین در مرحله گرده‌افشانی، تنش خشکی باعث مرگ دانه‌های گرده و خشک شدن ابریشم‌های نوک بلال شده، در نتیجه درصد لقاح کاهش یافته و تعداد دانه تشکیل شده در هر بلال کاهش می‌یابد.

محلول پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث افزایش تعداد دانه به میزان ۲۰/۷۵ درصد شد (جدول ۳). افزایش غلظت هورمون سیتوکینین در این مرحله با افزایش تعداد بلال و افزایش تعداد ردیف دانه در هر بلال باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع شد (جدول ۳). محلول پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگی باعث افزایش تعداد دانه نشد (جدول ۳). به نظر می‌رسد جوانه بلال تشکیل شده در این مرحله سقط شده باشد و جوانه بلال تشکیل شده در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باقی مانده و نهایتاً حتی اگر تقسیم سلولی در مرحله چهار تا پنج برگی نیز در اثر مصرف سیتوکینین تحریک شده باشد در نهایت بی‌تأثیر باقی مانده است. محلول پاشی هورمون اکسین باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع

شکل (۱) تأثیر تنش خشکی و محلول پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین را در مراحل مختلف بر تعداد ردیف دانه نشان می‌دهد. NS، SV و SR به ترتیب نشان‌دهنده محیط بدون تنش خشکی، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله رشد زایشی می‌باشد. C₀، C₁ و C₂ به ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول پاشی و محلول پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگی و هشت تا ۱۰ برگی می‌باشد و A₀، A₁ و A₂ به ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول پاشی و محلول پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم می‌باشد. میانگین‌ها و \pm SD نمونه‌های سه تکرار می‌باشند.

تعداد دانه در ردیف بلال

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

تعداد دانه در مترمربع

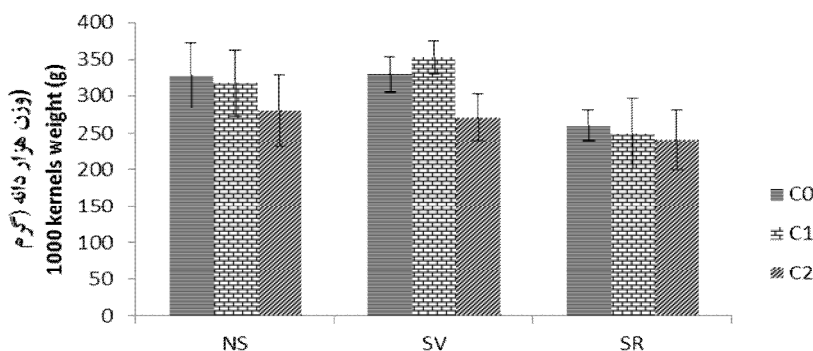
بیشترین تعداد دانه با میانگین ۵۰۴۸/۹ دانه در مترمربع در شرایط بدون تنش حاصل شد (جدول ۳). با ایجاد تنش خشکی در مرحله رویشی تعداد دانه ۲۰/۴۱ درصد کاهش یافت و به ۴۰۱۸/۳ رسید. به نظر می‌رسد پتانسیل تعداد دانه در مرحله رشد رویشی شکل می‌گیرد. برخی محققین گزارش کردند که در مرحله چهار تا ۱۰ برگی ایجاد

سیتوکینین در این مرحله و تقسیم‌شدن مواد فتوسنتزی مساوی در تعداد بیش‌تر دانه باعث این کاهش شده باشد.

بیش‌ترین وزن هزاردانه با میانگین ۳۱۳/۸۷ گرم از محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم حاصل شد (جدول ۳) و مصرف این هورمون باعث افزایش ۱۲/۱۰ درصد وزن دانه نسبت به عدم مصرف هورمون شد. به نظر می‌رسد هورمون اکسین باعث افزایش قابلیت آنزیم SSS شود، و با تبدیل بیش‌تر ساکاروز به نشاسته باعث افزایش تداوم صادرات از مبدأ به مقصد شود که در این حالت افزایش وزن دانه قابل دسترس می‌شود. در آزمایش (Yang, 2003) بیان شد که اکسین احتمالاً از طریق دست‌کاری تقسیم سلول‌های آندوسپرم و ایجاد قدرت‌کشش مقصد باعث تنظیم پُرشدن دانه می‌شود.

محلول‌پاشی هورمون اکسین در ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم در افزایش وزن دانه بی‌تأثیر بود (جدول ۳). احتمالاً در این مرحله بافت و یا اندام مورد نظر 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 بیان شد که حدود هفت تا ۱۵ روز پس از گرده‌افشانی فعالیت آنزیم‌ها در مسیر سنتز نشاسته افزایش می‌یابد، اما در حدود ۲۰ روز پس از گرده‌افشانی به حداکثر خود می‌رسند و پس از آن کاهش می‌یابد (Ober et al., 1991).

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین بر وزن هزار دانه در محیط بدون تنش و تنش زایشی روند یکسانی داشت، ولی در محیط تنش زایشی مصرف سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث کاهش وزن هزاردانه به دلیل افزایش تعداد دانه شد (نمودار ۲). بنابراین تأثیرگذاری هورمون سیتوکینین بر تعداد دانه در شرایط تنش زایشی نسبت به محیط بدون تنش و تنش زایشی معنی‌دار بود.



شکل ۲- محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مراحل مختلف در شرایط محیطی متفاوت
figure 2- spraying cytokinin hormone in different stages in different environmental

را در مراحل مختلف بر تعداد ردیف دانه نشان می‌دهد. NS، SV و SR

نشود. احتمالاً هورمون اکسین بر تعیین پتانسیل تعداد دانه بی‌تأثیر است و یا در شرایط این آزمایش پتانسیل تعداد دانه کاملاً در مرحله رشد زایشی تعیین شده است (زمانی که غلظت هورمون اکسین پایین بوده است).

وزن هزاردانه

بیش‌ترین وزن هزاردانه در شرایط تنش زایشی با میانگین ۳۱۷/۶۴ گرم حاصل شد، که این مقدار با وزن هزاردانه در محیط بدون تنش معنی‌دار نبود (جدول ۳). احتمالاً بیش‌تر بودن وزن هزاردانه در محیط تنش زایشی نسبت به محیط بدون تنش به علت بیش‌تر بودن تعداد دانه در محیط بدون تنش است که باعث می‌شود مواد فتوسنتزی مساوی بین تعداد بیش‌تری دانه تقسیم شود و سهم هر دانه از مواد فتوسنتزی به مقدار ناچیزی کاهش یافته است. در شرایط تنش زایشی وزن هزاردانه به مقدار ۱۸/۹۰ درصد کاهش یافت و به ۲۵۰/۲۱ گرم رسید (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش مقدار مواد پرورده در اثر وقوع تنش زایشی باعث کاهش وزن دانه شد. باتوجه به این که تعداد دانه نیز در شرایط تنش زایشی کاهش یافت ولی مواد فتوسنتزی موجود برای همین تعداد دانه نیز کافی نبود و وزن دانه کاهش یافت. ممکن است علاوه بر کاهش مواد فتوسنتزی در اثر تنش زایشی، آنزیم SSS^۱ که باعث تبدیل ساکاروز به نشاسته در دانه می‌شود نیز تخریب شده 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 حاکی از این است که مسدود شدن پلاسمودسماتا در شرایط تنش خشکی نیز باعث کاهش انتقال سلولی مواد فتوسنتزی و احتمالاً کاهش وزن دانه خواهد شد (Nabipour, et al., 2013). محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث کاهش وزن هزاردانه به مقدار ۱۳/۷۶ درصد شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش تعداد دانه در اثر مصرف هورمون

شکل (۲) تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین

بیش‌ترین عملکرد دانه در محیط بدون تنش با میانگین ۱۲/۸۰ تن در هکتار حاصل شد (جدول ۳)، که این مقدار با میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش رویشی (۱۲/۶۷ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیش‌تر بودن وزن هزار دانه در شرایط تنش رویشی نسبت به محیط بدون تنش توانست کاهش تعداد دانه در شرایط تنش رویشی را جبران نماید، و تفاوت عملکرد در هر دو محیط بدون تنش و تنش رویشی معنی‌دار نبود.

به‌ترتیب نشان‌دهنده محیط بدون تنش خشکی، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله رشد زایشی می‌باشد. C₀، C₁ و C₂ به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگگی و هشت تا ۱۰ برگگی می‌باشد. میانگین‌ها و \pm SD نمونه‌های سه‌تکرار می‌باشند.

عملکرد دانه

جدول ۴- تأثیر محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین و اکسین در مراحل مختلف و در شرایط محیطی متفاوت بر عملکرد دانه. NS، SV و SR به‌ترتیب نشان‌دهنده محیط بدون تنش خشکی، تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و تنش خشکی در مرحله رشد زایشی می‌باشد. C₀، C₁ و C₂ به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله پنج تا شش برگگی و هشت تا ۱۰ برگگی و A₀، A₁ و A₂ به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم می‌باشد. عملکرد دانه به‌صورت میانگین و \pm SD سه‌تکرار نشان داده شده است

Table 4- Auxine and Cytokinin 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: Cytokinin spraying in V₅-V₆ stage, C₂: Cytokinin spraying in V₈-V₁₀ 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 \pm SD with three replications

محیط Enviromental	سیتوکینین Cytokinin	اکسین Auxine	عملکرد دانه Grain yield (ton ha ⁻¹)
NS	C ₀	A ₀	12.26 ± 3.49
VS	C ₀	A ₀	12.67 ± 0.47
RS	C ₀	A ₀	6.77 ± 2.72
NS	C ₀	A ₁	15.49 ± 4.60
VS	C ₀	A ₁	13.53 ± 2.54
RS	C ₀	A ₁	7.83 ± 2.61
NS	C ₀	A ₂	11.38 ± 3.33
VS	C ₀	A ₂	12.92 ± 1.64
RS	C ₀	A ₂	5.29 ± 3.00
NS	C ₁	A ₀	11.93 ± 6.63
VS	C ₁	A ₀	12.39 ± 0.46
RS	C ₁	A ₀	6.23 ± 2.89
NS	C ₁	A ₁	13.85 ± 4.40
VS	C ₁	A ₁	14.27 ± 3.31
RS	C ₁	A ₁	7.25 ± 3.42
NS	C ₁	A ₂	11.72 ± 3.27
VS	C ₁	A ₂	10.56 ± 1.80
RS	C ₁	A ₂	6.38 ± 2.90
NS	C ₂	A ₀	12.09 ± 4.14
VS	C ₂	A ₀	11.73 ± 0.87
RS	C ₂	A ₀	3.24 ± 0.42
NS	C ₂	A ₁	13.99 ± 5.62
VS	C ₂	A ₁	14.61 ± 3.39
RS	C ₂	A ₁	9.33 ± 3.01
NS	C ₂	A ₂	12.47 ± 4.72
VS	C ₂	A ₂	11.36 ± 2.75
RS	C ₂	A ₂	6.21 ± 4.71

کمبود رطوبت در پروفیل خاک در طی دوره گل‌دهی رخ می‌دهد. در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه به‌مقدار ۴۹/۲۱ درصد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به ۱۶/۵۰ تن در هکتار رسید (جدول ۳). در

برخی پژوهش‌گران (Doorenbos and kassam, 1979) نیز به‌نتایج مشابهی رسیدند و گزارش کردند که ذرت به‌کمبود آب در مرحله رویشی متحمل است و بیش‌ترین کاهش عملکرد دانه در اثر

باتوجه به عدم معنی دار بودن عملکرد دانه در محیط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله رویشی، می‌توان گیاه ذرت را در مرحله رویشی متحمل به خشکی دانست و یا این که اعلام کرد که این گیاه پس از طی دوران تنش خشکی در مرحله رویشی و با ایجاد شرایط مطلوب رطوبتی در مرحله 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 گسترده شدن بیش تر ریشه نسبت به محیط بدون تنش شده و سپس قرار گرفتن در شرایط مطلوب رطوبتی پس از اعمال تنش رویشی باعث استفاده از آب با کارایی بالاتر در مرحله زایشی (که مرحله بسیار حساسی است) می‌شود. همچنین محلول پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی باعث افزایش تعداد دانه و محلول پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش وزن دانه شد. پس از اعمال تنش زایشی عملکرد دانه از ۱۲/۲۶ به ۶/۷۷ تن در هکتار رسید و نسبت به شاهد ۴۸/۰۴ درصد افت کرد، ولی با مصرف هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی و مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم عملکرد دانه به ۹/۳۳ تن در هکتار رسید، بنابراین مصرف این هورمون‌ها در این مراحل از افت حدود ۲۰ درصد عملکرد دانه نسبت به محیط بدون تنش و عدم مصرف هورمون‌ها جلوگیری کرده است. بنابراین این مراحل می‌توانند به عنوان مراحل حساس در مطالعات آبی درباره این هورمون‌ها و یا شناسایی ژن‌های مرتبط در این گیاه در آزمایشات مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین باتوجه به نمودار اثر متقابل، تأثیرگذاری هورمون‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به محیط بدون تنش به دلیل برقراری روابط هورمونی مختل شده پررنگ تر است.

شرایط تنش زایشی کاهش تعداد دانه به دلیل کاهش تعداد بالال و کاهش وزن دانه به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی عملکرد دانه را به شدت کاهش داد.

محلول پاشی هورمون سیتوکینین تأثیری در عملکرد دانه نداشت (جدول ۳) و علت این امر نیز کاهش ۱۳/۷۶ درصدی وزن دانه در اثر افزایش ۲۰/۷۵ درصدی تعداد دانه در اثر مصرف هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی و در مجموع ایجاد تعادلی موزون با عدم مصرف هورمون گردید. بنابراین به نظر می‌رسد وزن دانه تأثیر بیش تری بر عملکرد نسبت به تعداد دانه داشته باشد.

مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث افزایش عملکرد دانه به میزان ۲۳/۳۸ درصد شد (جدول ۳)، ولی مصرف این هورمون در ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم تأثیری بر عملکرد دانه نداشت.

با وقوع تنش زایشی عملکرد دانه ۴۸/۰۴ درصد نسبت به محیط بدون تنش کاهش یافت و از ۱۲/۲۶ به ۶/۷۷ تن در هکتار رسید، ولی با مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه ۳۶/۱۳ درصد نسبت به محیط بدون تنش کاهش یافت و به ۷/۸۳ تن در هکتار رسید (جدول ۴). در نتیجه مصرف هورمون اکسین در این مرحله توانست ۱۱/۹۱ درصد از کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی ممانعت کند و همچنین مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم به همراه هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ۱۰ برگی و در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه ۲۴/۱۵ درصد از کاهش عملکرد ممانعت کند و عملکرد دانه به ۹/۳۳ تن در هکتار رسید، که این مقدار با عملکرد دانه در شرایط محیطی بدون تنش و عدم مصرف هورمون‌ها معنی دار نبود (جدول ۴).

نتیجه گیری

References

- 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.
- Athar, H. R. and Ashraf, M. 2005. Photosynthesis under drought stress. In: Pessaraki, M. (ed.), *Handbook of Photosynthesis*, pp: 793–804. Taylor and Francis, New York.
- Choukan, R. 2012. *Maize and Maize properties*. SPII, Iran (In Persian).
- Claassen, M. M., and Shaw, R. H. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agronomy Journal* 62: 652-655.
- Doorenbos, J., Kassam, A.K., 1979. Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper* 33. FAO, United Nations, Rome, p. 176.
- 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.
- 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.
- Karmoker, J.L. and Van Steveninck, F.M. 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.

- 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^۳, 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-regulation on 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. Abdesahian, M. and Hasibi, P. 2011. Crop responses and adaptation to temperature stress. Ahwaz Shahid Chamran University Publication (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 mays* 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 Agronomica 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.

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

A. Mahrokh^{1*} - M. Nabi Pour² - H. A. Roshanfekar Dezfuli³ - R. Choukan⁴

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 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 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 V₄ 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 V₄ 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 V₅-V₆ and V₈-V₁₀ 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 N₆-benzyladenin were used as auxin and cytokinin hormones, respectively. Concentration of auxin and cytokinin hormones were 10 and 50 mg per liter, respectively. Harvesting was done from 4.5 m² 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 ($P \leq 0.01$) for ear number per plant, row/ear, grain number per m², 1000 kernels weight and grain yield and it wasn't significant for kernels/row. Spraying cytokinin hormone was significant ($P \leq 0.01$) on ear number per plant, row/ear, grain number per m² and it was also ($P \leq 0.05$) significant for 1000 kernels weight but it wasn't significant for kernels/row and grain yield. Spraying auxin hormone was significant ($P \leq 0.01$) for 1000 kernels weight and grain yield and it wasn't significant for other 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 cytokinin hormone increased ear number by 10% in V₈-V₁₀ stage. The maximum row/ear was 16.16 kernels per row which was obtained by spraying cytokinin hormone in V₈-V₁₀ stage. Spraying cytokinin hormone increased grain number per m² up to 20.75% in V₈-V₁₀ 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 auxin hormone in silk emergence stage. Spraying auxin hormone increased grain yield up to 23.38% in silk emergence stage.

1- Ph.D student of crop physiology in Chamran university of Ahwaz 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)

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 cytokinin 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 cytokinin 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