دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و هفتم، ۱۳۹۸

تأثیر هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر کیفیت دانهٔ ذرت تحت شرایط تنش خشکی

علی ماهرخ[۱]، مجید نبی‌پور[۲]، حبیب الله روشنفکر دزفولی[۳]، رجب چوکان[٤]

دریافت: ۹۵/۱۰/۲۲ پذیرش: ۹۷/۵/۱۱

چکیده

تغییر سطوح هورمون‌های داخلی گیاه در اثر تنش خشکی بر کیفیت دانه تأثیرگذار است. این مطالعه به منظور ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین و اکسین در مراحل مختلف رشد بر ترکیبات دانه ذرت سینگل کراس ۷۰٤ تحت شرایط تنش خشکی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۱۳۹۲ 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. در هر محیط محلول‌پاشی سیتوکینین در سه مرحله (شاهد، ٦-٥ برگی و ۱۰-۸ برگی) و محلول‌پاشی اکسین نیز در سه مرحله (شاهد، ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین میزان پروتئین دانه (۱۰/۹۳ ٪) و قندهای محلول (۵/۸۰ ٪) در شرایط تنش زایشی به دست آمد درحالی‌که بیشترین میزان نشاسته (۷۷/۳۷ ٪) و ماده خشک دانه (۹۰/۸۳ ٪) در محیط بدون تنش خشکی حاصل شد. محلول‌پاشی سیتوکینین در مرحله ۱۰-۸ برگی باعث افزایش تبدیل نشاسته به قندهای محلول شد درحالی‌که محلول‌پاشی اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث تبدیل قندهای هگزوز به نشاسته، افزایش ظرفیت مقصد (آندوسپرم دانه) جهت دریافت میزان بیشتر نشاسته و همچنین افزایش ماده خشک دانه شد.

واژه‌های کلیدی: هورمون‌های گیاهی، محلول‌پاشی، پروتئین، قندهای محلول، نشاسته

ماهرخ، ع.، م. نبی پور، ح. روشنفکر دزفولی و ر. چوکان. ۱۳۹۸. تأثیر هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر کیفیت دانهٔ ذرت تحت شرایط تنش خشکی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۷: ۲۰۱-۱۹۱.

۱- پژوهشگر موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران- مسئول مکاتبات. ali_mahrokh229@yahoo.com

۲- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

٤- پژوهشگر موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

مقدمه

در حال حاضر تنش خشکی به علت کمبود منابع آبی، به عامل اصلی محدودیت تولید گیاهان زراعی در عرصه جهانی تبدیل شده است. همچنین، خشکی مهمترین عامل محدودیت تولید ذرت است (صلاح و همکاران، ۲۰۰۲). با توجه به اهمیت بالای ذرت در برنامه غذایی انسان و دام و مصرف سرانه زیاد این محصول در کشورهای مختلف بررسی راهکارهایی در جهت افزایش کمیت و کیفیت محصول ذرت در اولویت تحقیقات کشاورزی قرار دارد (کاکس، ۲۰۰۳). کیفیت دانه برای تولید کننده و مصرف کننده فاکتور مهمی در تعیین ارزش نهایی دانه است (قربانلی و همکاران، ۱۳۸۵).

عملکرد دانه بالا و کیفیت مناسب دانه دو هدف اصلی در تولید غلات است. دستیابی به این دو هدف به‌طور همزمان به دلیل اثر متقابل ژنتیک و فاکتورهای محیطی مشکل است (ترمن، ۱۹۷۹). در طی نمو دانه رطوبت مناسب خاک عامل مهمی در تجمع نشاسته و پروتئین در دانه و بنابراین شکل‌گیری عملکرد و کیفیت محسوب می‌شود (احمدی و بیکر، ۲۰۰۱). آب از جمله فاکتورهای مؤثر بر کیفیت دانه ذرت است، کاهش آب سبب افزایش فعالیت آنزیم سوکروز سنتتاز می‌شود، به‌علاوه فعالیت آنزیم منشعب کننده کربوهیدرات و کربوهیدرات سنتتاز نیز طی دوره کم آبی افزایش می‌یابد، در این شرایط ذخایر کربن از بافت‌های رویشی در طول دوره‌ی پر شدن دانه منتقل می‌شوند (قربانلی و همکاران، ۱۳۸۵).

افزایش مقدار قندهای محلول در لپه‌ها و ساقه‌ها در گیاهچه‌های تحت تنش خشکی ممکن است به کاهش پتانسیل اسمزی و نگهداری ساختار غشاء که ممکن است در شرایط تنش آسیب ببیند کمک کند (پارکر، ۱۹۷۲). تحمیل تنش خشکی منجر به افزایش سطح قندها در ذرت (بارلو و همکاران، ۱۹۷۶)، گیاهچه‌های سویا (مایر و بویر، ۱۹۸۱)، گندم (مانس و همکاران، ۱۹۷۹)، سورگوم و آفتابگردان (جونز و همکاران، ۱۹۸۰) و پنبه (تیمپا و همکاران، ۱۹۸۹) شده است. افزایش ترکیبات قندها باعث توانایی در پایداری پروتئین‌ها و در نتیجه نگهداری آن‌ها در مقابل انواع مختلف تنش‌ها می‌شود (رادولف و همکاران، ۱۹۸۶). قندهای محلول متشکل از پیوندهای هیدروژنی هستند و ممکن است جایگزینی برای آب در نگهداری ساختار آبدوستی در جهت‌گیری‌های هیدراته باشند. مکانیزم دیگر قندها نگهداری سلول طی خشکی به‌وسیله تشکیل ساختار شیشه‌ای بین سلولی جهت جلوگیری از فروپاشی سلول و خسارت مورفولوژیکی و ساختاری سلولی می‌باشد (کاستر، ۱۹۹۱). در شرایط تنش خشکی اگرچه رشد گیاه کاهش می‌یابد ولی تجمع ساکاروز ممکن است باعث توانایی گیاه در سازگاری به شرایط تنش شود و ساکاروز به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی عمل می‌کند (بوهنر، ۱۹۹۵).

در شرایط تنش خشکی هورمون‌های داخلی گیاه تغییر خواهند کرد که بر عملکرد و کیفیت دانه مؤثر است. تغییر سطوح داخلی اکسین در شرایط خشکی الگوی پیچیده‌ای دارد که وابسته به اندام و مرحله رشد گیاه است. نتایج پژوهشی نشان داد که تغییرات عملکرد، مقدار پروتئین و نشاسته دانه در شرایط خشکی با کاهش اکسین، سیتوکینین، جیبرلین و افزایش هورمون آبسیزیک اسید در گندم زمستانه مرتبط بودند (ژوجی و همکاران، ۲۰۰۳). با کاهش رطوبت خاک و افزایش تنش خشکی، هورمون‌های داخلی به‌عنوان سیگنال‌های پاسخ عمل می‌کنند (جکسون و همکاران، ۱۹۸۸) و بنابراین ممکن است در فرایندهای رشد و نمو شامل تولید و تجمع نشاسته و پروتئین در دانه نقش مهمی داشته باشد. برخی مطالعات نشان می‌دهند که هورمون‌های داخلی تنظیم کننده‌های ضروری برای انتقال و تسهیم فراورده‌های فتوسنتزی در پر شدن دانه غلات هستند و بنابراین می‌توانند در تنظیم وزن دانه و عملکرد دخیل باشند (احمدی و بیکر، ۱۹۹۹).

آندوسپرم ذرت ۱۰ تا ۱۵ روز پس از گرده‌افشانی به مکانی برای تجمع مواد ذخیره‌ای تبدیل می‌شود (کولز و فیلیپس، ۱۹۸۸). افزایش فعالیت اینورتاز باعث کاهش بیشتر قندها در جهت رشد گیاه می‌شود. در آزمایشی در گندم کاهش قند در آندوسپرم به‌وسیله سیتوکینین افزایش یافت و کاهش قند باعث افزایش شیب اسمزی و ورود آب شد (بوفبی و رایت، ۱۹۶۲). در پژوهشی بیان شد که در ساقه‌های گیاهچه‌های تحت شرایط تنش خشکی تجمع ساکاروز توانست منجر به افزایش آهسته آنزیم‌های SS[1] و SPS[2] شود و کاهش اینوتاز اسیدی منجر به کاهش تشکیل هگزوزها شد (ساتویر و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش فعالیت اینورتاز اسیدی در ساقه‌ها به‌وسیله جیبرلین و سیتوکینین منجر به افزایش تبدیل ساکاروز به هگزوزها شد که نهایتاً منجر به رشد مطلوب گیاهچه‌ها در شرایط تنش خشکی شد. بنابراین این هورمون‌ها، در نگهداری سطوح بالاتر ساکاروز در شرایطی که به‌سرعت مصرف می‌شود به‌وسیله افزایش فعالیت آنزیم‌های SS و SPS در ساقه‌ها و لپه‌ها در گیاهچه‌های تحت تنش کمک می‌کنند (ساتویر و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش بیشتر

1- Sucrose synthase
2- Sucrose phosphate synthase

اینوتاز در اثر کاربرد جیبرلین و سیتوکینین ممکن است باعث تحریک تخلیه آوند آبکش از ساکاروز و در نتیجه افزایش تبدیل ساکاروز به هگزوزها شود. کاهش غلظت ساکاروز در ساقه‌ها باعث تشکیل یک شیب مناسب ساکاروز می‌شود که باعث افزایش انتقال ساکاروز از لپه‌ها به ساقه‌هایی می‌شود که تحت فشار در شرایط محیط تنش هستند (ساتویر و همکاران، ۲۰۰۰).

در آزمایشی گزارش شد که بین مقدار اکسین و تجمع پروتئین و نشاسته دانه همبستگی وجود دارد. همبستگی بین اکسین با عملکرد دانه و تجمع پروتئین و نشاسته در دانه در ۱۰ روز پس از گل‌دهی منفی ولی در ۲۰ روز پس از گل‌دهی مثبت بود (ژوجی و همکاران، ۲۰۰۳). سطح سیتوکینین در اندام‌های مبدأ و مقصد در ۱۰ و ۲۰ روز پس از گل‌دهی ارتباط مثبتی با عملکرد دانه، نشاسته و پروتئین در دانه داشت (ژوجی و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین مشخص شد که سطح هورمون آبسیزیک اسید داخلی ارتباط مثبتی با مقدار پروتئین دارد در حالی که ارتباط منفی با مقدار نشاسته در دانه گندم داشت (ژوجی و همکاران، ۲۰۰۳). در این مطالعه گزارش شد که سطح اکسین در مرحله پر شدن دانه گندم به حداکثر میزان خود می‌رسد و نقش مهمی را در تنظیم پر شدن دانه بازی می‌کند (برنر و چیخ، ۱۹۹۵). اثرات مثبت هورمون اکسین در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی در نمو دانه گندم در سایر مطالعات نیز اثبات شده است (داروسلام و پاتریک، ۱۹۹۸). در سایر مطالعات نیز ثابت شد که ممکن است هورمون اکسین در تنظیم تولید نشاسته در دانه دخیل باشد. ارتباط بین هورمون اکسین و تجمع نشاسته و پروتئین در دانه در مرحله طویل شدن دانه منفی ولی در مرحله پر شدن دانه مثبت بود. آن‌ها بیان کردند که این امر ممکن است به دلیل نوسانات هورمون اکسین در طی دوره رشد دانه باشد، مقدار هورمون اکسین در دوره طویل شدگی دانه به حداکثر می‌رسد اما در دوره پر شدن دانه کاهش می‌یابد. این تغییرات هورمون اکسین در شرایط خشکی در ریشه‌ها و سایر منابع سنتز هورمون اکسین رخ می‌دهد. در حقیقت اکسین می‌تواند از اندام‌های ساخت آن به برگ‌ها به‌وسیله سیستم انتقال طولانی در داخل گیاه منتقل شود (هین و همکاران، ۱۹۸٦). ولی افزایش انتقال اکسین به‌وسیله تنش خشکی کاهش می‌یابد (دیویس و همکاران، ۱۹۸٦). در گزارشی بیان شد که سطح سیتوکینین در اندام‌های مبدأ و مقصد در مراحل طویل شدگی دانه و پر شدن دانه ارتباط مثبتی با عملکرد دانه، تجمع پروتئین و نشاسته دانه به جز محتوای پروتئین داشت. افزایش سیتوکینین بعد از گرده‌افشانی در نمو دانه غلات، مطابق با مرحله تنظیم دانه و ماکزیمم تقسیم سلولی آندوسپرم است (ماریس و همکاران، ۱۹۹۳). این مطالعه با هدف بررسی تاثیر محلول پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین بر میزان ترکیبات دانه ذرت در شرایط تنش خشکی انجام 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 ٤٨ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی در سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵ میلی‌متر بوده که با زمستان‌های سرد جزو مناطق سرد کم باران به شمار می‌رود. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، رتیواتور، دیسک و تسطیح بهاره بود. بر اساس آزمون خاک، قبل از کاشت، به ترتیب حدود ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و فسفات آمونیوم مصرف شد و در مرحله ۸-٦ برگی نیز معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت سرک توزیع شد. به دلیل کفایت میزان پتاسیم خاک این نوع کود استفاده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج آزمون خاک

نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)
۰/۱۱	۸/۷۲	۲۳۱/۱

بعد از آماده‌سازی بستر مناسب بذر سه آزمایش مستقل به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار 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 گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژی آبیاری پس از رسیدن رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت) و هورمون اکسین (در سه زمان مصرف: شاهد یا عدم مصرف، ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم) و هورمون سیتوکینین (در سه زمان مصرف: شاهد یا عدم مصرف، تشکیل جوانه بلال یعنی مرحله V5-V6 و مرحله V8-V10) به‌صورت فاکتوریل در هر محیط، به شکل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفت. کاشت به صورت 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 ۵ خط کاشت به طول ٦ متر بود. از ایندول بوتریک اسید و بنزیل آدنین (تهیه شده از نمایندگی شرکت مرک آلمان) به ترتیب به‌عنوان هورمون‌های اکسین و سیتوکینین استفاده شد. غلظت مصرف هورمون‌های اکسین و سیتوکینین به ترتیب در کرت‌های مورد نظر به مقدار ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. به منظور جذب بیشتر هورمون 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 هورمون در آب از اتانول ۷۰ درصد استفاده شد. برای از بین بردن اثرات آب و اتانول، در کرت‌های شاهد به طور 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 نمونه‌برداری 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 (علیزاده، ۲۰۰۱) در هر آبیاری تعیین گردید. مقدار آب مصرفی با استفاده از کنتور که در ابتدای فلکه اصلی قرار داده شده بود، کنترل گردید. آبیاری نیز به‌صورت جوی و پشته و با استفاده از لوله‌های هیدروفلوم و دریچه‌هایی که در ابتدای خطوط کاشت تعبیه شده بود صورت گرفت.

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

$$V = H \times A \qquad [۲]$$

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 مورد نظر در زمان آبیاری، D عمق توسعه ریشه، V حجم آب آبیاری 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 ۱۰٦٤۲، ۸٤۲۵ و ۸۷۸۷ متر مکعب در هکتار بود.

برای مبارزه با علف‌های هرز قبل از کاشت از علف‌کش ارادیکان معادل ٦ لیتر در هکتار و پس از کاشت نیز، یک بار وجین دستی در مرحله ٦-٤ برگی صورت گرفت. برای مبارزه با آفات ذرت در همین مرحله از حشره‌کش سوین به میزان ۳ لیتر در هکتار استفاده شد.

برداشت نهایی از سطحی معادل ٤/۵ متر مربع با رعایت حاشیه، در زمان رسیدگی زراعی برای تخمین پارامترهای کیفی دانه (با رطوبت ١٤ درصد) صورت گرفت. میزان رطوبت دانه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی مدل DICKEY JOHN تخمین زده شد. برای تعیین ترکیبات دانه مانند الیاف خام، خاکستر خام، قندهای محلول، پروتئین خام، نشاسته، چربی خام و ماده خشک دانه از دستگاه طیف‌سنج مادون‌قرمز نزدیک NIR (Near Infra-Red) مدل DICKEY-john، به‌عنوان یک روش سریع، قابل‌اطمینان و معتبر استفاده شد. در این روش از محلول شیمیایی استفاده نمی‌شود و علاوه بر ایمنی، دارای سرعت فوق‌العاده زیادی است، ولی باید کالیبراسیون دستگاه از قبل بر اساس هدف مورد نظر و روش‌های معمول آزمایشگاهی صورت گرفته باشد. تکنولوژی NIR بر اساس جذب و انعکاس اشعه مادون‌قرمز در طول‌موج‌های بین ۱۱۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر استوار است. در این روش اشعه بر جسم تابانده می‌شود و انرژی منعکس‌شده از نمونه (R) بر اساس $\log 1/R$ اندازه‌گیری می‌گردد. سپس بر اساس برازش معادلات خطی رگرسیون چندگانه بین انرژی‌های منعکس‌شده از جسم و داده‌های آنالیز شیمیایی دستگاه که قبلاً اندازه‌گیری شده بود کالیبره می‌گردد. معمولاً با استفاده از سری طول‌موج‌های مختلف چندین معادله رگرسیونی برازش داده می‌شوند و بر اساس پارامترهای آماری هر یک از آن‌ها (مانند ضریب همبستگی بیشتر و اشتباه استاندارد کمتر) بهترین معادله برای کالیبراسیون دستگاه NIR انتخاب می‌شود (خدابخشیان، ١٣٩٤).

جهت تعیین ترکیبات دانه ذرت از هر نمونه به‌طور تصادفی مقداری دانه به وزن تقریبی یک کیلوگرم انتخاب شد و پس از آسیاب کردن نمونه‌ها، مقداری از نمونه مورد نظر در ظرف مخصوص دستگاه NIR قرار داده شد و پس از وارد کردن ضرایب مورد نظر (از کالیبراسیون دستگاه برای هر پارامتر مشخص که از نتایج آزمایشات شیمیایی به دست آمده بود) اشعه با طول‌موج مشخص بر نمونه تابیده شد و پس از انعکاس اشعه از نمونه مقدار عددی بر اساس درصد بیان شد (شائو و همکاران، ۲۰۰۹، نیکولیا و همکاران، ۲۰۰۷).

پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی، نتایج هر سه محیط به‌صورت مرکب تجزیه شدند. برای محاسبه تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید و میانگین عوامل آزمایش با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تأثیر محیط‌های مختلف رطوبتی (تنش خشکی) بر قندهای محلول، پروتئین خام، نشاسته و ماده خشک دانه در سطح احتمال یک درصد و بر چربی خام در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بر الیاف خام و خاکستر خام معنی‌دار نبود (جدول ۲). تأثیر هورمون سیتوکینین بر قندهای محلول و نشاسته در سطح احتمال یک درصد و بر چربی خام در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) و تأثیر هورمون اکسین بر نشاسته در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل اکسین در محیط بر نشاسته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

تنش خشکی در مرحله رشد زایشی باعث افزایش قندهای محلول دانه از ٤/٨١ به ۵/۸۰ درصد شد ولی تفاوت قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و محیط بدون تنش خشکی معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزایش قندهای محلول در شرایط تنش خشکی یک نوع مکانیزم دفاعی در گیاه است، به‌طوری‌که ممکن است افزایش آن به کاهش پتانسیل اسمزی و نگهداری ساختار غشاء که در شرایط تنش آسیب دیده‌اند کمک کند (پارکر، ۱۹۷۲). همچنین افزایش ترکیبات قندها باعث افزایش پایداری پروتئین‌ها در مقابل انواع مختلف تنش‌ها می‌شود (رادولف، ۱۹۸٦). قندهای محلول متشکل از پیوندهای هیدروژنی هستند و ممکن است جایگزینی مناسب برای آب در نگهداری ساختار آبدوستی در جهت‌گیری‌های هیدراته باشند. مکانیزم دیگر قندها نگهداری سلول در طی خشکی به‌وسیله تشکیل ساختار شیشه‌ای بین سلولی جهت جلوگیری از فروپاشی سلول و خسارت مورفولوژیکی و ساختاری سلولی می‌باشد (کاستر، ۱۹۹۱). در سایر مطالعات نیز افزایش قندهای محلول در اثر تنش خشکی در ذرت (بارلو و همکاران، ۱۹۷٦)، گیاهچه‌های سویا (مایر و بویر، ۱۹۸۱)، گندم (مانس و همکاران، ۱۹۷۹)، سورگوم و آفتابگردان (جونز و همکاران، ۱۹۸۰) و پنبه (تیمپا و همکاران، ۱۹۸۹) گزارش شده است.

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی باعث افزایش معنی‌دار قندهای محلول در دانه شد و از ٤/٨٢ به ۵/۸۱ درصد رسید، ولی مصرف این هورمون در مرحله پنج تا شش برگی تأثیری بر قندهای محلول دانه نداشت (جدول ۳). گزارش شده است که سیتوکینین‌ها باعث افزایش تجزیه نشاسته و تبدیل آن به قندهای محلول در گندم شده‌اند که ممکن است این امر منجر به افزایش شیب اسمزی و عاملی در جهت حفظ آب باشد (بوفبی و رایت، ۱۹٦۲). هورمون سیتوکینین با افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز باعث افزایش تبدیل نشاسته به قندهای محلول می‌شود که خود می‌تواند عاملی در جهت افزایش تحمل به تنش خشکی باشد، بنابراین به نوعی می‌توان افزایش سیتوکینین در شرایط تنش خشکی را عاملی مثبت در جهت حفظ سلول در شرایط تنش خشکی دانست که البته با کاهش نشاسته و احتمالاً عملکرد دانه (نشاسته در ذرت عامل اصلی افزایش وزن دانه است) همراه است.

محلول‌پاشی هورمون اکسین تأثیر معنی‌داری بر میزان قندهای محلول دانه نداشت (جدول ۳)، که مطابق با نتیجه سایر پژوهشگرانی می‌باشد که گزارش کردند اکسین نمی‌تواند باعث افزایش قندهای محلول و فعالیت اینورتاز شود (ساتویر و همکاران، ۲۰۰۰). به نظر می‌رسد هورمون اکسین بر میزان فعالیت آنزیم اینوتاز که باعث تبدیل نشاسته به قندهای محلول می‌شود مؤثر نباشد.

بیشترین و کمترین میزان پروتئین دانه به ترتیب در محیط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی و رویشی با میانگین ۱۰/۹۳ و ۸/٦٤ درصد حاصل شد (جدول ۳). به دنبال کاهش رطوبت خاک و افزایش تنش خشکی، هورمون‌های داخلی گیاه به‌عنوان سیگنال‌های پاسخ به تنش عمل می‌کنند و بنابراین ممکن است نقش مهمی در تجمع پروتئین در دانه داشته باشند (جکسون و همکاران، ۱۹۸۸) و مهمترین این هورمون‌ها آبسیزیک اسید است

(ژوجی و همکاران، ۲۰۰۳). در اکثر مطالعات گزارش شده است که سطح هورمون آبسیزیک اسید داخلی ارتباط مثبتی با مقدار پروتئین دانه دارد (ژوجی و همکاران، ۲۰۰۳)، به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی میزان هورمون آبسیزیک اسید در ریشه‌ها افزایش یافته است و از طریق آوندهای چوبی در ریشه‌ها به اندام‌های هوایی و برگ‌ها منتقل شده است تا به‌عنوان اولین اقدام علیه تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌های برگ، کاهش تعرق و حفظ پتانسیل اسمزی گیاه شود و همراه با افزایش هورمون آبسیزیک اسید میزان پروتئین دانه نیز افزایش یافت. احتمالاً با ایجاد محیط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه و اندام‌های هوایی تغییر یافت و نسبت ماده خشک اندام‌های هوایی به ریشه کاهش یافت و حرکت مواد فتوسنتزی به سمت ریشه و باعث توسعه و نفوذ عمقی ریشه گردید، سپس به دنبال آن با ایجاد محیط بدون تنش خشکی در مرحله رشد زایشی نسبت به محیط بدون تنش در کل مرحله رشد گیاه از رطوبت موجود در اعماق خاک استفاده بهینه‌تری شد و با کاهش هورمون آبسیزیک اسید در مرحله زایشی (یعنی زمانی که میزان پروتئین دانه تعیین می‌شود) میزان تجمع پروتئین نسبت به محیط بدون تنش کاهش یافت.

محلول‌پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اکسین باعث تغییر در پروتئین دانه نشدند (جدول ۳). احتمالاً تولید هورمون آبسیزیک اسید در شرایط تنش خشکی تأثیرگذاری بیشتری نسبت به هورمون‌های اکسین و سیتوکینین داشته است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون‌ها بر ترکیبات دانه ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		الیاف خام	خاکستر خام	قندهای محلول	پروتئین خام	نشاسته	چربی خام	ماده خشک دانه	عملکرد دانه
محیط (تنش خشکی)	۲	۰/۰۵۰ ns	۰/۰۵۵ **	۷/۹۹ **	۳۵/۳۷ **	۱۶۴/۶۹ **	۰/۵۶۵ *	۱۷۵/۱۵ **	۳۴۹/۶۳ **
بلوک (محیط)	۶	۰/۰۵۹	۰/۰۱۶	۱/۰۲	۲/۰۶	۲۷/۷۳	۰/۰۹۷	۲۷/۱۰	۷۲/۲۷
سیتوکینین	۲	۰/۰۲۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۸/۱۴ **	۳/۲۱ ns	۲۶۵/۲۵ **	۰/۰۵۲ *	۵۰/۵۰ ns	۱/۲۴ ns
سیتوکینین × محیط	۴	۰/۰۲۸ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۱۷ ns	۱/۹۰ ns	۴/۷۸ ns	۰/۰۰۵ ns	۵۰/۰۷ ns	۰/۴۰ ns
اکسین	۲	۰/۰۲۴ ns	۰/۰۰۰۸ ns	۱/۰۵ ns	۲/۹۰ ns	۲۵۷/۵۲ **	۰/۰۲۹ ns	۸۱۱/۹۱ *	۵۰/۷۳ **
اکسین × محیط	۴	۰/۰۵۲ ns	۰/۰۰۳ ns	۱/۵۳ ns	۳/۹۸ ns	۴۳/۹۸ *	۰/۰۷۳ ns	۹۰/۰۷ ns	۰/۹۰ ns
سیتوکینین × اکسین	۴	۰/۰۱۲ ns	۰/۰۰۲۴ ns	۲/۱۲ ns	۷/۲۴ ns	۲۱/۷۰ ns	۰/۰۴۳ ns	۸۰/۹۱ ns	۳/۳۷ ns
سیتوکینین × اکسین × محیط	۸	۰/۰۶۱ ns	۰/۰۰۷۴ ns	۱/۳۴ ns	۶/۷۷ ns	۱۴/۷۴ ns	۰/۰۴۱ ns	۴۹/۴۰ ns	۳/۹۸ ns
خطا	۴۸	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶	۱/۹۰	۴/۵۳	۲۰/۳۳	۰/۰۵۳	۷۵/۳۷	۵/۰۴

*، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و معنی‌دار نبودن اثر عوامل آزمایشی می‌باشند.

بیشترین میزان نشاسته در دانه با میانگین ۷۷/۳۷ درصد در محیط بدون تنش خشکی تجمع یافت (جدول ۳). با وقوع تنش خشکی در مرحله رویشی و زایشی میزان تجمع نشاسته کاهش معنی‌داری یافت و به ترتیب به ۷۳/۱۴ و ۷۳/۰۵ درصد رسید (جدول ۳). بر اساس نتایج سایر پژوهشگران نیز کاهش معنی‌دار نشاسته در دانه غلات به دلیل مختل شدن فعالیت‌های آنزیمی دخیل در بیوسنتز نشاسته که مهمترین آن‌ها آنزیم SSS[1] می‌باشد مشاهده گردید (کولس و فیلیپس، ۱۹۸۸). به نظر می‌رسد که کاهش میزان تجمع نشاسته در دانه در شرایط تنش زایشی به دلیل مختل شدن فعالیت آنزیم SSS که عامل اصلی تبدیل ساکاروز به نشاسته است می‌باشد، ولی احتمالاً در شرایط

[1] -Soluble starch synthase

تنش رویشی میزان تولید ماده پرورده و عموماً ساکاروز کاهش یافته است و در نتیجه میزان ساکاروز کمتری برای تبدیل‌شدن به نشاسته موجود بوده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های ترکیبات دانه ذرت، تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی هورمون‌ها در مراحل مختلف رشد

عوامل آزمایشی	الیاف خام (درصد)	خاکستر خام (درصد)	قندهای محلول (درصد)	پروتئین خام (درصد)	نشاسته (درصد)	چربی خام (درصد)	ماده خشک دانه (درصد)	عملکرد دانه (تن در هکتار)
محیط (تنش خشکی)								
بدون تنش خشکی	۲/۰۸ a	۱/۰۳ a	٤/۸۱ b	۹/۸۲ b	۷۷/۳۷ a	۲/۳۷ ab	۹۰/۸۳ a	۱۲/۸۰ a
تنش خشکی در مرحله رشد رویشی	۲/۰۰ a	۰/۹۵ a	٤/۱۹ b	۸/٦٤ c	۷۳/۱٤ b	۲/۵۳ a	۸۹/٤۹ a	۱۲/٦۷ a
تنش خشکی در مرحله رشد زایشی	۲/۰۰ a	۱/۰۲ a	۵/۸۰ a	۱۰/۹۳ a	۷۳/۰۵ b	۲/۲٤ b	۸۵/۹۱ b	٦/۵۰ b
محلول‌پاشی سیتوکینین								
شاهد	۲/۰۰ a	۰/۹۹ a	٤/۸۲ b	۹/۸٦ a	۷٦/۵٤ a	۲/۳۹ a	۸۸/۳۹ a	۱۰/۹۰ a
مرحله پنج تا شش برگی	۲/۰۵ a	۱/۰۰ a	٤/۹۰ b	۱۰/۱۱ a	۷٦/۱۱ a	۲/۳۳ b	۸۷/۵۹ a	۱۰/۵۱ a
مرحله هشت تا ده برگی	۲/۰۳ a	۱/۰۰ a	۵/۸۱ a	۹/٤۳ a	۷۰/۹۱ b	۲/٤۲ a	۹۰/۲٦a	۱۰/۵٦a
محلول‌پاشی اکسین								
شاهد	۲/۰۰ a	۱/۰۰ a	۵/۱۳ a	۹/۸٦ a	۷۳/۰۵ b	۲/۳٤ a	۸۵/۰٤ b	۹/۹۲ b
مرحله ظهور ابریشم	۲/۰٦ a	۱/۰۰ a	۵/۳۹ a	۱۰/۰۹ a	۷۸/۰۷ a	۲/٤۱ a	۹۵/۰٤ a	۱۲/۲٤ a
مرحله ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم	۲/۰۳ a	۰/۹۹ a	۵/۰۰ a	۹/٤٤ a	۷۲/٤۵ b	۲/۳۹ a	۸٦/۱۵ b	۹/۸۱ b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی باعث کاهش معنی‌دار نشاسته شد و از ۷٦/۵٤ درصد به ۷۰/۹۱ درصد رسید (جدول ۳). با توجه به افزایش میزان قندهای محلول در اثر محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی (جدول ۳) کاهش میزان نشاسته بدیهی به نظر می‌رسد، زیرا در اثر مصرف هورمون سیتوکینین نشاسته به سایر قندهای محلول تبدیل شده است.

با محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم میزان تجمع نشاسته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۷۳/۰۵ به ۷۸/۰۷ درصد رسید (جدول ۳). با توجه به نقش آنزیم SSS در تبدیل قندهای هگزوز به نشاسته به نظر می‌رسد هورمون اکسین در زمان ظهور ابریشم باعث افزایش فعالیت آنزیم SSS و افزایش تبدیل قندهای هگزور به نشاسته شود. هورمون اکسین در ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم تأثیری در افزایش تولید نشاسته نداشت (جدول ۳). شاید در این مرحله افزایش دمای محیط تا حد بالاتر از دمای کاردینال آنزیم SSS باعث مختل شدن این آنزیم شود و افزایش غلظت هورمون اکسین نیز تأثیری بر آن نداشته است و یا در این مرحله ظرفیت سلول‌های مریستمی دریافت‌کننده نشاسته تکمیل شده باشند.

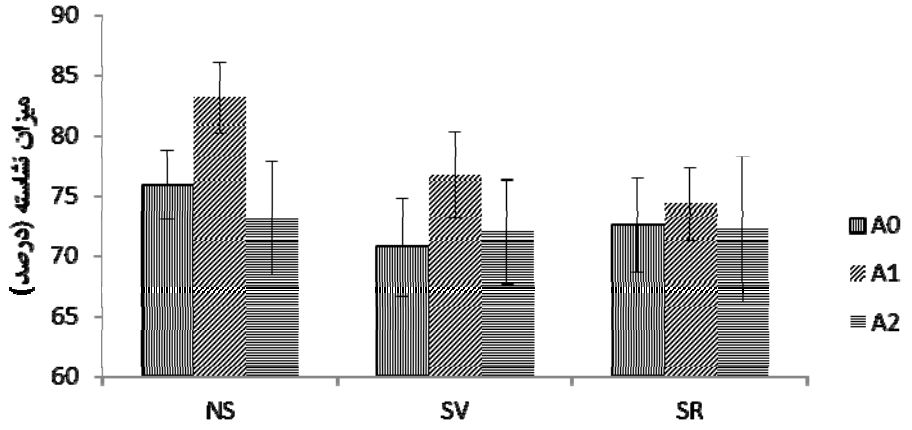
بین میزان تولید چربی خام در شرایط تنش خشکی و تنش در مرحله رویشی و زایشی تفاوت معنی‌داری نبود ولی بیشترین تجمع چربی در شرایط تنش خشکی در مرحله رویشی با میانگین ۲/۵۳ درصد ایجاد شد که تفاوت معنی‌داری با تجمع چربی در شرایط تنش زایشی با میانگین ۲/۲٤ درصد داشت (جدول ۳). بر اساس گزارش برخی محققان تنش خشکی باعث تخریب غشاء سلولی و افزایش حلالیت و پراکسیداسیون چربی غشاء می‌شود (سنئوک و همکاران، ۲۰۰٤) و شاید فشار تنش خشکی در مرحله رویشی که غشاء سلول استحکام کمتری دارد باعث انحلال چربی غشاء شده ولی در مرحله زایشی با افزایش استحکام غشاء سلولی میزان انحلال چربی غشاء نیز کاهش یافته است.

بیشترین میزان ماده خشک دانه در محیط بدون تنش خشکی با میانگین ۹۰/۸۳ درصد حاصل شد که با ماده خشک دانه در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با ایجاد شرایط تنش خشکی در مرحله رشد

زایشی میزان ماده خشک دانه کاهش معنی‌داری یافت و به ۸۵/۹۱ درصد رسید (جدول ۳). آندوسپرم اصلی‌ترین ماده خشک دانه ذرت را تشکیل می‌دهد و باعث تسلط مقصد برای مواد فتوسنتزی و دیگر اسیمیلات‌ها و در نتیجه افزایش ماده خشک دانه در طی رشد زایشی می‌شود. تنش خشکی در طی مراحل اولیه نمو آندوسپرم ممکن است مانع از رشد دانه به‌وسیله کاهش تقسیم سلول‌های آندوسپرم شود و این پاسخ ممکن است به‌وسیله افزایش هورمون آبسیزیک اسید در بازدارندگی از تقسیم سلول‌های آندوسپرم صورت گیرد (کولس و فیلیپس، ۱۹۸۸). بنابراین با کمبود رطوبت خاک در مرحله رشد زایشی و افزایش هورمون آبسیزیک اسید و کاهش تقسیم سلول‌های آندوسپرم دانه تجمع ماده خشک دانه کاهش یافت. به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی و سپس فراهم شدن رطوبت مناسب خاک در مرحله رشد زایشی مانع از افزایش هورمون آبسیزیک اسید شده که میزان تجمع ماده خشک دانه در این شرایط کاهش نیافته است (جدول ۳).

با افزایش غلظت هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی میزان ماده خشک دانه نسبت به محلول‌پاشی این هورمون در مرحله پنج تا شش برگی و عدم محلول‌پاشی افزایش یافت و به ۹۰/۲۶ درصد رسید که این مقدار افزایش ماده خشک دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳).

بیشترین ماده خشک دانه با میانگین ۹۵/۰٤ درصد با محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم حاصل شد (جدول ۳) ولی هورمون اکسین در ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم نتوانست باعث افزایش ماده خشک دانه شود و تفاوت آن با مقدار ماده خشک دانه در شرایط عدم محلول‌پاشی هورمون اکسین معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین قسمت ماده خشک دانه ذرت را آندوسپرم و بیشترین حجم آندوسپرم ذرت را نشاسته تشکیل می‌دهد. به نظر می‌رسد، با افزایش غلظت هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم میزان فعالیت آنزیم SSS افزایش یابد و افزایش فعالیت این آنزیم باعث افزایش تبدیل ساکاروز به نشاسته شود و در نتیجه شیب غلظت بین مبدأ تولید ساکاروز و مقصد تبدیل آن به نشاسته (آندوسپرم) افزایش یابد و میزان تجمع ماده خشک در هماهنگی با میزان تجمع نشاسته افزایش یابد. احتمالاً در ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم یا فعالیت آنزیم SSS مختل می‌شود و یا هورمون اکسین قادر به افزایش فعالیت آن در این مرحله نیست و یا حتی ممکن است که زمان تقسیم سلول‌های آندوسپرم دانه برای پذیرش بیشتر نشاسته پایان یافته باشد.



شکل۱ - تأثیر محلول‌پاشی اکسین و تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر میزان نشاسته دانه ذرت

توضیح: 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. A_0، A_1 و A_2 به ترتیب نشان‌دهنده عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم و ۱۵ روز پس از ظهور ابریشم می‌باشد.

در شرایط مطلوب رطوبتی و مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم بیشترین میزان نشاسته با میانگین ۸۳/۱۷ درصد تجمع یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد هورمون اکسین در شرایطی که میزان رطوبت خاک مناسب است باعث افزایش

فعالیت آنزیم SSS و یا تداوم فعالیت این آنزیم در جهت افزایش تجمع نشاسته می‌شود، همچنین در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد رویشی نیز هورمون اکسین باعث افزایش نشاسته شده است ولی به نظر می‌رسد که در شرایط تنش زایشی مختل شدن فعالیت آنزیم SSS بسیار شدید بوده و مصرف هورمون اکسین نیز تأثیری در روند تبدیل قندهای هگزوز به نشاسته نداشته است (شکل ۱).

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 (۱۲/٦۷ تن در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). برخی پژوهشگران (دورنبوس و کاسم، ۱۹۷۹) نیز به نتایج مشابهی رسیدند و گزارش کردند که ذرت به کمبود آب در مرحله 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 به مقدار ٤۹/۲۱ درصد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به ٦/۵۰ تن در هکتار رسید (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش قندهای محلول و کاهش نشاسته دانه باعث کاهش عملکرد دانه شود (جدول ۳).

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 ٤۸/۰٤ درصد نسبت به محیط بدون تنش کاهش یافت و از ۱۲/۲٦ به ٦/۷۷ تن در هکتار رسید، ولی با مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم در شرایط تنش زایشی عملکرد دانه ۳٦/۱۳ درصد نسبت به محیط بدون تنش کاهش یافت و به ۷/۸۳ تن در هکتار رسید (جدول ٤). در نتیجه مصرف هورمون اکسین در این مرحله توانست ۱۱/۹۱ درصد از کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش زایشی ممانعت کند.

نتیجه‌گیری

در شرایط تنش خشکی در مرحله رشد زایشی میزان قندهای محلول و پروتئین به حداکثر میزان خود رسیدند که احتمالاً مکانیزمی دفاعی در جهت تحمل به تنش خشکی و افزایش پتانسیل اسمزی در جهت حفظ آب باشد. همچنین روندی معکوس بین تجمع میزان پروتئین و نشاسته وجود داشت ولی میزان ماده خشک دانه و تجمع نشاسته روند همسانی داشتند. تفاوت میزان ماده خشک دانه در شرایط محیط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله رشد رویشی یکسان بود که تا حدودی میزان تحمل ذرت در شرایط تنش رویشی را نشان می‌دهد. مصرف هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی باعث افزایش تبدیل نشاسته به قندهای محلول شد، افزایش قندهای محلول در شرایط تنش خشکی می‌تواند عاملی مؤثر در جهت حفظ پتانسیل اسمزی و تحمل به خشکی باشد، بنابراین بر اساس نتایج این آزمایش افزایش غلظت هورمون سیتوکینین در مرحله هشت تا ده برگی می‌تواند به عنوان فاکتوری مؤثر در مطالعات آتی تحمل به خشکی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین مصرف هورمون اکسین در مرحله ظهور ابریشم باعث تبدیل قندهای هگزوز به نشاسته، افزایش ظرفیت مقصد (آندوسپرم دانه) جهت دریافت میزان بیشتر نشاسته و همچنین افزایش بیشتر ماده خشک دانه شد.

منابع

خدابخشیان، ر. ۱۳۹٤. روشهای کیفیت سنجی غیر مخرب محصولات کشاورزی، از اصول تا اجرا. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ص ۲۵٦.

قربانلی، م. ش. هاشمی مقدم، و ا. فلاح. ۱۳۸۵. بررسی اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر برخی از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه برنج (*Oryza sativa*). مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی. جلد ۱۲، شماره ۲: ٤۲۸-٤۱۵.

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

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

Barlow F. W. R., L. Boersma and J. L.Young. 1976. Root temperature and soil water potential effects on growth and soluble carbohydrate concentration of corn seedlings. Crop Sci. 16: 59–62.

Bohnert H. J., Nelson D.E. and Jensen R.G. 1995. Adaptations to environmental stresses. Plant Cell 7: 1099–1111.

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

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

Cocks, J.W. 2003. Plant density effects on tropical corn forage masses, morphology and nutritive value. Agronomy Jo. 90:93-96.

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

Davies W.J., Metcalfe J., Lodge T.A. and Costa A.R. 1986. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. Aust. J. Plant Physiol. 13: 105–125.

Doorenbos, J., Kassam, A.K., 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, United Nations, Rome, p. 176.

Hein M.B., Brenner M.L. and Brun W.A. 1986. Accumulation of ^{14}C-radiolabel in leaves and fruits after injection of^{14} C tryptophan into seed of soybean. Plant Physiol. 82: 454–456.

Jackson M.B., Young S.F. and Hall K.C. 1988. Are roots a source of abscisic acid for the shoots of flooded pea plants? J. Exp. Bot. 39: 1631–1637.

Jones MM, Osmond CB and Turner NC.1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. Aust J Plant Physiol. 7: 193–205.

Koster KL.1991. Glass formation and desiccation tolerance in seeds. Plant Physiol 96: 302–304.

Kowles RV, Phillips RL.1988. Endosperm development in maize. Int Rev Cytol 112: 97-136.

Meyer RF and Boyer JS.1981. Osmoregulation, solute distribution and growth in soybean seedlings having low water potentials. Planta 151: 482–489.

Morris R.D., Blevins D.G., Dietrich J.T., Durley R.C., Gelvin S.B., Gray J., Hommes N.G., Kaminek M., Mathews L.J., Meilan R., Reinbott T.M. and Sayavedra-Soto L. 1993. Cytokinins in plant pathogenic bacteria and developing cereal grains. Aust. J. Plant Physiol. 20: 621–637.

Munns R, Brady CJ and Barlow EWR.1979. Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. Aust J Plant Physiol. 6: 379–389.

Nicolia, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peris, A., Saeys, W., Theron. K.I., Lammertyn, J.2007. Nondestrutive meausement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. Postharvest Biol. Tecnol., 46, 99-118.

Parker J.1972. Protoplasmic resistance to water deficits. In: Kozlowski TT (ed) Water Deficits and Plant Growth, Vol. 3. New York/London: Academic Press, pp 125–176.

Rudolph AS, Crowe JH and Crowe LM.1986. Effects of three stabilizing agents-proline, betaine and trehalose-on membrane phospholipids. Arch Biochem Biophys 245: 134–143.

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.

Saneoka H, Moghaieb REA, Premachandra GS, Fujita K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in Agrostis palustris Huds. Environ. Exp. Bot. 52, 131–138.

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

Shao, Y.H., He, Y., Bao, J.Y.2009. Near-infrared spectroscopy for classification of organs and prediction of the sugar content. Int. J. Food Prop., 12,644-658.

Terman G.L. 1979. Yield and protein content of wheat grain as affected by environmental growth factors. Agron. J. 71: 436– 446.

Timpa JD, Burke JJ, Quisenberry JE and Wendt CW.1986. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate composition of cotton plants. Plant Physiol 82: 724–728.

Zhujie X. Dong J. Weixing C. Tingbo D. and Qi J. 2003. Relationships of endogenous plant hormones to accumulation of grain protein and starch in winter wheat under different post-anthesis soil water statuses. Plant Grow. Regul. 41: 117–127.

The effects of auxine and cytokinin hormones on maize grain quality unde drought stress condition

A. Mahrookh[1], M. Nabipour[2], H. Roshanfekr Dezfoli[3], R. Choukan[3]

Received: 2017-1-11 Accepted: 2018-8-2

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of auxin and cytokinin spraying in different growth stages on grain composition of maize (KSC 704) under drought stress condition during 2013 growing season at Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. The experiment was carried out in three separate environments included non-drought stress environment, drought stress in the vegetative stage and drought stress in the reproductive stage. In each environment, foliar application of cytokinin in three stages (control, V_5 –V_6 and V_8-V_{10}) and foliar application of auxin in three stages (control, silk emergence and 15 days after that) was laid out as a factorial design based on randomized complete block design with three replications. The results showed that the maximum protein (10.93%) and soluble sugar (5.80%) in grain were obtained under drought stress in the productive stage whereas the maximum starch (77.37%) and grain dry mater (90.83%) were obtained in non-stress condition. Foliar application of cytokinin in V_8-V_{10} stage, increased convert starch to soluble sugar on the other hand, foliar application of auxin in silk emergence stage caused converting hexose sugars to starch, increasing the sink capacity (grain endosperm) for receiving more starch and also increasing the grain dry mater .

Key words: Phytohormones, foliar application, protein, soluble sugar, starch

1- Seed and Plant Research Institute, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Professor, College of Agriculture, Shahid Cahmran University, Ahvaz, Iran
3- Associated Professor, College of Agriculture, Shahid Cahmran University, Ahvaz, Iran