

پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد چهار هیبرید ذرت دانه‌ای با مقاومت روزنه‌ای متفاوت به تنش خشکی

علی ماهرخ

استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۲ - تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۲۱)

چکیده

این مطالعه به منظور ارزیابی پاسخ مقاومت روزنه‌ای، میزان تعرق در جهت تنظیم دمای کانوپی و عکس‌العمل لوله‌ای شدن برگ‌های برخی از هیبریدهای جدید ذرت دانه‌ای جهت برآورد میزان تحمل آنها در شرایط تنش خشکی انجام شد. آزمایش در سه سطح آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A و چهار هیبرید سینگل کراس ذرت شامل KSC 706, KSC 705, KSC 704, KSC 703 به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا گردید. کمترین مقاومت روزنه‌ای و دمای کانوپی متعلق به هیبرید ۷۰۶ بود که باعث عدم لوله‌ای شدن برگ‌های آن در مرحله رشد رویشی، حتی در شرایط گرمای ظهر خورشیدی گردید؛ ولی وزن دانه در شرایط تنش ملایم و تنش شدید خشکی در هیبرید ۷۰۶ نسبت به سایر هیبریدها کمتر بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب با میانگین ۷/۶۴ و ۳/۳۴ تن در هکتار در شرایط آبیاری نرمال و تنش شدید خشکی حاصل گردید. تفاوت عملکرد دانه در هیبریدهای مختلف معنی‌دار نبود ولی بیشترین رطوبت دانه با میانگین ۱۷/۶۱ درصد متعلق به هیبرید ۷۰۶ بود. براساس نتایج حاصل از این آزمایش، به نظر می‌رسد با توجه به باز بودن روزنه‌ها در هیبرید ۷۰۶ و اتلاف رطوبت محیط اطراف ریشه از طریق تعرق، این هیبرید حساس به تنش خشکی باشد و در مناطقی که محدودیت آب آبیاری وجود دارد، کشت این هیبرید توصیه نمی‌شود؛ ولی احتمالاً در شرایط فراهمی آب آبیاری، در تحمل به تنش گرمایی می‌تواند هیبرید مناسبی باشد.

واژه‌های کلیدی: لوله‌ای شدن برگ، دمای کانوپی، مقاومت لایه مرزی، هیبرید ۷۰۶.

Yield and yield components of four maize hybrids with different stomata resistance in response to drought stress

Ali Mahrokh

Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Karaj, Iran.

(Received: December 23, 2017 - Accepted: August 12, 2018)

ABSTRACT

This study was conducted in order to assess the stomata resistance response, transpiration volume for canopy temperature regulation and leaf rolling under drought stress condition for some new hybrids of maize. The experiment was laid out as a factorial design based on randomized complete block with three replications, in 2015 and 2016, at Seed and Plant Improvement Institute, Karaj. Three Irrigation levels include Irrigation after 60, 90 and 120 mm cumulative evaporation from evaporation pan class A, and four hybrids include KSC 703, KSC704, KSC705 and KSC706 were considered as the factors. The lower stomata resistance and canopy temperature were obtained in KSC 706 which had no leaf rolling in vegetative stage even under heat condition at noon. Grain weight was lower in KSC 706 in comparisons to other hybrids under mid and severe drought stress. The maximum and minimum of grain yield were obtained under normal irrigation and severe drought stress condition with average 7.64 and 3.34 ton/ha respectively. There were no significant difference in grain yield of different hybrids, but the highest grain moisture was obtained from KSC 706 with average 17.61%. Based on this experiment, KSC 706 may be sensitive to drought stress due to opening of the stomata and wasting moisture in environment around root zone via transpiration, so it is not recommend for the areas where there are limitation in irrigation water.

Key words: Canopy temperature, grain weight, heat stress, transpiration.

مقدمه

در حال حاضر، تنش خشکی به‌علت کمبود جهانی منابع آبی، عامل اصلی محدودیت تولید گیاهان زراعی در عرصه جهانی است. همچنین خشکی، مهم‌ترین عامل محدودیت تولید ذرت است (Sallah et al., 2002). تخمین زده شده است که خشکی بیشتر از ۵۰ درصد از عملکرد ذرت در سراسر جهان را کاهش می‌دهد. تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ، افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش فتوسنتز می‌شود (Lawlor, 2002). کاهش پتانسیل آب خاک باعث کاهش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای می‌گردد و دی‌اکسیدکربن در دسترس گیاه کاهش یافته و در نتیجه میزان فتوسنتز ذرت کم می‌شود (Martinez et al., 2007). تنش خشکی باعث تخریب غشاء سلولی و افزایش نفوذپذیری یون‌ها در اثر افزایش حلالیت و پراکسیداسیون چربی‌های غشاء می‌شود (Saneok et al., 2004)؛ بنابراین باعث اختلال در ساختار و عملکرد غشاء می‌گردد. خشکی باعث تغییرات زیاد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان مانند کاهش سطح برگ، توسعه ساقه و تکثیر ریشه، کاهش کارایی مصرف آب (Farooq et al., 2009)، کاهش فعالیت‌های متابولیکی (Lawlor & Cornic, 2002)، بازدارندگی در فعالیت‌های آنزیمی (Ashraf et al., 1995)، عدم تعادل یونی و اختلال در تجمع مواد محلول (Khan et al., 1999) یا ترکیبی از تمام این عوامل می‌شود. در شرایط کمبود آب، افزایش دمای برگ منجر به کاهش تعرق می‌شود و اثرات خنک‌کننده‌گی تعرق به‌دلیل عدم دسترسی به آب، از بین می‌رود. در ذرت و سایر گیاهان در شرایط تنش خشکی شدید، دمای برگ و کانوبی افزایش می‌یابد که منجر به توقف تعرق و افزایش مقاومت لایه مرزی می‌شود (Hirayama et al., 2006). در زمان گل‌دهی، خشکی باعث طولانی‌تر شدن فاصله بین گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم در این گیاه می‌شود که به‌شدت باعث کاهش تعداد دانه خواهد شد (Emeadeas et al., 2000). در شرایط خشکی، پیر شدن برگ تسریع و اندازه کانوبی 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). برخی پژوهشگران (Doorenbos & kassam, 1979) گزارش کردند که ذرت به کمبود 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 مرحله باعث افزایش عملکرد دانه گردید. انتقال آب‌سیزیکاسید به برگ‌ها (و درصد کمتری دانه‌ها) باعث لوله‌شدن برگ‌ها، بسته‌شدن روزنه‌ها و تسریع پیری برگ می‌گردد، این مسئله حتی قبل از اینکه مکانیسم‌های هیدرولیکی، تورژسانس برگ را کاهش دهد، اتفاق می‌افتد (Zhang et al., 1987). به‌نظر می‌رسد که احتمالاً علائم ریشه موجب می‌گردد که گیاه تلفات آب را کاهش دهد. آب‌سیزیکاسید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که تحت شرایط تنش خشکی، به بقاء گیاه کمک می‌کند، اما به‌نظر نمی‌آید که در شرایط تنش خشکی مشارکتی در تولید داشته باشد (Banziger et al., 2000). اکثر گونه‌ها قادرند در واکنش به تنش خشکی، مواد فعال اسموتیکی در سیتوپلاسم و واکوئل تشکیل دهند. این امر به گیاه اجازه می‌دهد که آب بیشتری از خاک بگیرد و تورژسانس را حفظ نماید تا سلول در شرایط خشکی مدت زمان طولانی‌تری زنده بماند. تنظیم اسمزی به-ویژه در گندم، سورگوم و برنج آشکار است، اما در ذرت کمتر مشاهده شده است (Bolanos & Edmeades, 1991). تأثیر تنش خشکی بر ذرت شامل علائم ظاهری مانند کاهش رشد، تأخیر بلوغ، کاهش بیوماس و عملکرد دانه است. برای مثال، تنش خشکی در ذرت باعث کاهش ارتفاع گیاه (Cakir, 2004)، شاخص سطح برگ (Traore et al., 2000) و رشد ریشه (Jama, & Ottman, 1993) می‌شود. عملکرد دانه می‌تواند به‌وسیله کاهش اجزای عملکرد دانه مانند تعداد و وزن دانه کاهش یابد (Pandey et al., 2000).

قبل از کاشت، به ترتیب حدود ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و فسفات آمونیوم مصرف شد و در مرحله ۸-۶ برگی نیز معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به صورت سرک توزیع شد. بعد از آماده سازی بستر مناسب بذر، از قبیل شخم، دیسک و لولر، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش سه سطح آبیاری به عنوان شاهد، تنش ملایم و تنش شدید (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر تجمعی از سطح تشت تبخیر کلاس A) و چهار هیبرید سینگل کراس ذرت (KSC 703، KSC 704، KSC) برای ارزیابی شدند. کاشت به صورت جوی و پشته، فاصله پشته ها از هم ۷۵ سانتی متر و فاصله بوته ها پس از تنک کردن حدود ۱۸ سانتی متر (تراکم کاشت حدود ۷/۵ بوته در متر مربع)، هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول شش متر بود. برای مبارزه با علف های هرز قبل از کاشت، از علف کش ارادیکان معادل ۶ لیتر در هکتار و پس از کاشت نیز، یکبار و جین دستی در مرحله ۴-۶ برگی صورت گرفت. برای مبارزه با آفات کارادیرینا و سزامیا در ذرت در مرحله ۴-۶ برگی، پس از مشاهده اولین علائم خسارت از حشره کش سوین به میزان ۳ لیتر در هکتار استفاده شد. تیمارهای مختلف آبیاری از مرحله چهار برگی (مرحله استقرار گیاه) اعمال شد. برای تعیین زمان آبیاری عدد تشتک تبخیر روزانه رأس ساعت ۹ صبح قرائت گردید. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری، قبل از آبیاری نمونه برداری از خاک کرت مورد نظر تا عمق توسعه ریشه صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد. حجم آب آبیاری با استفاده از معادله های ۱ و ۲ 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 به صورت جوی و پشته و با استفاده از لوله های هیدروفلوم و دریچه هایی که در ابتدای خطوط کاشت تعبیه شده بود صورت گرفت.

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

$$V = H \times A \quad [2]$$

نتایج آزمایش (Cakir, 2004)، نشان داد که تنش رطوبتی در یک یا دو مرحله حساس (ظهور گل نر و تشکیل بلال) به طور جدی باعث کاهش عملکرد شد و آبیاری در این دو مراحل بالاترین عملکرد دانه را تولید کرد. آبیاری در مراحل رویشی و شیرین شدن دانه و رویشی به تنهایی حتی عملکردی کمتر از شرایط دیم داشت. نتایج آزمایش (Mahrokh & Aizi, 2014) نشان داد که، تنش خشکی ملایم، شدید و بسیار شدید عملکرد دانه ذرت را به ترتیب ۱۹، ۲۶ و ۴۰ درصد کاهش داد. در آزمایش آنها، تنش خشکی با تأثیر بر وزن دانه، باعث کاهش عملکرد دانه شد و تعداد دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. آنها بیان کردند که با توجه به اینکه تنش خشکی در ذرت قبل از مرحله گرده افشانی باعث کاهش تعداد دانه و پس از مرحله ظهور ابریشم باعث کاهش وزن دانه می شود؛ بنابراین در این شرایط، ذرت در مرحله قبل از گرده افشانی نسبت به خشکی تا حدودی متحمل بوده ولی پس از ابریشم دهی این تحمل از بین رفته و یا به طور چشمگیری کاهش یافته است. این آزمایش جهت بررسی مکانیزم عدم لوله ای شدن برگ هیبرید جدید ذرت KSC706 (حتی در ظاهر خورشیدی) در شرایط تنش خشکی و پاسخ عملکرد و اجزای عملکرد دانه به این مکانیزم طراحی گردید.

مواد و روش ها

آزمایش در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، در سال های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به اجرا درآمد. این مزرعه در کرج با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا بین ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی واقع شده است. میزان متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۵ میلی متر بوده که با زمستان های سرد جزو مناطق سرد کم باران به شمار می رود. بافت خاک مزرعه رسی - شنی، با وزن مخصوص ظاهری حدود ۱/۳۶ گرم بر سانتی متر مکعب، pH حدود ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی زیمنس بر متر و ظرفیت زراعی حدود ۲۶ درصد وزنی می باشد. عملیات تهیه بستر شامل شخم برگردان، دیسک و تسطیح بهاره بود.

مقاومت روزنه‌ای در مرحله رشد رویشی و مرحله ظهور ابریشم معنی‌دار بود ولی بر مقاومت روزنه‌ای در مرحله شیرینی‌شدن دانه معنی‌دار نبود (جدول ۱) در مقابل اثر تنش خشکی بر دمای کانوپی فقط در مرحله ظهور ابریشم معنی‌دار بود (جدول ۱). به نظر می‌رسد با افزایش سن گیاه در مرحله پس از گرده‌افشانی به دلیل کاهش انعطاف سلول‌های نگهبان روزنه و افزایش نسبت بافت‌های چوب‌پنبه‌ای، باز و بسته شدن روزنه‌ها کاهش یافته (Nabipour et al., 2013) و حتی تنش خشکی نیز بر باز و بسته شدن روزنه‌ها در این مرحله بی‌تاثیر باشد. تفاوت هیبریدها در شاخص لوله‌ای‌شدن برگ، مقاومت روزنه‌ای و دمای کانوپی در مرحله رشد رویشی و ظهور ابریشم معنی‌دار بود (جدول ۱).

شاخص لوله‌ای‌شدن برگ

بیشترین میزان لوله‌ای‌شدن برگ در شرایط تنش خشکی شدید صورت گرفت (نمودار ۱)، ولی تفاوت بین لوله‌ای‌شدن برگ در شرایط تنش خشکی ملایم و شرایط بدون تنش خشکی معنی‌دار نبود (نمودار ۱). با توجه به اینکه لوله‌ای‌شدن برگ در گیاهان تک‌لپه مانند ذرت، مکانیزمی دفاعی جهت اجتناب از دریافت بیشتر تشعشع خورشیدی و تنش خشکی می‌باشد، احتمالاً در شرایط تنش ملایم در مرحله رشد رویشی، گیاه ذرت تا حدودی به تنش خشکی متحمل است. در شرایط کمبود آب، افزایش دمای برگ منجر به کاهش تعرق می‌شود و اثرات خنک‌کننده‌گی تعرق به دلیل عدم دسترسی به آب، از بین می‌رود. در شرایط تنش خشکی شدید در ذرت، دمای برگ و کانوپی افزایش می‌یابد که منجر به لوله‌شدن برگ، توقف تعرق و افزایش مقاومت لایه مرزی می‌شود (Hirayama et al., 2006).

میزان لوله‌ای‌شدن برگ در هیبرید ۷۰۶ به‌طور معنی‌داری از هیبریدهای ۷۰۳، ۷۰۴ و ۷۰۵ کمتر بود (نمودار ۱). حتی در شرایط تنش شدید خشکی نیز میزان لوله‌ای‌شدن برگ در هیبرید ۷۰۶ بسیار کمتر از سایر هیبریدها بود (نمودار ۱).

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.

در طول دوره رشد مقاومت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل Δt -Device در مراحل شش تا هفت برگی، گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم و شیرینی‌شدن دانه در ساعت ۱۱ تا ۱۳ (در ساعاتی که زاویه تابش خورشید عمود می‌شود) اندازه‌گیری شد. تعیین لوله‌ای‌شدن برگ با استفاده از سیستم امتیازدهی (Banziger, 2000) به ترتیب در مراحل چهار تا شش برگی، هشت تا ۱۰ برگی و قبل از ظهور گل تاجی محاسبه گردید. برداشت نهایی از سطحی معادل ۴/۵ متر مربع با رعایت حاشیه، در زمان رسیدگی زراعی برای تخمین عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد) و اجزای عملکرد صورت گرفت. جهت تعیین تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در هر ردیف بلال، تعداد ۱۰ بلال به‌طور تصادفی از بلال‌های برداشت‌شده از هر کرت انتخاب و تعداد دانه به‌صورت دستی بر روی بلال شمارش گردید، سپس جدا کردن دانه‌ها از چوب بلال با استفاده از دستگاه شیلر انجام شد و میزان رطوبت دانه نیز با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی مدل **Dickey John** تخمین زده شد. شمارش دانه برای تخمین وزن هزار دانه با استفاده از دستگاه بذرشمار مدل دیجیتالی صورت گرفت و سپس هزار دانه شمارش‌شده با ترازوی حساس توزین و وزن هزار دانه بر حسب گرم محاسبه گردید. 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

اثر تنش خشکی بر شاخص لوله‌ای‌شدن برگ و

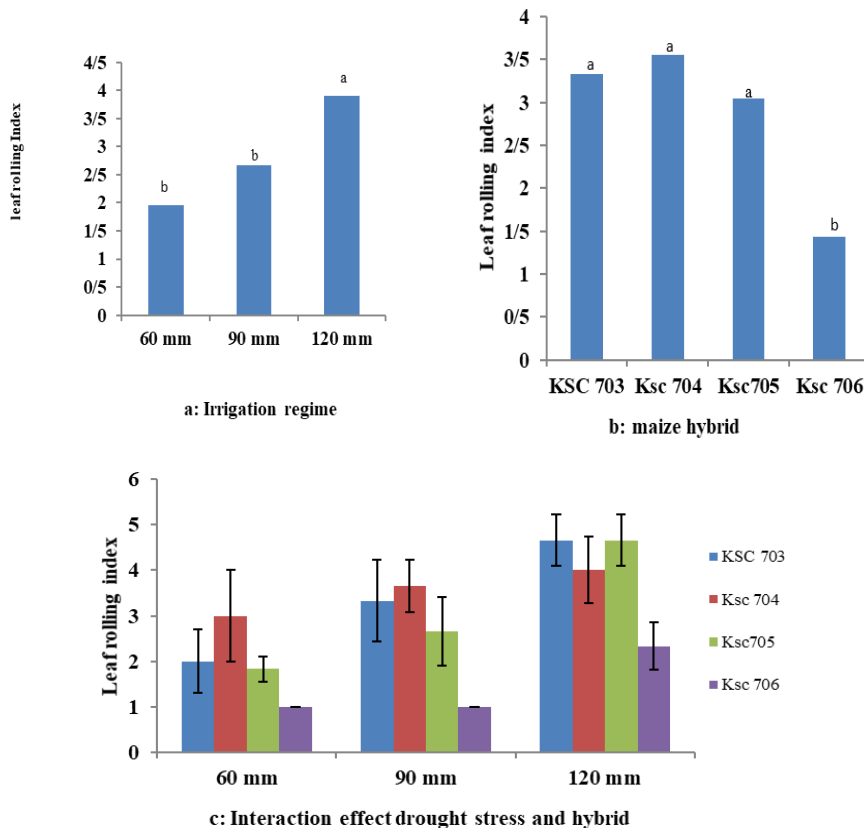
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک در هیبریدهای ذرت دانه‌ای

Table 1-Combiend variance analysis of drought stress on yield and yield components in grain maize hybrids

S.O.V.	df	Mean Square						
		Leaf Rolling Index	Stomata Resistance in Vegetative stage	Stomata Resistance in Silking stage	Stomata Resistance in Milking stage	Canopy Temperature in Vegetative stage	Canopy Temperature in Silking stage	Canopy Temperature in Milking stage
Year	1	^{ns} 1.12	^{ns} 4.47	^{**} 3222.84	^{**} 7064.44	0.04 ^{ns}	^{**} 2.83	^{**} 9.01
Block (Year)	4	2.13	120.88	182.15	33.11	0.51	0.48	0.49
Drought stress	2	[*] 17.96	^{**} 2477.43	[*] 583.90	^{ns} 12.22	^{ns} 0.16	^{**} 1.20	^{ns} 0.06
year × drought	2	^{ns} 0.69	^{**} 2933.22	^{ns} 300.04	^{ns} 25.47	^{ns} 0.25	^{**} 1.33	^{**} 0.76
Hybrid	3	[*] 14.56	^{**} 828.37	^{**} 748.87	^{ns} 31.86	[*] 0.57	^{**} 0.99	^{ns} 0.002
Year × Hybrid	3	^{ns} 0.91	^{ns} 178.81	^{ns} 272.29	^{ns} 58.56	^{ns} 0.16	^{ns} 0.16	^{ns} 0.19
hybrid × drought	6	^{ns} 0.90	^{ns} 170.75	^{ns} 109.03	^{ns} 14.25	^{ns} 0.35	^{ns} 0.16	^{ns} 0.08
year × hybrid × drought	6	^{ns} 0.33	^{ns} 179.06	^{ns} 52.05	^{ns} 24.53	^{ns} 0.15	^{ns} 0.15	[*] 0.25
Error	22	0.51	154.49	170.83	91.62	0.23	0.16	0.10

^{**}، ^{*} و ^{ns} به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و معنی دار نبودن اثر عوامل آزمایشی می باشند

^{*} and ^{**}: Significant at the 5% and 1% levels respectively and ns: no significant



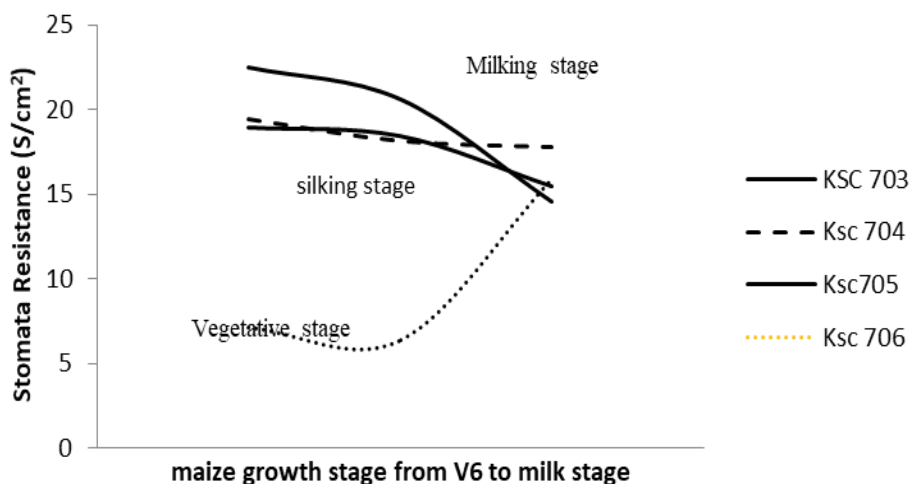
نمودار ۱- شاخص لوله‌ای شدن برگ در رژیم‌های مختلف آبیاری (۱-^a)، هیبریدهای مختلف (۱-^b)، اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و هیبرید ذرت (۱-^c)، میانگین‌ها و $\pm SD$ نمونه‌های ۳ تکرار می‌باشند.

Figure 1- leaf rolling index in different irrigation regimes, different hybrids, and interaction effect between different irrigation regimes and maize hybrid and standard deviation included three replications.

مقاومت روزنه‌ای و دمای کانوپی

مقاومت روزنه‌ای در هیبرید **KSC 706** در مراحل رشد رویشی تا گرده‌افشانی متفاوت با سایر هیبریدهای **KSC 703**، **KSC 704** و **KSC 705** بود (نمودار ۲). مقاومت روزنه‌ای در هیبرید ۷۰۵ تا مرحله گرده‌افشانی بیشتر از سایر هیبریدها بود ولی پس از آن به سایر هیبریدها نزدیک شد (نمودار ۲). در مرحله شیری-شدن دانه تفاوت چندانی بین مقاومت روزنه‌ای در هیبریدهای مختلف وجود نداشت (نمودار ۲). روند تغییرات مقاومت روزنه‌ای در هیبرید ۷۰۶ در مرحله

رشد رویشی تقریباً خطی بود ولی در مرحله گرده‌افشانی تا شیری‌شدن دانه، مقاومت روزنه‌ای با شیب تندی افزایش یافت و به سایر هیبریدها رسید (نمودار ۲). به نظر می‌رسد کاهش مقاومت روزنه‌ای در مرحله رشد رویشی در هیبرید ۷۰۶ باعث باز شدن روزنه‌ها تا مرحله شیری‌شدن دانه می‌شود و باز بودن روزنه‌ها علاوه بر اینکه باعث ورود دی‌اکسیدکربن بیشتر جهت اسیمیلاسیون بیشتر و در نهایت فتوسنتز بیشتری خواهد شد؛ باعث اتلاف رطوبت محیط اطراف ریشه نیز در این هیبرید خواهد شد.

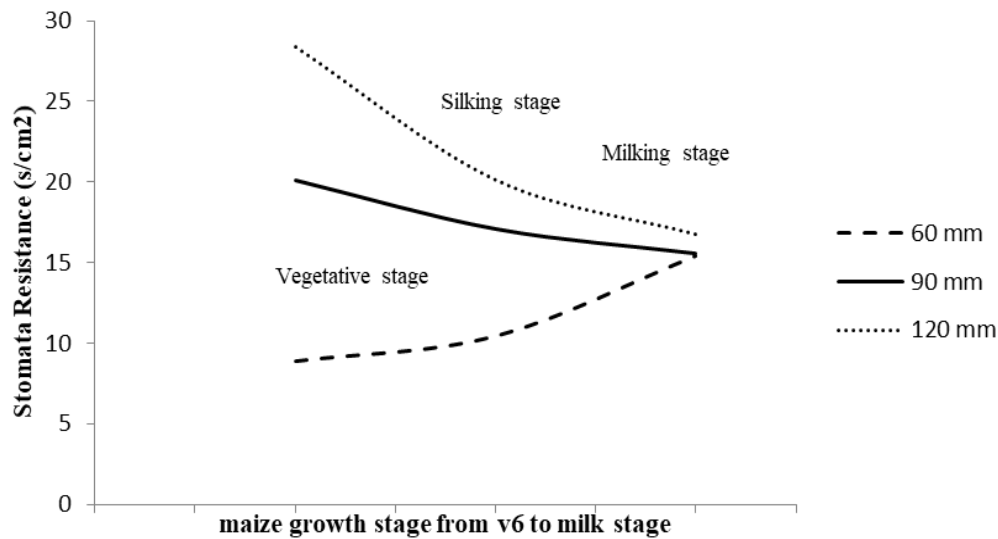


نمودار ۲ - مقاومت روزنه‌ای (ثانیه بر سانتی‌متر) در هیبریدهای مختلف ذرت از شش برگی تا شیری‌شدن دانه
Figure 2- Stomata resistance (s/cm) in different maize hybrids from V6 to milk stage

مرحله رشد رویشی حادث گردید (نمودار ۳)، ولی با افزایش سن گیاه و با کاهش قابلیت انعطاف‌پذیری سلول‌های نگهبان روزنه، مقاومت روزنه‌ای حتی در شرایط تنش شدید خشکی کاهش یافت و به مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش ملایم و بدون تنش خشکی رسید (نمودار ۳).

با کاهش رطوبت در محیط ریشه، هورمون آبسزیک اسید به‌عنوان پیام‌رسان اولیه از ریشه به سمت اندام‌های هوایی فرستاده می‌شود و به‌عنوان سیستم هشدار اولیه باعث بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شود و این در حالی است که هنوز کاهش پتانسل تورژسانس سلول‌های برگ‌ها حادث نشده است (Zhang, et al., 1987).

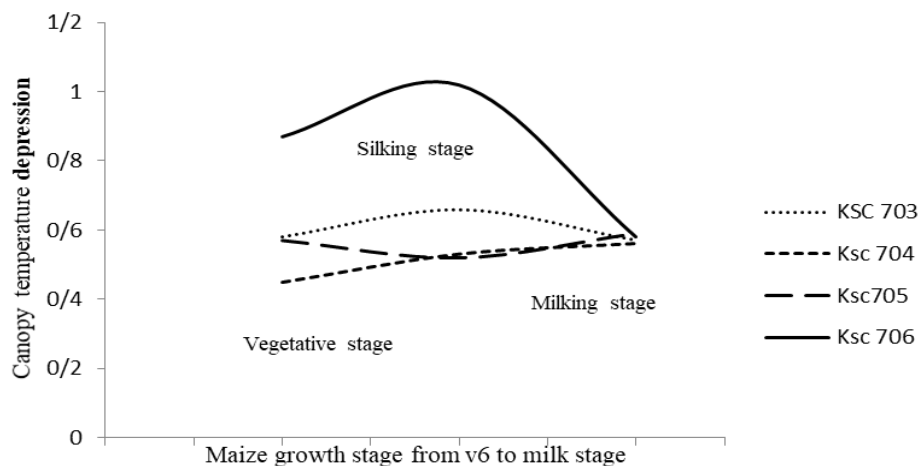
در شرایط بدون تنش خشکی در مرحله رشد رویشی، مقاومت روزنه‌ای کمترین مقدار است (نمودار ۳) و روزنه‌ها باز هستند و تثبیت دی‌اکسیدکربن و تعرق به‌خوبی اعمال می‌گردد و با شروع مرحله گرده‌افشانی و رشد زایشی مقاومت روزنه‌ای افزایش می‌یابد و حتی به شرایط تنش خشکی ملایم نزدیک می‌شود (نمودار ۳). به نظر می‌رسد با افزایش سن گیاه، قابلیت انعطاف‌پذیری در سلول‌های نگهبان روزنه کاهش یافته و باز شدن روزنه کمتر صورت می‌گیرد؛ در این زمان نقش تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز ظاهری کاهش یافته و نقش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده افزایش می‌یابد. بیشترین مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش شدید خشکی در



نمودار ۳- مقاومت روزنه‌ای (ثانیه بر سانتی‌متر) در شرایط متفاوت تنش خشکی از شش برگی تا شیرین شدن دانه
Figure 3- Stomata resistance (s/cm) under drought stress condition from V6 to milk stage

روزنه‌ای رخ داد (نمودار ۴). به نظر می‌رسد هیبرید ۷۰۶ به دلیل تفاوت در سیستم هورمونی، پیام- رسان‌های ثانویه مبنی بر تنش خشکی را دریافت نمی‌کند و همچنان به باز بودن روزنه‌ها و ادامه سیستم تعرق و خنک‌کنندگی گیاه تا زمان هزینه‌کردن کامل رطوبت محیط اطراف ریشه ادامه می‌دهد.

هر چه مقاومت روزنه‌ای کمتر بود، کاهش دمای کانوپی بیشتر شد (نمودار ۲ و ۴). بدیهی به نظر می‌رسد که با افزایش مقاومت روزنه‌ای و بسته‌شدن روزنه‌ها میزان تعرق کاهش و دمای کانوپی افزایش یابد. بیشترین کاهش دمای کانوپی (خنک‌ترین کانوپی) در هیبرید ۷۰۶ به دلیل کمتر بودن مقاومت



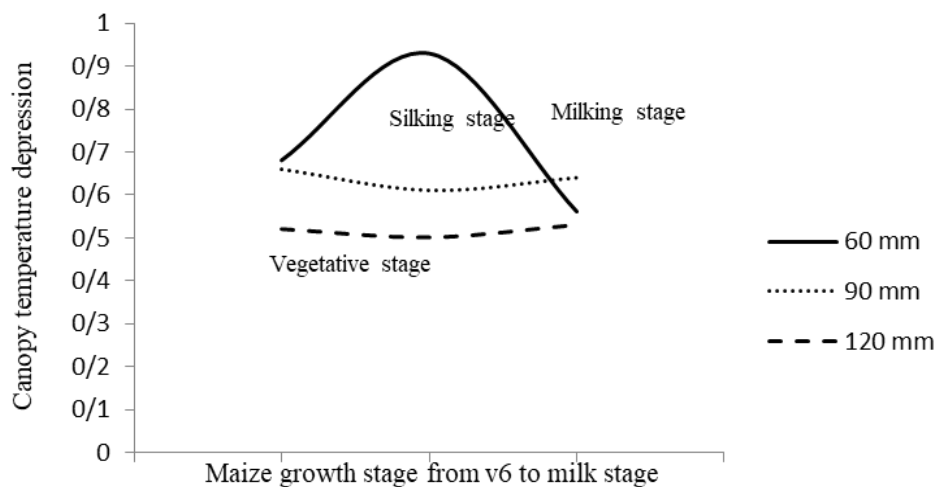
نمودار ۴- کاهش دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد) در هیبریدهای مختلف ذرت از شش برگی تا شیرین شدن دانه
Figure 4- Canopy temperature depression (C) in maize different hybrids from V6 to milk stage

شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) رطوبت به اندازه کافی در محیط اطراف ریشه موجود بوده و باز بودن

خنک‌ترین دمای کانوپی در مرحله رشد رویشی در شرایط عدم تنش خشکی حادث گردید (نمودار ۵). در

روزنه‌ها باعث ادامه سیستم تعرق گردیده و دمای کانوپی به کمترین میزان خود رسیده است (نمودار ۵). این روند تا مرحله گرده‌افشانی ادامه داشته ولی در مرحله شیری شدن دانه با پیری شدن نسبی گیاه و از دست رفتن خاصیت انعطاف‌پذیری سلول‌های نگهبان روزنه، مقاومت روزنه‌ای افزایش یافته و بسته شدن روزنه‌ها با کاهش تعرق و افزایش دمای کانوپی همراه گردید (نمودار ۵). با اعمال تنش خشکی ملایم و شدید دمای کانوپی (نمودار ۵) با افزایش مقاومت

روزنه‌ها باعث ادامه سیستم تعرق گردیده و دمای کانوپی به کمترین میزان خود رسیده است (نمودار ۵). این روند تا مرحله گرده‌افشانی ادامه داشته ولی در مرحله شیری شدن دانه با پیری شدن نسبی گیاه و از دست رفتن خاصیت انعطاف‌پذیری سلول‌های نگهبان روزنه، مقاومت روزنه‌ای افزایش یافته و بسته شدن روزنه‌ها با کاهش تعرق و افزایش دمای کانوپی همراه گردید (نمودار ۵). با اعمال تنش خشکی ملایم و شدید دمای کانوپی (نمودار ۵) با افزایش مقاومت



نمودار ۵- کاهش دمای کانوپی (درجه سانتی‌گراد) در شرایط متفاوت تنش خشکی از شش برگی تا شیری شدن دانه

Figure 5- Canopy temperature depression (C) under drought stress condition from V6 to milk stage

معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در هیبرید و اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در هیبرید در سال بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال ۸۶ درصد بوته‌ها دارای بلال بودند (جدول ۳). با ایجاد تنش ملایم کاهش معنی‌داری به مقدار ۱۰ درصد در تعداد بلال ایجاد شد و تعداد بوته‌های دارای بلال به ۷۶ درصد رسید (جدول ۳). در شرایط تنش شدید خشکی دوباره کاهش معنی‌داری در تعداد بلال صورت گرفت و ۳۱ درصد بوته‌ها فاقد بلال بودند (جدول ۳). به نظر می‌رسد عدم توانایی تولید بلال در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی به دلیل عدم تشکیل جوانه بلال و عدم

عملکرد و اجزای عملکرد

اثر سال بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر رطوبت دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد شرایط محیطی متفاوت در دو سال مختلف آزمایش تأثیر متفاوتی بر عملکرد و اجزای آن داشته است. تأثیر تنش خشکی بر تعداد دانه در بلال در سطح احتمال یک درصد و بر تعداد بلال در بوته، تعداد ردیف دانه و تعداد دانه در هر ردیف بلال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل تنش خشکی در سال بر تعداد دانه در ردیف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). تفاوت هیبریدها در رطوبت دانه در سطح احتمال پنج درصد

ظهور ابریشم به دنبال تنش شدید خشکی باشد (Choukan, 2012).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد در هیبریدهای ذرت دانه‌ای

Table 2-Combiend variance analysis of drought stress on yield and yield components in grain maize hybrids

S.O.V.	df	Mean Square						
		Ear/plant	Row/Ear	Kernel/Row	Kernel/Ear	Grain 1000 weight	Grain yield	Grain moisture
Year	1	0.01 ^{ns}	68.87 ^{**}	1373.84 ^{**}	524780.35 ^{**}	40969.62 ^{**}	**	31.20 [*]
Block (Year)	4	0.08	1.37	30.68	9831.94	368.21	1.40	3.18
Drought stress	2	0.61 [*]	4.38 [*]	277.74 [*]	74906.29 ^{**}	3786.69 ^{ns}	111.46 [*]	3.93 ^{ns}
drought stress × year	2	0.01 ^{ns}	0.20 ^{ns}	5.56 [*]	429.55 ^{ns}	2261.78 ^{ns}	4.12 ^{ns}	8.35 ^{ns}
Hybrid	3	0.02 ^{ns}	1.50 ^{ns}	0.63 ^{ns}	1614.42 ^{ns}	8307.73 ^{ns}	0.48 ^{ns}	36.72 [*]
Hybrid × Year	3	0.006 ^{ns}	3.74 ^{ns}	27.19 ^{ns}	13136.40 ^{ns}	1523.82 ^{ns}	5.20 ^{ns}	3.76 ^{ns}
drought stress × hybrid	6	0.03 ^{ns}	2.56 ^{ns}	24.66 ^{ns}	7794.62 ^{ns}	1700.73 [*]	4.27 ^{ns}	3.66 ^{ns}
drought × hybrid × year	6	0.02 ^{ns}	3.22 ^{ns}	50.75 ^{ns}	13965.01 ^{ns}	1920.44 [*]	6.99 ^{ns}	1.67 ^{ns}
Error	22	0.02	1.84	29.71	9018.21	692.32	3.79	2.04

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت دانه‌ای، تحت تأثیر تنش خشکی

Table 3- means comparison for yield and yield components in grain maize hybrids affected drought stress

Experimental factors	Ear/Plant	Row/Ear	Kernel/Row	Kernel/Ear	Kernel 1000 weight (g)	Grain yield (t/ha)	Grain moisture (%)
Irrigation Regime							
60 mm	0.86 ^a	13.31 ^a	33.88 ^a	461.60 ^a	266.85 ^a	7.64 ^a	15.05 ^a
90 mm	0.76 ^b	13.29 ^a	30.17 ^b	408.06 ^b	271.06 ^a	5.61 ^b	15.73 ^a
120 mm	0.55 ^c	12.56 ^b	27.08 ^c	349.89 ^c	247.51 ^b	3.34 ^c	15.77 ^a
Hybrid							
Ksc 703	0.70 ^a	12.89 ^a	30.14 ^a	400.45 ^a	284.84 ^a	5.52 ^a	14.37 ^c
Ksc 704	0.78 ^a	12.74 ^a	30.55 ^a	396.43 ^a	270.73 ^b	5.75 ^a	15.10 ^b
Ksc 705	0.70 ^a	13.39 ^a	30.51 ^a	414.32 ^a	257.32 ^c	5.47 ^a	15.01 ^b
Ksc 706	0.71 ^a	13.18 ^a	30.32 ^a	414.86 ^a	234.34 ^d	5.37 ^a	17.61 ^a
Year							
First	0.74 ^a	14.03 ^a	34.74 ^a	491.89 ^a	285.66 ^a	6.59 ^a	18.16 ^a
Second	71.0 ^b	12.07 ^b	26.01 ^b	321.14 ^b	237.95 ^b	4.47 ^b	14.86 ^b

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

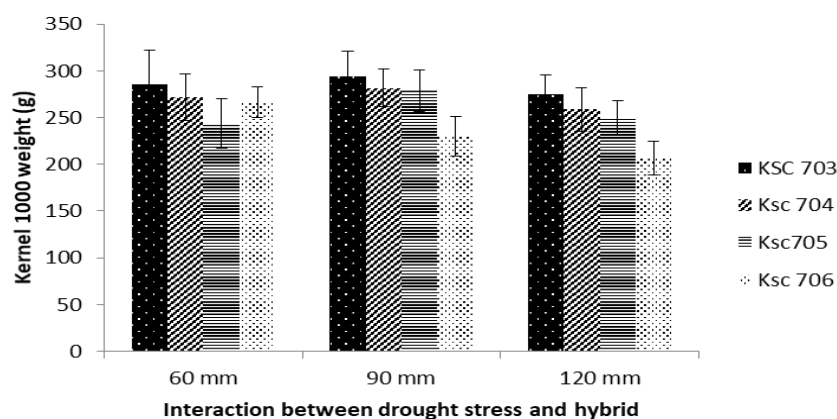
Means, in each column and for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

ردیف بلال در شرایط تنش ملایم خشکی ۱۱/۵۹ درصد کاهش معنی‌داری یافت و با دامه روند تنش خشکی در شرایط تنش شدید ۲۴/۲۰ درصد کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۳). برخی محققین گزارش کردند که در مرحله چهار تا ده برگی ایجاد شرایط محیطی نامناسب باعث کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی جوانه بلال و کاهش تعداد دانه ذرت خواهد شد (چوکان، ۱۳۹۱). همچنین برخی محققین ایجاد شرایط تنش خشکی در دو هفته قبل از گرده‌افشانی

تنش ملایم تأثیر معنی‌داری بر تعداد ردیف دانه نداشت ولی تنش شدید باعث کاهش معنی‌دار تعداد ردیف دانه گردید (جدول ۳) ولی تعداد دانه در ردیف در اثر تنش ملایم کاهش معنی‌داری یافت و با ادامه روند تنش خشکی، در شرایط تنش شدید، تعداد دانه در ردیف دوباره کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۳). احتمالاً تعداد دانه در ردیف بیشتر از تعداد ردیف دانه تحت تأثیر عوامل محیطی مانند تنش خشکی قرار می‌گیرد. تعداد دانه در بلال تحت تأثیر تعداد دانه در

به‌عنوان اولین سیستم هشداردهنده باعث بسته‌شدن روزنه‌های برگ در این هیبریدها گردیده و مانع از کاهش پتانسیل تورژسانس سلول‌های برگ شده و وزن دانه کاهش معنی‌داری نیافت (نمودار ۶) ولی احتمالاً در هیبرید ۷۰۶ به‌دلیل کاهش هورمون ABA در ریشه و یا بیشتر بودن هورمون سیتوکینین که در تضاد با هورمون ABA عمل می‌کند، روزنه‌ها همیشه در حالت نیمه‌باز بودند (نمودار ۲) و هدر روی رطوبت از طریق تعرق، به‌دلیل مقاوت روزنه‌ای پایین، تا زمان کاهش وزن دانه در این هیبرید ادامه داشته است (نمودار ۶). به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی در هیبرید ۷۰۶ آنزیم SSS (Soluble Starch Synthase) که باعث افزایش 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., 2013). حتی برخی گزارشات حاکی از این است که مسدود شدن پلاسماوسماتا در شرایط تنش خشکی نیز باعث کاهش انتقال سلولی مواد فتوسنتزی و احتمالاً کاهش وزن دانه خواهد شد (Nabipour et al., 2013).

(مرحله ۱۲ تا ۱۴ برگی) تا دو هفته پس از گرده‌افشانی را عامل اصلی کاهش تعداد دانه در ذرت می‌دانند (Emeadeas et al., 2000). به‌نظر می‌رسد کاهش تعداد دانه در هر ردیف بلال در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی باعث کاهش تعداد دانه شود (جدول ۳). همچنین در مرحله گرده‌افشانی، تنش خشکی باعث مرگ دانه‌های گرده و خشک‌شدن ابریشم‌های نوک بلال شده در نتیجه درصد لقاح کاهش یافته و تعداد دانه تشکیل‌شده در هر بلال کاهش می‌یابد. در شرایط فراهمی رطوبت، تفاوت وزن هزار دانه بین هیبریدهای آزمایش معنی‌دار نبود (نمودار ۶) ولی در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی، وزن هزار دانه در هیبرید ۷۰۶ به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر هیبریدها کاهش یافت (نمودار ۶). به‌نظر می‌رسد که در شرایط فراهمی رطوبت در اطراف محیط ریشه، تعرق به‌اندازه کافی در تمامی هیبریدها باعث خنک‌شدن کانونی می‌گردد ولی در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، با کاهش در رطوبت محیط اطراف ریشه، هورمون ABA در ریشه هیبریدهای ۷۰۳، ۷۰۴ و ۷۰۵ ساخته شده و از طریق آوندهای چوبی ریشه به اندام‌های هوایی آنها ارسال گردیده و



نمودار ۶- اثر متقابل تنش خشکی و هیبریدهای مختلف ذرت بر وزن هزار دانه، میانگین‌ها و $\pm SD$ نمونه‌های ۳ تکرار می‌باشند

Figure 6- Interaction effect between drought stress and maize different hybrids on kernel 1000 weight, standard deviation included three replications

کاهش معنی‌داری یافت و به ۵/۶۱ تن در هکتار رسید (جدول ۳). با ادامه روند تنش خشکی در شرایط تنش شدید دوباره عملکرد دانه ۵۶/۲۸ درصد کاهش

بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال با میانگین ۷/۶۴ تن در هکتار حاصل شد (جدول ۳). با اعمال تنش خشکی ملایم عملکرد دانه ۲۶/۵۷ درصد

وزن دانه نیز کاهش یافت. به نظر می‌رسد کاهش تعداد دانه نسبت به وزن دانه در کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نقش بیشتری دارد و کاهش تعداد دانه نیز با کاهش تعداد بلال و تعداد دانه در ردیف بلال حادث گردید. به نظر می‌رسد عدم لوله‌ای شدن برگ‌های هیبرید ۷۰۶ در مرحله رشد رویشی در گرمای ظهر خورشیدی نسبت به سایر هیبریدها به دلیل مقاوت روزنه‌ای کمتر و باز بودن روزنه‌ها حتی در شرایط تنش خشکی و بیشتر بودن تعرق و فعال بودن سیستم خنک‌کنندگی در اثر تعرق در این هیبرید باشد که باعث افزایش اتلاف رطوبت محیط اطراف ریشه خواهد شد و متعاقباً باعث کاهش بیشتر وزن دانه در شرایط تنش ملایم و شدید خشکی در این هیبرید نسبت به سایر هیبریدهای آزمایش می‌شود. بنابراین بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، به نظر می‌رسد هیبرید ۷۰۶ حساس به تنش خشکی باشد؛ ولی احتمالاً در مناطق با فراهمی آب آبیاری، متحمل به تنش گرمایی خواهد بود. انجام مطالعات بیشتر به خصوص اندازه‌گیری هورمون‌های ABA و سیتوکینین که مسئول اصلی باز و بسته‌شدن روزنه‌ها هستند در این هیبرید در واکنش به تنش گرمایی و خشکی ضروری به نظر می‌رسد.

معنی‌داری یافت و به ۳/۳۴ تن در هکتار رسید (جدول ۳). گزارشات متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد که کاهش میزان رطوبت خاک باعث بازدارندگی فتوسنتز، کاهش انتقال مواد پرورده به سمت دانه، کاهش وزن دانه و عملکرد دانه می‌شود (Liu et al., 2008; Van Heerden & Laurie, 2008). تفاوت عملکرد دانه در هیبریدهای آزمایش معنی‌دار نبود (جدول ۲) ولی بیشترین رطوبت دانه با میانگین ۱۷/۶۱ درصد متعلق به هیبرید ۷۰۶ و کمترین رطوبت دانه با میانگین ۱۵/۰۱ درصد متعلق به هیبرید ۷۰۵ بود که با رطوبت دانه در هیبرید ۷۰۴ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). رطوبت دانه در هنگام برداشت، یکی از ارکان اساسی کیفیت دانه ذرت محسوب می‌شود و هرچه دانه ذرت از رطوبت کمتری برخوردار باشد از کیفیت و وزن حجمی بالاتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

تنش ملایم خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته، افزایش لوله‌ای شدن و پیر شدن برگ، کاهش طول و قطر بلال، کاهش تعداد بلال در هر بوته و تعداد دانه در بلال و نهایتاً عملکرد دانه گردید؛ ولی تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه نداشت؛ در حالی‌که با افزایش تنش خشکی در شرایط تنش شدید، علاوه بر خصوصیات ذکر شده،

REFERENCES

1. Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H., Naqvi, S. S. M. & Ala, S. A. (1995). Effect of water stress on different enzymatic activities in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*, 17: 615–620.
2. Bänziger, M., Edmeades, G. O. Beck, D. & Bellon. M. (2000) Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: *From Theory to Practice*. Mexico, D. F.: CIMMYT.
3. Bolanos, J. & Edmeades, G. O. (1991). Value of selection for osmotic potential in tropical maize. *Agronomy Journal*, 83: 948-956.
4. Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89: 1-16.
5. Choucan, R. (2012). Maize and maize properties. *Agricultural Education Establishment*, (in Farsi).
6. Doorenbos, J. & Kassam, A. K. (1979). Yield response to water. *Irrigation and Drainage Paper 33*, FAO, United Nations, Rome, 176.
7. Emeadeas, G. O., Banziger M. & Ribaut, T. M. (2000). Maize improvement for drought limited environments. In: *Physiological Basis for Maize Improvement*, pp: 75–111. Food Products Press, New York.
8. Farooq, M. A., Wahid, N., Kobayashiujita, D. F. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress, effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 185–212.
9. Hirayama, H., Wada, Y. & Neato, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in Upland Rice Breeding. *Breeding Science*, 56: 47–54.

10. Jama, A. O. & Ottman, M. J. (1993). Timing of the first irrigation in corn and water stress conditioning, *Agronomy Journal*, 85(6): 1159-1164.
11. Khan, A. H., Mujtaba, S. M. & Khanzada, B. (1999). Response of growth, water relation and solute accumulation in wheat genotypes under water deficit. *Pakistan Journal of Botany*, 31: 461-468.
12. Lawlor, D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment*, 25: 275-294.
13. Lawlor, D. W. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and role of ATP. *Annals of Botany*, 89, 871-885.
14. Liu, K., Ye, Y., Tang, C., Wang, Z. & Yang, J. (2008). Responses of ethylene and ACC in rice grains to soil moisture and their relations to grain filling. *Frontiers of Agriculture in China*, 2 (2): 172-180.
15. Mahrokh, A. & Azizi, F. (2014). The effect of natural zeolite usage on deficit irrigation stress tolerance in maize (*Zea mays*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, (12), 2: 296-304, (in Farsi).
16. Martinez, J. P., Silva, H., Ledent, J. F. & Pinto, M. (2007). Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *European Journal of Agronomy*, 26, 30- 38.
17. Nabipour, M., Khamady, N., Khamady, F., Mahrokh, A., Davani, D., Nasiri M., Ahmadpour, S. R. & sayahi, N. (2013). Plasmodesmata. *Vasef Lahiji Publications*, (in Farsi).
18. Nabipour, M., Khamady, N., Khamady, F., Mahrokh, A., Davani, D., Nasiri, M., Ahmadpour, S.R. & sayahi N. (2013). Plant Solute Transport. *Vasef Lahiji Publications*, (In Farsi).
19. Pandey, R. K., Maranville, J. W. & Admou, A., (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a sahelian environment. *Agriculture Water Management*, 46, (1): 1-13.
20. Rivero, M. R., Mikiko, K. Amira, G., Hitoshi, S., Ron, M., Shimon, G. & Eduardo, B. (2007). Delayed leaf senescence induces extreme drought tolerance in a flowering plant. *Proceeding of the National Academy of sciences*, 104: 19631-19636.
21. Sallah, P. Y. K., Antwi, K. O. & 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.
22. Saneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S. & Fujita, K. (2004). Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris Huds.* *Environmental and Experimental Botany*, 52, 131-138.
23. Traore, S. B. Carlson, R. E. Pilcher, C. D. & Rice, M. E. (2000). Bt and Non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal*, 92 (5): 1027-1035.
24. Van Heerden, P. D. R. & Laurie, R. (2008). Effects of prolonged restriction in water supply on photosynthesis, shoot development and storage root yield in sweet potato. *Physiologia Plantarum*, 134 (1): 99-109.
25. Zhang, J., Schurr, U. & Davies. W. J. (1987). Control of stomatal behavior by abscisic acid which apparently originates in the roots. *Journal of Experimental Botany*, 38: 1174-1181.
26. Zhao, Y., Aspinall, D. & Paleg, L. G. (1992). Protection of membrane integrity in *Medicago sativa L.* by glycine betaine against the effects of freezing. *Journal of Plant Physiology*, 140, 541-543.