

تأثیر کم آبیاری بر عملکرد، خصوصیات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.)

Effect of Deficit Irrigation on Yield and Biochemical and Physiological Characteristics of Corn Hybrids (*Zea mays* L.)

هومن همایونی^{۱*}، ویکتوریا خازاریان^۲ و محسن سعیدی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۰۹

چکیده

به منظور بررسی عملکرد، اجزاء عملکرد و راندمان مصرف آب و هم‌چنین پاسخ بیوشیمیایی گیاه ذرت به کم آبیاری، آزمایشی در منطقه کرج در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل پنج رژیم مختلف آبیاری (آبیاری کامل (I_۱)، ۱۲/۵ درصد (I_۲)، ۲۵ درصد (I_۳)، ۳۷/۵ درصد (I_۴) و ۵۰ درصد (I_۵) کم آبیاری) و سه هیبرید ذرت شامل سینگل کراس ۷۰۴، ۵۰۰ و ۳۰۱ بود. در هر سه هیبرید، کم آبیاری سبب کاهش محتوای نشاسته برگ و ریشه و افزایش قندهای محلول شد. سطح پرولین نیز در برگ و ریشه‌ی هر سه هیبرید در نتیجه کم آبیاری افزایش یافت. افزایش محتوای پرولین در برگ نسبت به ریشه بالاتر بود، اما افزایش مقدار قند محلول و کاهش محتوای نشاسته در ریشه بیشتر از برگ شد. هم‌چنین بیش‌ترین پرولین و قندهای محلول برگ و ریشه در تیمار ۵۰٪ کم آبیاری و بیشترین نشاسته برگ و ریشه در آبیاری کامل مشاهده گردید. نتایج هم‌چنین نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در آبیاری کامل مشاهده شد. البته تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار اجزاء عملکرد بین آبیاری کامل و ۱۲/۵ درصد کم آبیاری مشاهده نشد. در آزمایش انجام شده، حداکثر راندمان مصرف آب در سینگل کراس ۷۰۴ در تیمار ۱۲/۵ درصد کم آبیاری و در سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ در تیمار ۲۵ درصد کم آبیاری مشاهده گردید. در مجموع چنین نتیجه‌گیری شد که هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط ۱۲/۵ درصد کم آبیاری جهت دستیابی به حداکثر عملکرد و حداکثر راندمان مصرف آب قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: پرولین، راندمان مصرف آب، قندهای محلول، محدودیت رطوبت، نشاسته

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشکده علوم پایه، آکادمی ملی علوم ارمنستان، ایروان، ارمنستان

۲. استاد گروه علوم پایه، دانشکده علوم پایه، آکادمی ملی علوم ارمنستان، ایروان، ارمنستان

۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه

* نویسنده مسئول Email: homayuni_hooman@yahoo.com

مقدمه

بخش عمده ایران در محدوده اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است. با توجه به محدودیت روز افزون منابع آب در بخش کشاورزی و افزایش تقاضای محصولات دامی و زراعی می‌بایست توجه بیشتری به کشت کار گیاهانی نظیر ذرت در کنار مصرف آب کمتر نمود. در شرایط مزرعه‌ای، وقوع تنش خشکی در کنار نرخ تعرق بالا می‌تواند مقدار آب موجود در گیاه را به شدت کاهش دهد که نتیجه این امر کاهش فشار تورگور^۱ و پتانسیل آب گیاه خواهد بود. در این شرایط واکنش‌های خاصی در گیاه اتفاق افتاده که می‌تواند منجر به تغییرات آناتومیک و یا مورفولوژیکی در گیاه گردد (نوری^۲ و همکاران، 2009).

گیاهان در پاسخ به تنش‌های غیرزنده‌ی محیطی، مانند تنش خشکی به استراتژی‌های تطبیقی نظیر تنظیم اسمزی از طریق انواع مختلفی از محلول‌های آلی متوسل می‌شود (سراج و سینکلر^۳، 2002). عموماً املاح سازگار را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی کرد که عبارتند از ترکیبات حاوی نیتروژن (شامل پرولین و دیگر آمینواسیدها، ترکیبات حاوی آمونیم و پلی‌آمین‌ها) و هم‌چنین ترکیبات هیدروکسی (شامل ساکارز، الکل‌های پلی‌هیدریک و الیگوساکاریدها) (ساماراس^۴ و همکاران، 1995). عموماً پرولین گلایسین و بتائین در واکنش به تنش خشکی افزایش می‌یابد (یانگ^۵ و همکاران، 2003). کاربرد خارجی پرولین قبل، هم‌زمان و بعد از وقوع تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی در گیاه گردد (اشرف و فولاد^۶، 2007). دلیل این امر آن است که پرولین می‌تواند فشار اسمزی سلول را تنظیم کرده و اتلاف آب را از سلول کاهش دهد و با حفظ تورژانس سلول از تجزیه پروتئین‌های مختلف (احتمالاً از طریق تنظیم pH در سلول) جلوگیری کند. پرولین می‌تواند ثبات برخی از آنزیم‌های سیتوپلاسمی و میتوکندری را افزایش دهد و فرم طبیعی پروتئین را تثبیت کند و در نتیجه از سیستم‌های غشاء و فرآیندهای غشایی محافظت نماید (بیکر^۷ و همکاران، 1993؛ مورگان^۸، 1984). هری^۹ و همکاران، (1999) گزارش دادند که اسیدآبسیزیک^{۱۰} تجمع پرولین را در برگ‌ها تحریک می‌کند،

هرچند اثری روی تجمع دیگر آمینواسیدها ندارد. ناکاشیما^{۱۱} و همکاران، (1998) با بررسی گیاه آرابیدوپسیس^{۱۲} بیان نمودند که بیان ژن دهیدروژناسیون^{۱۳} پرولین (دخیل در اکسید پرولین به گلوتامات) در زمان وقوع تنش خشکی غیرفعال می‌شود. کیوس^{۱۴} و همکاران (1996) گزارش دادند که پرولین یکی از محافظت‌کننده‌های غشاء است و قادر است از تخریب غشاء گیاه در شرایط تنش خشکی جلوگیری کند. وظایف دیگری نیز برای تجمع پرولین پیشنهاد شده است، که از جمله آن‌ها می‌توان به ثبات ماکرومولکول‌های ذخیره‌کننده حاوی کربن و نیتروژن برای استفاده پس از رفع تنش خشکی (ساماراس و همکاران، 1995؛ اسمیرنوف^{۱۵} و استوارت، 1985)، سم‌زدایی رادیکال‌های آزاد (اسمیرنوف و کامبس^{۱۶}، 1989) و تنظیم وضعیت اکسیداسیون سلول‌ها اشاره نمود (هار و کرس^{۱۷}، 1999). تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش از دو مسیر کلی صورت می‌پذیرد که عبارتند از: افزایش بیان ژن‌های مسئول ساخت آنزیم‌های پرولین و جلوگیری از تخریب پرولین (دلونی و ورما، 1993؛ پنگ و ورما^{۱۸}، 1996). این امر منجر به پیدایش «چرخه پرولین» می‌شود، البته باید به این نکته توجه داشت که میزان هم‌ایستایی (همئوستازی^{۱۹}) بستگی به حالت فیزیولوژیکی بافت دارد. مدارک و شواهدی مربوط به انتقال پرولین به نوک ریشه در طول تنش، گزارش شده است (ورسلوئیس و شارپ^{۲۰}، 1999). آنزیم‌های پرولین دهیدروژناز و P5C دهیدروژناز، مسئول کاتابولیسم پرولین می‌باشند (پنگ و ورما، 1996). این تحقیقات نشان می‌دهد که گیاهان به‌واسطه یک مکانیسم تکامل یافته سنتز، کاتابولیسم و فعالیت‌های حمل و نقل را جهت تجمع پرولین هماهنگ می‌سازند.

تجمع قند در بخش‌های مختلف گیاه، در پاسخ به انواع تنش‌های محیطی، جهت ورود به فاز زایشی مشاهده می‌شود (پرادو^{۲۱} و همکاران، 2000). محققین متعددی به نقش قندهای محلول در محافظت سلول در برابر تنش اشاره کرده‌اند. متابولیسم منابع کربوهیدرات ذخیره‌سازی شده در اندوسپرم دانه غلات، نقشی محوری در تعاملات میان قندها،

11. Nakashima
12. Arabidopsis
13. Dehydrogenating
14. Kiyosue
15. Smirnoff
16. Cumbe
17. Hare and Cress
18. Peng and Verma
19. Homeostasis
20. Verslues and Sharp
21. Prado

1. Turgor pressure
2. Novari
3. Serraj and Sinclair
4. Samaras
5. Yang
6. Ashraf and Foolad
7. Baker
8. Morgan
9. Harry
10. ABA

زیر کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاشت گیاهان C₄ همراه با تیمارهای کم آبیاری می‌باشد. با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، این تحقیق با هدف کاهش مصرف آب [به روش کم‌آبیاری] در کنار دستیابی به عملکرد مطلوب در گیاه ذرت و هم‌چنین تعیین بهترین هیبرید ذرت در شرایط مذکور صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های ۱۳۸۸ تا پاییز ۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۴۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۹۲ متر از سطح دریا با بارش متوسط ۲۵۱ میلی‌متر در سال بدون هیچ بارندگی تابستانی اجرا شد. این تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی، تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_۱)، ۱۲/۵ درصد کم آبیاری (I_۲)، ۲۵ درصد کم آبیاری (I_۳)، ۳۷/۵ درصد کم آبیاری (I_۴) و ۵۰ درصد کم آبیاری (I_۵) و فاکتور فرعی، هیبریدهای ذرت شامل سینگل کراس ۷۰۴، ۵۰۰ و ۳۰۱ بود. این هیبریدها به‌ترتیب در گروه‌های دیررس، متوسط رس و زودرس قرار می‌گیرند. در هر کرت تعداد پنج ردیف کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از عملیات کاشت، سیستم آبیاری قطره‌ای نواری نصب و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه نیاز آبی، از مرکز هواشناسی کرج گرفته شد. نیاز آبی در هر مرحله آبیاری با استفاده از فرمول پنمن ماتیس (فرمول ۱) محاسبه شد (خیرایی، ۱۳۸۱). ضریب گیاهی براساس نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع به روش لایسیمتری در چهار مرحله رشد شامل: مراحل اولیه (Kc ini)، توسعه (Kc adv)، میانی (Kc mid) و نهایی (Kc lat) به‌ترتیب معادل ۰/۳۴، ۰/۷، یک و ۰/۴۲ در نظر گرفته شد. در نهایت آبیاری در فواصل زمانی ثابت صورت پذیرفت و آب وارد شده به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری گردید. تیمارهای کم‌آبیاری از ابتدای استقرار گیاهچه در مزرعه اعمال شد.

$$ET_0 = \frac{0.408 \left[\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

فرمول (۱)

ET₀: تبخیر و تعرق (میلی‌متر در روز)، R_n: تشعشع خالص در سطح کنوپی (مگاژول بر مترمربع در روز)، G: غلظت جریان دمای خاک (مگاژول بر مترمربع در روز)، T: میانگین درجه حرارت روزانه در ارتفاع ۲ متری (درجه سانتی‌گراد)، U₂: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s: فشار بخار

اسیدآبزیک و مسیر سنتز جیبرلین دارد که مسئول پاسخ به خشکسالی می‌باشند (فینکلشتاین و گیبسون^۱، ۲۰۰۱). یک نقش کلیدی برای قند، علاوه بر دخالت مستقیم در سنتز ترکیبات دیگر و تولید انرژی، کمک به تثبیت غشاء می‌باشد (هوکستر^۲ و همکاران، ۲۰۰۱)، که به‌عنوان تنظیم‌کننده‌ی بیان ژن (کخ^۳، ۱۹۹۶)، و علامت‌دهنده به برخی مولکول‌ها عمل می‌نماید (شین^۴ و همکاران، ۱۹۹۹؛ اسمیکنز^۵، ۲۰۰۰). درصد قند محلول در مقایسه با محتوای پرولین، شاخص مناسب‌تری جهت انتخاب ارقام متحمل به خشکی در گندم دوروم (*Triticum durum*) می‌باشد (آل حکیمی^۶ و همکاران، ۱۹۹۵).

در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل آسیب‌های وارده به فتوسیستم II و کمپلکس تولیدکننده اکسیژن^۷ میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (جیاردی^۸ و همکاران، ۱۹۹۶). از سوی دیگر، انسداد روزنه در تنش خشکی، ورود دی‌اکسیدکربن را جهت شرکت در چرخه کالوین با مشکل مواجه می‌نماید. کاهش تولید مواد فتوسنتزی منجر به کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد می‌گردد (تایز و زایگر^۹، ۲۰۰۶). تنش خشکی از طریق کاهش قدرت باروری در طول مرحله‌افشانی تا تشکیل سلول تخم منجر به کاهش تعداد دانه در بلال خواهد شد (گیوتتا^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۳). علاوه بر این، تنش خشکی با کاهش دوره‌ی پرشدن دانه منجر به کاهش وزن دانه نیز می‌گردد (رویو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۰). منظور از راندمان مصرف آب، مقدار آب مصرف شده جهت تولید مقدار مشخصی محصول می‌باشد. به عبارت دیگر، نسبت کربن تثبیت شده به آب تعرق یافته را نشان می‌دهد (ثقه/اسلامی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۸). تیپ فتوسنتزی و مقدار آب آبیاری، از مهم‌ترین عوامل موثر بر راندمان مصرف آب می‌باشند. به‌طورکلی، گیاهان C₄ مانند ذرت به‌دلیل داشتن روزنه نیمه‌باز، دارای راندمان مصرف آب بالا هستند. روزنه نیمه‌باز منجر خروج مقادیر کم آب از سطح برگ می‌گردد و این درحالی است که گیاه در این شرایط قادر است مقادیر کافی دی‌اکسیدکربن را جذب نماید (تایز و زایگر، ۲۰۰۶). با توجه به این نکته، یکی از راهکارهای افزایش سطح

1. Finkelstein and Gibson
2. Hoekstra
3. Koch
4. Sheen
5. Smeekens
6. Al-Hakimi
7. Oxygen evolve complex (OEC)
8. Giardi
9. Taiz and Zeiger
10. Giunta
11. Royo
12. Seghatoleslami

آبیاری در اواخر شهریورماه قطع گردید و در زمان برداشت ردیف اول و آخر هر کرت به منظور حذف اثر حاشیه برداشت نگردید. ردیف‌های باقی‌مانده پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال مورد استفاده قرار گرفت. وزن هر دانه در رطوبت ۱۴ درصد مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری راندمان مصرف آب^۵ (WUE)

راندمان مصرف آب با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد (آندراد^۶ و همکاران، ۲۰۰۲).

$$\text{WUE} = \frac{Y_g}{\text{Water Consumption}} \quad \text{فرمول (۲)}$$

در این فرمول عملکرد دانه (Yg) بر حسب کیلوگرم در هکتار و میزان آب مصرف (Water consumption) بر حسب مترمکعب در هکتار و راندمان مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان شد.

تجزیه و تحلیل آماری

کلیه داده‌ها پس از انجام تست نرمال، توسط نرم‌افزار SAS (سیستم SAS، ۱۹۹۶) تجزیه واریانس شدند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر کم آبی بر محتوای پرولین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محتوای پرولین ریشه و برگ ذرت به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای آبیاری و هیبریدهای ذرت قرار گرفت (جدول ۱). محتوای پرولین برای هر سه هیبرید با افزایش کم آبی به صورت خطی افزایش یافت. به نحوی که در ۵۰ درصد کم آبیاری، حداکثر محتوای پرولین در برگ و ریشه (۳/۴۶ و ۲/۷۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مشاهده شد. در تیمار ۵۰ درصد کم آبیاری، محتوای پرولین ریشه در سینگل کراس ۷۰۴، ۲/۹۷ برابر، در سینگل کراس ۵۰۴، ۲/۵۴ برابر و در سینگل کراس ۳۰۱، ۲/۶۵ برابر افزایش یافت. محتوای پرولین برگ در سینگل کراس ۷۰۴، ۳/۳۶ برابر، در سینگل کراس ۵۰۰، ۲/۶۷ برابر و در سینگل کراس ۳۰۱، ۲/۹۷ برابر در مقایسه با آبیاری کامل افزایش یافت. افزایش محتوای پرولین در سینگل کراس ۷۰۴ بالاتر از

اشباع (کیلوپاسکال)، e_a: فشار بخار حقیقی (کیلوپاسکال)، e_s-e_a: کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و γ: ثابت سایکرومتریک (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد). در این آزمایش، پرولین، قند محلول و محتوای نشاسته‌ی گیاهان، در برگ‌های کاملاً گسترده از گیاهان ۵۵ روزه، با استفاده از چهارمین برگ از نوک گیاه و هم‌چنین ریشه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان پرولین

میزان پرولین آزاد با استفاده از روش بیتس^۱ و همکاران (۱۹۷۳) تعیین شد. برای این منظور ۰/۰۴ گرم ریشه و برگ خشک در اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد هموزن شد. پس از ۷۲ ساعت این ماده به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. این محلول پس از ترکیب با اسیداستیک و اسیدنینهیدرین^۲، به مدت یک ساعت در حمام آب گرم حرارت داده شد و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biochrom S 2100) با طول موج ۵۲۰ نانومتر مقدار پرولین مشخص شد. محتویات پرولین به صورت میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیان شد.

اندازه‌گیری محتوای قندهای محلول

مقدار قندهای محلول بر اساس روش فنول سولفوریک (دوبوئیس^۳ و همکاران، ۱۹۵۶) تعیین شد. ۰/۵ گرم ریشه و برگ تازه با آب مقطر همگن و سپس عصاره، فیلتر شده با فنل ۵ درصد و اسیدسولفوریک ۹۸ درصد مخلوط گردید. مقدار قند محلول پس از ۱ ساعت با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Biochrom S 2100) با طول موج ۴۸۵ نانومتر مشخص شد. محتویات قند محلول به صورت میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بیان شد.

اندازه‌گیری محتوای نشاسته

محتوای نشاسته با استفاده از روش فنول سولفوریک (دوبوئیس و همکاران، ۱۹۵۶) تعیین شد. رسوب عصاره‌ای که در آن محتوای قند فیلتر شده بود، خشک، وزن و سپس در حمام آب گرم قرار داده شد. برای اندازه‌گیری محتوای نشاسته از سوپرناتانت^۴ استفاده شد.

اندازه‌گیری عملکرد و اجزاء عملکرد

1. Bates
2. Ninhydrin
3. Dubois
4. Supernatant

5. Water use efficiency (WUE)
6. Andere

مقدار کل محتوای قند محلول را افزایش داد (شکل ۲). حداکثر مقدار قند محلول در برگ و ریشه (۸۱/۵۲ و ۸۲/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به ۵۰٪ کم آبیاری (I_۵) بود. در تیمار I_۵، درصد قند محلول ریشه در سینگل کراس ۷۰۴، ۱/۸۹ برابر و در سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱، ۱/۸ برابر نسبت به آبیاری کامل افزایش یافت. در تیمار I_۵، درصد قند محلول برگ در سینگل کراس ۷۰۴، ۱/۶۰ برابر، در سینگل کراس ۵۰۰، ۱/۶۹ برابر و در سینگل کراس ۳۰۱، ۱/۷۰ برابر نسبت به آبیاری کامل افزایش یافت (شکل ۲). این در حالی بود که محتوای نشاسته با تشدید کم آبیاری در ریشه و برگ برای هر سه هیبرید به‌طورمعنی‌داری (در سطح پنج درصد) کاهش یافت. حداکثر محتوای نشاسته در برگ و ریشه (۶۰/۰۲ و ۵۴/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در آبیاری کامل مشاهده گردید. در تیمار ۵۰٪ کم آبیاری، محتوای نشاسته ریشه در سینگل کراس ۷۰۴، ۰/۸۴٪، در سینگل کراس ۵۰۰، ۰/۷۴٪ و در سینگل کراس ۳۰۱، ۰/۷۸٪ نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت. محتوای نشاسته برگ در تیمار ۵۰٪ کم آبیاری، در سینگل کراس ۷۰۴، ۰/۷۵٪، در سینگل کراس ۵۰۰، ۰/۷۸٪ و در سینگل کراس ۳۰۱، ۰/۷۹٪ نسبت به آبیاری کامل کاهش یافت (شکل ۳).

افزایش غلظت قند در زمان بروز تنش احتمالاً ناشی از تخریب نشاسته می‌باشد (فیشر و هال^۸، ۱۹۹۱). به عبارتی نشاسته می‌تواند نقش مهمی در تجمع قندهای محلول در سلول‌های گیاهی ایفا کند. پاتاکاس و نویتساکیس^۹ (۲۰۰۱) به کاهش بیش از حد نشاسته در پاسخ به تنش خشکی اشاره کرده‌اند. در این تحقیق، غلظت قندهای محلول هم‌زمان با کاهش غلظت نشاسته افزایش یافت که نتیجه این امر کاهش پتانسیل آب سلول می‌باشد. کاهش نشاسته و افزایش قندهای محلول باعث شد نسبت قند محلول به نشاسته در ریشه هم‌زمان با بروز تنش‌های شدید خشکی (از ۳۷/۵٪ کم آبیاری) به شدت در سه هیبرید افزایش یابد. این درحالی بود که این افزایش در برگ نسبت به ریشه روند کندتری داشت (شکل ۴).

سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ و در برگ‌ها بالاتر از ریشه‌ها بود (شکل ۱).

در بین انواع آمینواسیدها، تجمع پرولین در پاسخ به انواع تنش خشکی در بسیاری از بافت‌های گیاهی گزارش شده است (مسعودی-صادقیانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ بیکر و همکاران ۱۹۹۳؛ هار و کرس، ۱۹۹۷؛ واتانابه^۱ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ساروهان^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). به‌عنوان مثال در ریشه ذرت، سطح پرولین تحت تأثیر تیمار کم‌آبی بیش از ۱۰٪ افزایش یافت (وئوتبرگ و شارپ^۳، ۱۹۹۱). با این حال، نقش دقیق تجمع پرولین هنوز نامشخص است، که آیا به‌عنوان یک تنظیم‌کننده‌ی اسمزی (دلاونی و ورمای^۴، ۱۹۹۳)، محافظ اسمزی (سونکا^۵، ۱۹۸۹)، و یا یک تنظیم‌کننده‌ی پتانسیل اکسیداسیون برای سلول‌ها (بلینگر و لارر^۶، ۱۹۸۷) عمل می‌کند.

افزایش پرولین در تنش شدید خشکی در این آزمایش هماهنگ با نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققین می‌باشد (مسعودی-صادقیانی و همکاران، ۲۰۱۱؛ ساروهان و همکاران، ۲۰۰۶).

در این تحقیق سینگل کراس ۷۰۴ از لحاظ محتوای پرولین افزایش بیشتری نسبت به سینگل کراس ۳۰۱ و ۵۰۰ داشت. که این امر ممکن است ناشی از کاهش آنزیم‌های کاهنده پرولین نظیر پرولین دهیدروژناز (PDH)، یا ناشی از تحریک مسیر بیوسنتز پرولین در تنش خشکی در سینگل کراس ۷۰۴ باشد؛ هم‌چنین این امر نشان می‌دهد سینگل کراس ۷۰۴ انرژی و مواد بیشتری به‌منظور حفظ پرولین در سطح بالا مصرف می‌نماید. در بین تمامی تیمارها، استفاده‌ی متفاوت از محتوای پرولین در هر سه هیبرید در سطح پنج درصد، معنی‌دار بود. مقدار تجمع پرولین به‌طور نسبی با سطح کربوهیدرات همبستگی دارد (هر و کرس، ۱۹۹۷). لارر^۷ و همکاران (۱۹۹۳) بیان نمودند که بین ساکارز و تجمع پرولین همبستگی مثبت وجود دارد.

اثر کم‌آبی بر محتوای قند محلول و نشاسته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد محتوای قند محلول و نشاسته برگ و ریشه ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای آبیاری و هیبریدهای ذرت قرار گرفت (جدول ۱). اعمال کم آبیاری در هر سه هیبرید ذرت به‌طور معنی‌داری

1. Watanabe
2. Saruhan
3. Saruhan
4. Delauney and Verma
5. Csonka
6. Bellingerand Larher
7. Larher

8. Fischer and Höll
9. Patakas and Noitsakis

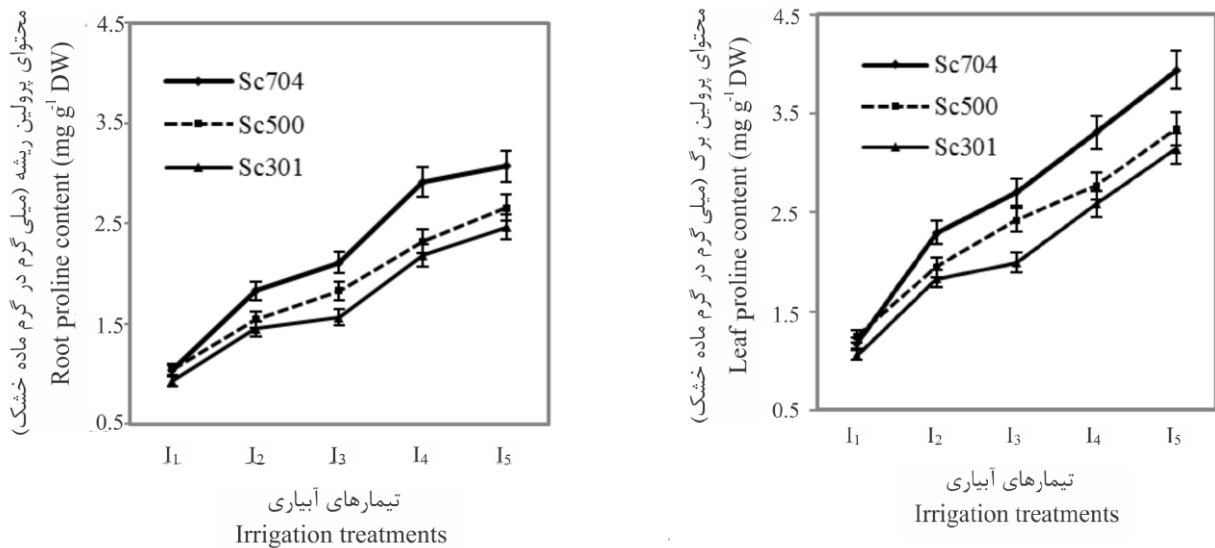
جدول ۱: تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری بر خصوصیات بیوشیمیایی، عملکرد و اجزاء عملکرد سه هیبرید ذرت

Table 1: Analysis of variance of the effect of different levels of irrigation on biochemical characteristics, yield and yield components in three corn hybrids

میانگین مربعات Mean squares												درجه آزادی df	منابع تغییر Sources of variance
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار وزن خشک) Grain yield (Kg ha ⁻¹ DW)	وزن هزار دانه (گرم وزن خشک) One thousand grains (g DW)	دانه در بلال Grains per ear	نسبت قند به نشاسته Soluble sugar/ starch ratio		محتوای نشاسته (میلی گرم در گرم وزن تر) Starch content (mg g ⁻¹ FW)		محتوای قند محلول (میلی گرم در گرم وزن تر) Soluble sugar content (mg g ⁻¹ FW)		محتوای پرولین (میلی گرم در گرم وزن خشک) Proline content (mg g ⁻¹ DW)				
			برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root	برگ Leaf	ریشه Root			
508.1 ^{ns}	64.16 ^{ns}	459.26 ^{ns}	0.561 ^{ns}	2.430 ^{ns}	327.35 ^{ns}	86.42 ^{ns}	22.16 ^{ns}	3.86 ^{ns}	0.1099 ^{ns}	0.0450 ^{ns}	1	سال Year	
1559053.6	6151.37	13873.34	59.799	81.160	4429.33	3337.62	2209.30	2665.26	38.9086	6.1587	4	سال (تکرار) Year (rep)	
33573473.8 ^{**}	24309.84 ^{**}	399665.56 ^{**}	10.594 ^{**}	23.532 ^{**}	692.10 ^{**}	848.15 ^{**}	292.15 ^{**}	429.13 ^{**}	7.2466 ^{**}	1.0261 ^{**}	4	کم آبیاری Deficit irrigation	
93164.1 ^{**}	161.33 ^{**}	384.91 ^{**}	0.462 ^{ns}	1.076 ^{ns}	13.34 ^{ns}	25.61 ^{ns}	19.47 ^{ns}	13.15 ^{ns}	0.3847 ^{ns}	0.0756 ^{ns}	4	کم آبیاری × سال Deficit irrigation × Year	
118705.9	389.18	537.37	2.717	8.220	52.39	63.80	53.85	185.43	13.0304	0.5498	16	خطای کرت اصلی Error of main plot	
1378019.9 ^{**}	7939.42 ^{**}	11372.14 ^{**}	1.918 [*]	0.137 [*]	1023.16 ^{**}	195.60 ^{**}	740.87 ^{**}	558.29 ^{**}	0.8594 [*]	0.5939 ^{**}	2	هیبرید Hybrid	
128169.5 [*]	1080.41 ^{**}	678.37 ^{**}	2.964 [*]	0.434 [*]	581.54 ^{**}	24.63 [*]	11.30 [*]	23.01 ^{**}	0.7071 [*]	0.0873 [*]	8	کم آبیاری × هیبرید Deficit irrigation × Hybrid	
56308.6 ^{ns}	408.26 ^{ns}	28.77 ^{ns}	0.482 ^{ns}	0.685 ^{ns}	16.51 ^{ns}	15.91 ^{ns}	1.01 ^{ns}	4.09 ^{ns}	0.0281 ^{ns}	0.0296 ^{ns}	2	هیبرید × سال Hybrid × Year	
50910.2 ^{ns}	162.38 ^{ns}	368.52 ^{ns}	0.571 ^{ns}	1.247 ^{ns}	8.65 ^{ns}	22.18 ^{ns}	12.01 ^{ns}	17.37 ^{ns}	0.0850 ^{ns}	0.0437 ^{ns}	8	سال × کم آبیاری × هیبرید Year × Deficit irrigation × Hybrid	
56593.2	317.56	248.19	0.501	0.653	23.05	20.01	9.08	6.94	0.0968	0.0598	40	خطای کل Total error	
15.46	16.78	13.49	26.37	27.61	13.85	13.89	4.65	4.25	13.0432	12.6695		ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	

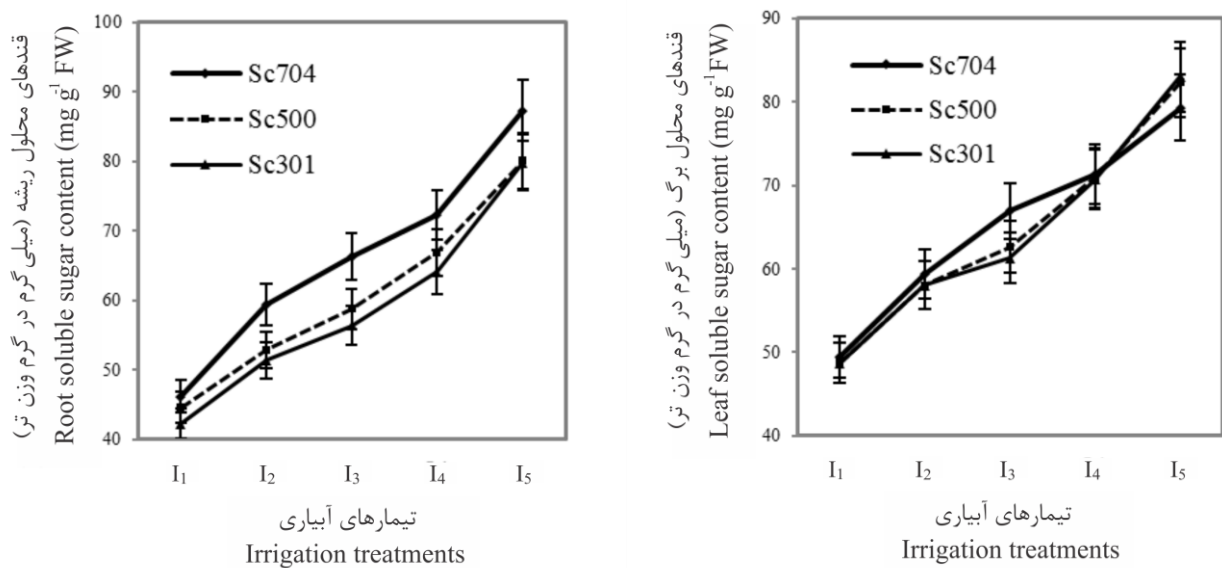
ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at the 5 and 1% level of probability, respectively



شکل ۱: اثر رژیم‌های مختلف آبیاری [I₁: آبیاری کامل، I₂: ۱۲٪/۱۵، I₃: ۲۵٪، I₄: ۳۷٪/۱۵ و I₅: ۵۰٪ کم آبیاری] بر محتوای پرولین کل ریشه و برگ سه هیبرید ذرت. نتایج به صورت میانگین (در سطح پنج درصد) نشان داده شده که از سه تکرار به دست آمده است

Fig. 1: Effect of different irrigation treatments [I₁: full irrigation, I₂: 12.5%, I₃: 25%, I₄: 37.5% and I₅: 50% water deficit] on total proline content in roots and leaves of three corn hybrids. Results are shown as mean ± SE (p<0.05), obtained from three replicates



شکل ۲: اثر رژیم‌های مختلف آبیاری [I₁: آبیاری کامل، I₂: ۱۲٪/۱۵، I₃: ۲۵٪، I₄: ۳۷٪/۱۵ و I₅: ۵۰٪ کم آبیاری] بر محتوای قند محلول ریشه و برگ سه هیبرید ذرت. نتایج به صورت میانگین (در سطح پنج درصد) نشان داده شده که از سه تکرار به دست آمده است

Fig. 2: Effect of different irrigation treatments [I₁: full irrigation, I₂: 12.5%, I₃: 25%, I₄: 37.5% and I₅: 50% water deficit] on soluble sugar content in roots and leaves of three corn hybrids. Results are shown as mean ± SE (p<0.05), obtained from three replicates

ارتباط دارد (هوکسترا و بیوتینک^۱، ۲۰۰۱). در این تحقیق، مقدار قند محلول در ریشه‌های سینگل کراس ۷۰۴ با شیب تندتری نسبت به سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ افزایش یافت و از

مکانیسم تحمل در برابر تنش خشکی با تجمع ترکیباتی نظیر پرولین و قندهای محلول همراه می‌باشد. تجمع قندهای محلول در گیاهان به شدت با میزان مقاومت در برابر خشکی

پروتئین‌ها و غشاء از طریق پیوند هیدروژنی واکنش نشان داده و در نتیجه از دناتوراسیون پروتئین جلوگیری می‌کند (لئوپولد^۹ و همکاران، 1994). دوم، قند عامل مهم در شیشه‌سازی^{۱۰} است، که یک شیشه بیولوژیکی در سیتوپلاسم سلول‌های خشک تشکیل می‌دهد (لئوپولد^{۱۱} و همکاران، 1994؛ بوی‌تینک^{۱۲} و همکاران، 1998). در شرایط تنش خشکی، فرض بر این است که تخلیه نشاسته با پلاسمولیز سلول، القاء شده و منجر به کاهش حجم در سیتوپلاسم خواهد شد. تجمع قندهای محلول ممکن است برای مقابله با تنش اسمزی باشد.

ترتیب مربوط به آبیاری کامل و تیمار ۱۲/۵ درصد کم آبیاری در هر سه هیبرید بود؛ از طرفی هیچ تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری کامل و ۱۲/۵ درصد کم آبیاری مشاهده نشد.

در تیمار ۵۰٪ کم آبیاری، تعداد دانه در بلال در سینگل کراس ۷۰۴، ۵۳٪، در سینگل کراس ۵۰۰، ۵۱٪ و در سینگل کراس ۳۰۱، ۵۵٪ در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. وزن هزاردانه در سینگل کراس ۷۰۴، ۳۷٪ و در سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱، ۲۸٪ در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت (شکل ۵). عملکرد دانه در سینگل کراس ۷۰۴ و ۵۰۰، ۵۶٪ و در سینگل کراس ۳۰۱، ۵۵٪ در مقایسه با آبیاری کامل کاهش داشته است (شکل ۶). نکته قابل توجه در این در این بخش آن است که در تنش‌های خفیف (۱۲/۵ درصد کم آبیاری)، عملکرد دانه سینگل کراس ۷۰۴ کم‌ترین تأثیر منفی را از کم آبیاری پذیرفته و از طرفی در کلیه تیمارهای کم آبیاری عملکرد بیشتری نسبت به دو هیبرید دیگر دارد.

در این تحقیق وزن هزاردانه در سینگل کراس ۷۰۴ با شیب تندتری نسبت به سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ کاهش یافت ولی در مجموع عملکرد دانه بالاتری نسبت به دو هیبرید دیگر داشت. در مجموع سینگل کراس ۷۰۴ و ۳۰۱ از نظر عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال و سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ از لحاظ وزن هزاردانه، در پاسخ به کم آبیاری عکس‌العمل مشابهی داشتند (شکل ۵ و ۶).

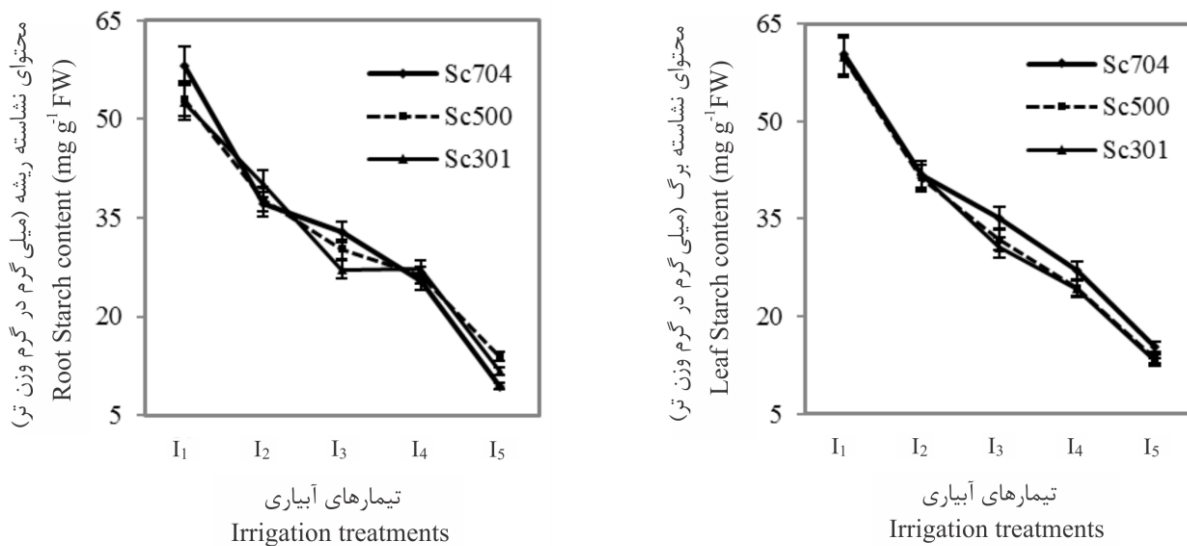
طرفی افزایش مقدار قند محلول در برگ سینگل کراس ۳۰۱ و ۵۰۰ بیشتر از سینگل کراس ۷۰۴ بود. بنابراین، به نظر می‌رسد که میزان تجمع قندهای محلول در ریشه بهتر از برگ، مقاومت به خشکی را نشان می‌دهد. در این تحقیق شیب منحنی غلظت قندهای محلول در برگ سینگل کراس ۷۰۴ از تیمار ۲۵٪ کم آبیاری کاهش یافت. هم‌زمان با تشدید کم آبیاری محتوای نشاسته در ریشه و برگ در هر سه هیبرید به صورت خطی کاهش یافت، البته در برگ از تیمار ۱۲/۵ درصد کم آبیاری با شیب کندتری کاهش پیدا کرد. محتوای نشاسته ریشه در سینگل کراس ۷۰۴ با شیب تندتری نسبت به سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ کاهش یافت.

تجمع قند در پاسخ به تنش خشکی در تحقیقات مختلف اثبات شده است (مسعودی-صادقی و همکاران، 2011؛ یانسی^۱ و همکاران، 1982؛ آل حکیمی و همکاران، 1995؛ کاملی و لوسل^۲، 1993). غلظت قندهای محلول در هر سه هیبرید در تنش خشکی افزایش یافت و این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات قبلی مطابقت دارد. نقش پیچیده و اساسی قندهای محلول در متابولیسم گیاه به‌عنوان نتیجه‌ای از فرایندهای هیدرولیتیک، بستر فرایندهای بیوسنتز و تولید انرژی و هم‌چنین به‌عنوان سیستم سیگنالینگ^۳ نیز شناخته شده است. نتایج تحقیقات جدید نشان می‌دهد که واحدهای قند ممکن است منجر به شروع تنظیم متابولیک شوند (گیبسون^۴، 2005). با افزایش قند در برگ‌ها و ریشه‌ها، سلول در برابر آب‌زدایی^۵ حفاظت می‌شود. قندهای محلول نیز ممکن است به‌عنوان یک محافظ اسمزی عمل کرده و در نتیجه غشاءهای سلولی را در برابر از دست رفتن تورگور حفظ کنند.

مطالعه گیاهان مختلف نشان داده است که تنش خشکی باعث می‌شود تا تبدیل قندهای شش کربنه^۶ و کربوهیدرات‌های دیگر مانند ساکارز و نشاسته، به قندهای الکلی (پلی‌پولها) و پرولین کاهش یابد (وانگ^۷ و همکاران، 1996). گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد قندهای طی دو مکانسیم می‌توانند در زمان وقوع تنش خشکی هم‌زمان با کاهش پتانسیل آبی از سلول‌های ریشه و برگ محافظت کنند. اول، گروه‌های هیدروکسیل قند ممکن است در طی آب‌زدایی برای حفظ تعامل در بخش آبدوست^۸ غشاء و پروتئین، جایگزین آب شوند. بنابراین، قند با

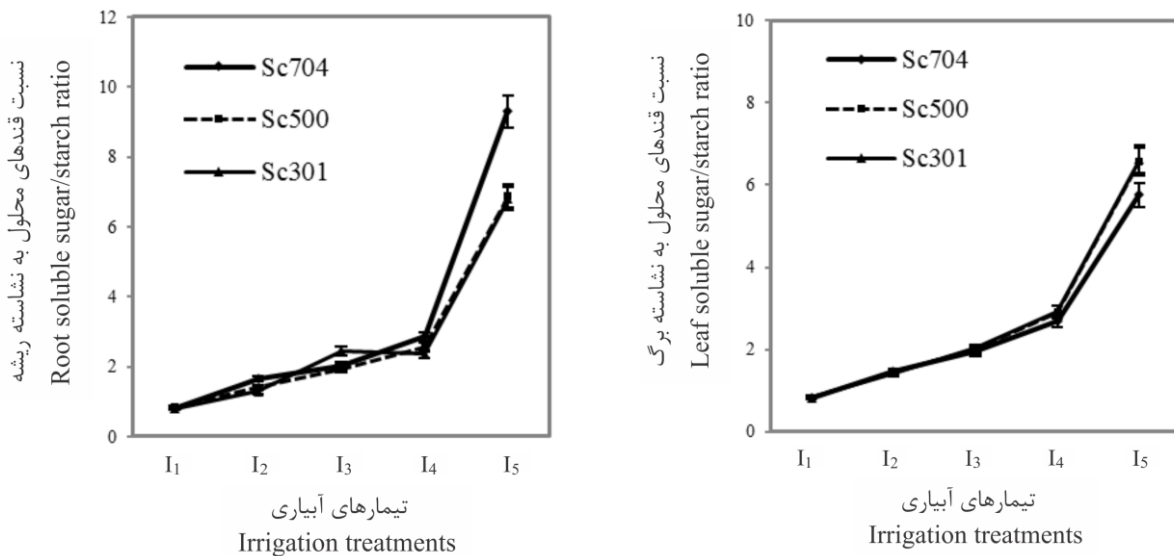
1. Yancey
2. Kameli and Losel
3. Signaling
4. Gibson
5. Dehydration
6. Hexoses
7. Wang
8. Hydrophilic

9. Leopold
10. Vitrification
11. Leopold
12. Buitink



شکل ۳: اثر رژیم‌های مختلف آبیاری [I₁: آبیاری کامل، I₂: ۱۲٪/۵، I₃: ۲۵٪، I₄: ۳۷٪/۵ و I₅: ۵۰٪ کم آبیاری] بر روی محتوای نشاسته در ریشه و برگ برای سه هیبرید ذرت. نتایج به صورت میانگین (در سطح پنج درصد) نشان داده شده که از سه تکرار به دست آمده است

Fig. 3: Effect of different irrigation treatments [I₁: full irrigation, I₂: 12.5%, I₃: 25%, I₄: 37.5% and I₅: 50% water deficit] on starch content in roots and leaves of three corn hybrids. Results are shown as mean \pm SE ($p < 0.05$), obtained from three replicates



شکل ۴: اثر رژیم‌های مختلف آبیاری [I₁: آبیاری کامل، I₂: ۱۲٪/۵، I₃: ۲۵٪، I₄: ۳۷٪/۵ و I₅: ۵۰٪ کم آبیاری] بر نسبت قند به نشاسته محلول در ریشه و برگ برای سه هیبرید ذرت. نتایج به صورت میانگین (در سطح پنج درصد) نشان داده شده که از سه تکرار به دست آمده است

Fig 4. Effect of different irrigation treatments [I₁: full irrigation, I₂: 12.5%, I₃: 25%, I₄: 37.5% and I₅: 50% water deficit] on soluble sugar/starch ratio in roots and leaves of three corn hybrids. Results are shown as mean \pm SE ($p < 0.05$), obtained from three replicates

همکاران، ۲۰۱۴؛ اک، ۱۹۸۶، فیش باج و مولینر، ۱۹۷۲). وزن نهایی دانه در بلال یکی از اجزاء عملکرد است که تحت تأثیر

اثر کمبود آب در کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد از سوی بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (روبیل الم^۱ و

سرعت و دوره پر شدن دانه قرار دارد (پارتاساراتی^۱، 2013؛ اگلی^۳، 1999؛ احمدی و بیکر^۴، 2001). تنش خشکی به طور همزمان سرعت و دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد (سالمی^۵ و همکاران، 2011؛ بروکس^۶ و همکاران، 1982؛ بروکرس^۷ و همکاران، 1978)، این امر تا حدی ناشی از کاهش تولید به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی بوده که مهم‌ترین دلایل آن اختلال در فسفریلاسیون (به واسطه آسیب دیدگی فتوسیستم II) و از طرفی انسداد روزنه و کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به درون برگ می‌باشد (مورگان^۸، 1984). در مراحل اولیه پر شدن دانه، تنش خشکی با کاهش تعداد سلولهای اندوسپرم منجر به کاهش عملکرد می‌شود (نیکلاس^۹ و همکاران، 1985). کمبود آب پس از گل‌دهی، تعداد دانه در هریک از خوشه‌ها را با آسیب رساندن به فرآیندهای لقاح دانه کاهش می‌دهد (واردلاو^{۱۰}، 1971). در مجموع کاهش اجزاء عملکرد منجر به کاهش عملکرد خواهد شد.

اثر کم آبی بر عملکرد و اجزاء عملکرد

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اثر متقابل میان سطوح آبیاری و هیبردها دارای تأثیر معنی‌داری بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد بود (جدول ۱). همزمان با وقوع کم آبیاری، عملکرد و اجزاء عملکرد در هر سه هیبرید کاهش یافت؛ به نحوی که حداکثر عملکرد به ترتیب مربوط به آبیاری کامل (I_۱) و تیمار ۱۲/۵٪ کم آبیاری (I_۲) در هر سه هیبرید بود؛ از طرفی هیچ تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای I_۱ و I_۲ مشاهده نشد.

در تیمار ۵۰٪ کم آبیاری (I_۵)، تعداد دانه در بلال در سینگل کراس ۷۰۴، ۵۳٪، در سینگل کراس ۵۰۰، ۵۱٪ و در سینگل کراس ۳۰۱، ۵۵٪ در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت. وزن هزار دانه در سینگل کراس ۷۰۴، ۳۷٪ و در سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱، ۲۸٪ در مقایسه با آبیاری کامل کاهش یافت (شکل ۵). عملکرد دانه در سینگل کراس ۷۰۴ و ۵۰۰، ۵۶٪ و در سینگل کراس ۳۰۱، ۵۵٪ در مقایسه با آبیاری کامل کاهش داشته است (شکل ۶). نکته قابل توجه در این بخش آن است که در تنش‌های خفیف (۱۲/۵ درصد کم آبیاری)، عملکرد

دانه سینگل کراس ۷۰۴ کم‌ترین تأثیر منفی را از کم آبیاری پذیرفته و از طرفی در کلیه تیمارهای کم آبیاری عملکرد بیشتری نسبت به دو هیبرید دیگر دارد.

اثر کمبود آب در کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد از سوی بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (روبیال الم^{۱۱} و همکاران، 2014؛ اک^{۱۲}، 1986؛ فیش باج و مولینر^{۱۳}، 1972). وزن نهایی دانه در بلال یکی از اجزاء عملکرد است که تحت تأثیر سرعت و دوره پر شدن دانه قرار دارد (پارتاساراتی^{۱۴}، 2013؛ اگلی^{۱۵}، 1999؛ احمدی و بیکر^{۱۶}، 2001). تنش خشکی به طور همزمان سرعت و دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد (سالمی^{۱۷} و همکاران، 2011؛ بروکس^{۱۸} و همکاران، 1982؛ بروکرس^{۱۹} و همکاران، 1978)، این امر تا حدی ناشی از کاهش تولید به دلیل کاهش مواد فتوسنتزی بوده که مهم‌ترین دلایل آن اختلال در فسفریلاسیون (به واسطه آسیب دیدگی فتوسیستم II) و از طرفی انسداد روزنه و کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به درون برگ می‌باشد (مورگان^{۲۰}، 1984). در مراحل اولیه پر شدن دانه، تنش خشکی با کاهش تعداد سلولهای اندوسپرم منجر به کاهش عملکرد می‌شود (نیکلاس^{۲۱} و همکاران، 1985). کمبود آب پس از گل‌دهی، تعداد دانه در هر یک از خوشه‌ها را با آسیب رساندن به فرآیندهای لقاح دانه کاهش می‌دهد (واردلاو^{۲۲}، 1971). در مجموع کاهش اجزاء عملکرد منجر به کاهش عملکرد خواهد شد.

در این تحقیق وزن هزار دانه در سینگل کراس ۷۰۴ با شیب تندتری نسبت به سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ کاهش یافت ولی در مجموع عملکرد دانه بالاتری نسبت به دو هیبرید دیگر داشت. در مجموع سینگل کراس ۷۰۴ و ۳۰۱ از نظر عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال و سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ از لحاظ وزن هزار دانه، در پاسخ به کم آبیاری عکس‌العمل مشابهی داشتند (شکل ۵ و ۶).

اثر کم آبی بر راندمان مصرف آب

در این تحقیق، حداکثر راندمان مصرف آب برای سینگل کراس ۷۰۴ در تیمار ۱۲/۵ درصد کم آبیاری (معادل ۰/۹۰۶ کیلوگرم بر

11. Robiul Alam
12. Eck
13. Fischbach and Mulliner
14. Parthasarathi
15. Egli
16. Ahmadi and Baker
17. Salemi
18. Brooks
19. Brocklehurest
20. Morgan
21. Nicolas
22. Wardlaw

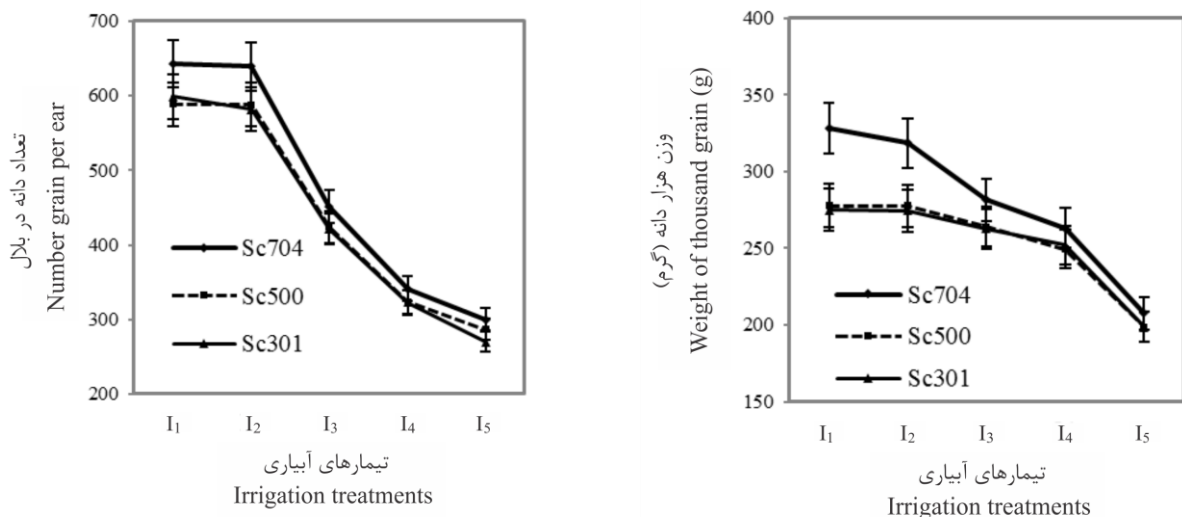
1. Fischbach and Mulliner
2. Parthasarathi
3. Egli
4. Ahmadi and Baker
5. Salemi
6. Brooks
7. Brocklehurest
8. Morgan
9. Nicolas
10. Wardlaw

مجیدیان (۱۳۸۱)، کرام^۴ و همکاران، (۲۰۰۳) و عشقی‌زاده و احسان‌زاده (۱۳۸۷) افزایش راندمان مصرف آب را همراه با کاهش میزان آب مصرفی گزارش کردند، درحالی‌که اوکتم^۵ و همکاران (۲۰۰۳) افزایش راندمان مصرف آب را همراه با افزایش میزان آب آبیاری گزارش کردند. این تفاوت می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت، نحوه‌ی اعمال تیمارهای آبیاری و هیبریدهای مختلف مورد استفاده در آزمایش‌های مختلف باشد.

در این تحقیق ملاحظه می‌شود با اعمال تیمار کم‌آبیاری (به‌خصوص ۱۲/۵٪ تا ۲۵٪) راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد. از طرفی مهم‌ترین دلیل دستیابی به حداکثر راندمان مصرف آب در تیمار ۱۲/۵٪ کم‌آبیاری در سینگل کراس ۷۰۴ این بود که عملکرد دانه در این تیمار، هیچ تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری کامل نداشت، در عین حال در این تیمار مقدار کمتری آب استفاده شد. نتایج مشابهی توسط هیریچ^۶ و همکاران (۲۰۱۴) گزارش شده است. سینگل کراس ۷۰۴ به‌طور قابل توجهی برتری خود را نسبت به سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ نشان داد که مهم‌ترین دلیل این امر بالاتر بودن عملکرد در این هیبرید نسبت به دو هیبرید دیگر بود. (شکل ۶).

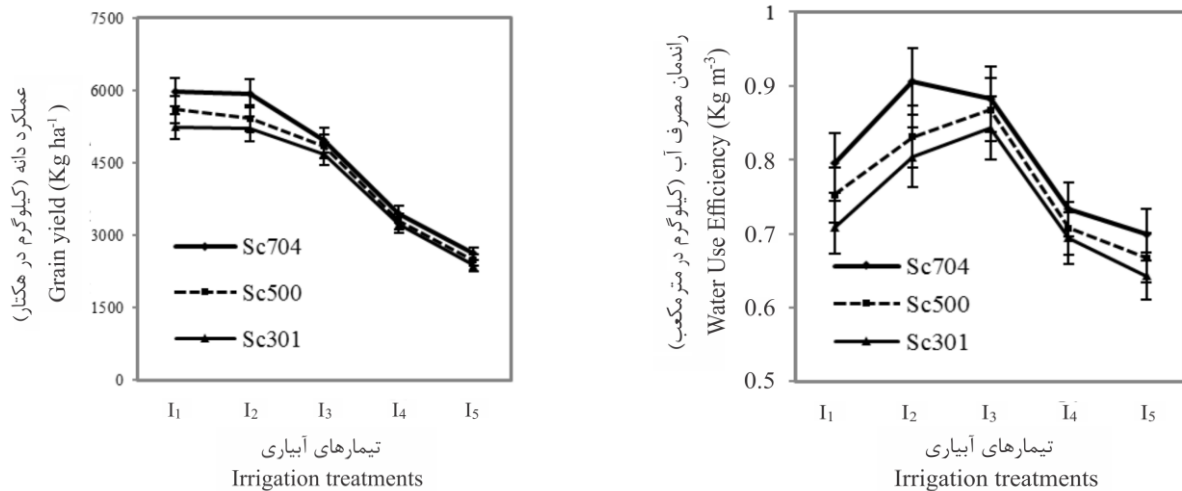
مترمکعب) و در سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ در تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری (به‌ترتیب معادل ۰/۸۶۸ و ۰/۸۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد (شکل ۶). در شرایط کم‌آبیاری خفیف، تنگ‌تر شدن روزنه تعرق را بیش از فتوسنتز کاهش می‌دهد که این امر منجر به افزایش راندمان مصرف آب خواهد شد (احسن^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به بسته‌شدن روزنه در شرایط کم‌آبیاری شدید، شاهد کاهش شدید در فتوسنتز خواهیم بود که دلیل این امر عدم ورود دی‌اکسیدکربن و عدم چرخش چرخه کالوین و در نتیجه عدم تولید تریوز فسفات خواهد بود که این امر منجر به کاهش راندمان مصرف آب خواهد شد (زواره و امام، ۱۳۷۹). از دلایل دیگر برای افزایش راندمان مصرف آب در تنش‌های خفیف می‌توان به افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی^۲ اشاره نمود که مرتبط با کاهش میزان تعرق از سطح برگ می‌باشد (بنجامین^۳ و همکاران، ۲۰۱۴).

عموماً در رابطه با راندمان مصرف آب نتایج ضد و نقیضی گزارش شده است به‌نحوی که برخی از محققین نظیر قدیری و



شکل ۵: اثر رژیم‌های مختلف آبیاری {I₁: آبیاری کامل، I₂: ۱۲/۵٪، I₃: ۲۵٪، I₄: ۳۷/۵٪ و I₅: ۵۰٪ کم‌آبیاری} بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه برای سه هیبرید ذرت. نتایج به‌صورت میانگین (در سطح پنج درصد) نشان داده شده که از سه تکرار به‌دست آمده است

Fig. 5: Effect of different irrigation treatments [I₁: full irrigation, I₂: 12.5%, I₃: 25%, I₄: 37.5% and I₅: 50% water deficit] on number of grains per ear and weight of one thousand grains of three corn hybrids. Results are shown as mean± SE (p<0.05), obtained from three replicates



شکل ۶: تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری {I₁: آبیاری کامل، I₂: ۱۲٪، I₃: ۲۵٪، I₄: ۳۷٪، I₅: ۵۰٪ کم آبیاری} روی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب برای سه هیبرید ذرت. نتایج به صورت میانگین (در سطح پنج درصد) نشان داده شده که از سه تکرار به دست آمده است

Fig. 6: Effect of different irrigation treatments [I₁: full irrigation, I₂: 12.5%, I₃: 25%, I₄: 37.5% and I₅: 50% water deficit] on grain yield and Water Use Efficiency of three corn hybrids. Results are shown as mean± SE (p<0.05), obtained from three replicates

با توجه به اینکه در این تحقیق سینگل کراس ۷۰۴ برتری خود را در شرایط کم آبیاری (به خصوص در تیمارهای خفیف کم آبیاری) نسبت به سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ از لحاظ عملکرد دانه و تعداد دانه در بلال نشان داد می‌توان نتیجه گرفت که میزان افزایش پرولین ریشه و برگ و همچنین افزایش میزان قندهای محلول و کاهش نشاسته ریشه بهتر از سایر فاکتورهای مورد بررسی می‌تواند مقاومت یک هیبرید را به تنش‌های خشکی نشان دهد. به عبارتی تغییرات میزان کربوهیدرات ریشه (شامل کربوهیدرات دخیره‌ای و قندهای محلول) بهتر از برگ می‌تواند مقاومت گیاه را به تنش خشکی نشان دهد.

در مجموع می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که بهتر است سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط ۱۲/۵ درصد کم آبیاری جهت دستیابی به حداکثر عملکرد و حداکثر راندمان مصرف آب کشت شود.

تشکر و قدردانی

از راهنمایی‌های دکتر داریوش مظاهری و همکاری اساتید و کارکنان محترم دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، دانشگاه رازی کرمانشاه و مؤسسه ملی ژنتیک و بیوتکنولوژی کمال قدر دانی و تشکر را می‌نمایم.

نتیجه‌گیری کلی

زمانی که گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود با افزایش برخی آمینواسیدها نظیر پرولین و هم‌چنین شکستن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای نظیر نشاسته و در نتیجه افزایش قندهای محلول، موجبات منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی سلول و افزایش جذب آب را فراهم می‌نماید که این امر موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌شود. در تحقیق حاضر با اعمال تیمارهای کم آبیاری، در کلیه هیبریدها، میزان نشاسته کاهش و میزان قندهای محلول و پرولین در ریشه و برگ افزایش یافت. البته شیب مربوط به منحنی کاهش میزان نشاسته و افزایش میزان قندهای محلول و پرولین تا ۱۲/۵ درصد تنش آبیاری شدیدتر از سایر مراحل بود که این امر باعث شد عملکرد و اجزاء عملکرد تا سطح ۱۲/۵ درصد تنش آبیاری تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل نداشته باشند.

با توجه به اینکه عملکرد دانه در سینگل کراس ۷۰۴ در سطح ۱۲/۵ درصد کم آبیاری تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل نداشت و در عین حال در این سطح تنش آبیاری، آب کمتری در اختیار گیاه قرار گرفت لذا حداکثر راندمان مصرف آب در تیمار ۱۲/۵ درصد تنش آبیاری مشاهده گردید. البته در سینگل کراس ۵۰۰ و ۳۰۱ عملکرد دانه تا ۲۵ درصد کم آبیاری با شیب کندی کاهش یافت که این امر موجب پیدایش حداکثر راندمان مصرف آب در این دو هیبرید در این تیمار گردید.

منابع

- خیرابی، ج. ۱۳۸۱. بررسی و مقایسه تطبیقی روش پمن - ماننسیس با روش‌های فائو ۲۴ در ایران. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکش ایران. ۲۱۶ صفحه.
- قدیری، ه. و مجیدیان، م. ۱۳۸۲. اثر سطوح مختلف نیتروژن و تنش رطوبتی در مراحل شیرینی و خمیری روی عملکرد، اجزاء عملکرد و راندمان مصرف آب در ذرت (*Zea mays* L.). مجله علوم و تکنولوژی کشاورزی و منابع طبیعی، ۷ (۲): ۱۰۳-۱۱۴.
- زواره، م. و امام، ی. ۱۳۷۸. شناخت مراحل زندگی کلزا (*Brassica napus*). مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۲: ۱۴-۱.
- عشقی‌زاده، ح. ر.، و احسان‌زاده، پ. ۱۳۸۸. تاثیر رژیم های مختلف آبیاری بر چند ژنوتیپ ذرت: II. عملکرد، اجزای عملکرد دانه و راندمان مصرف آب آبیاری، مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۰ (۲): ۱۴۵-۱۵۳.
- Ahmadi, A. and Baker, D. A. 2001. The effect of water stress on grain filling processes in wheat. *Journal of Agricultural Sciences*, 136: 257-269.
- Ahsan, A., Hussain, M. M., Farooq, A., Khaliq, I., Farooq, J., Ali, Q. and Kashif, M. 2011. Physio-genetic behavior of maize seedlings at water deficit conditions. *Cercetari Agronomic in Moldova*, 1462: 41-49.
- Al-Hakimi, A., Monneveux, P. and Galiba, G. 1995. Soluble sugars, proline and relative water content (RWC) as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *T. polonicum* into *T. durum*. *Journal Genetice Breeding*, 49: 237-244.
- Andrade, F. H., Echert, L., Rizzalli, R., Della Maggiora, A. and Casanovas, M. 2002. Kernel number predication in maize nitrogen or water stress. *Crop Science*, 42: 1173-1179.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycinebetaine and proline. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216.
- Baker, R. J. 1993. Breeding methods and selection indices for improved tolerance to biotic and abiotic stresses in cool season food legumes. *Euphitica*, 73: 67-72.
- Bates, L. S., Waldron, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-208.
- Bellinger, Y. and Larher, F. 1987. Proline accumulation in higher plants: a redox buffer? *Plant Physiology*, 6: 23-27.
- Benjamin, J. G., Nielsen, D. C., Vigil, M. F., Mikha, M. M. and Calderon, F. J. 2014. Water deficit stress effects on corn (*Zea mays* L.) root: shoot ratio. *Open Journal of Soil Science*, 4: 151-160.
- Brocklehurst, P. A., Moss, J. P. and Williams, W. 1978. Effect of irradiance and water supply on grain development in wheat. *Annual Applied. Biology*, 90: 265-276.
- Brooks, A., Jenner, C. F. and Aspinall, D. 1982. Effect of water deficit on endosperm starch granules on grain physiology of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4: 423-436.
- Buitink, J., Laessens, M. M. A. E., Hermings, M. A. and Hoekstra, F. A. 1998. Influence of water content and temperature on molecular mobility and intracellular glasses in seeds and pollen. *Plant Physiology*, 118: 531-541.
- Csonka, L. N. 1989. Physiological and genetic responses of bacteria to osmotic stress. *Microbiology Review*, 53: 121-147.
- Delauney, A. J. and Verma, D. P. S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal*, 4: 215-223.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 38: 350-356.
- Eck, H. V. 1986. Effects of water deficit on yield components, and water use efficiency of irrigation corn. *Agronomy Journal*, 78: 1035-1040.
- Egli, D. B. 1999. Seed biology and the yield of grain crops. United Kingdom, CAB International, 682 pp.
- Finkelstein, R. R. and Gibson, S. I. 2001. ABA and sugar interactions regulating development: cross-talk or voices in a crowd. *Current Opinion Plant Biology*, 5: 26-32.
- Fischbach, D. E. and Mulliner, M. R. 1972. Every other furrow irrigation of corn. *ASAE*, 17 (3): 426-428.
- Fischer, C. and Höll, W. 1991. Food reserves in scots pine (*Pinus sylvestris* L.). I. seasonal changes in the carbohydrate and fat reserves of pine needles. *Trees*, 5: 187-195.
- Giardi, M. T., Cona, A., Geiken, D., Kucera, T., Masojidek, J. and Matto, A. K. 1996. Long-term drought stress induce structural and functional reorganization of photosystem II. *Planta*, 199: 118-125.
- Gibson, S. I. 2005. Control of plant development and gene expression by sugar signaling. *Current Opinion Plant Biology*, 8: 93-102.
- Giunta, F. and Motzo, R. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in Mediterranean environment. *Field Crop Research*, 33: 339-409.
- Hare, P. D., Cress, V. A. and Staden, J. V. 1999. Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating related signal transduction. *Journal of Experimental Botany*, 50: 413-434.
- Hare, P. D. and Cress, W. A. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulator*, 21: 79-102.
- Hirich, A., Ragab, R., Redouane, C. and Abellatif, R. 2014. Wastewater on sweet corn: experimental and modeling study using SALTMED model. *Irrigation Science*, 32 (3): 205-2019.
- Hoekstra, F. A., Golovina, E. A. and Buitink, J. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Science*, 6: 431-438.

- Kameli, A. and Losel, D. M. 1993. Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress. *New Phytology*, 125: 609-614.
- Kiyosue, T., Yishivba, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 1996. Nuclear gene, encoding mitochondrial proline dehydrogenase, an enzyme involved in proline metabolism, is up regulated by proline but down regulated in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 8: 1323-1335.
- Koch, K. 1996. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. *Plant Physiology*, 47: 509-540.
- Kram, F., Breidy, J., Stephan, C. and Roupael, J. 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. *Agriculture Water Management*, 63: 125-137.
- Larher, F., Leport, L., Petrivalsky, M. and Chappart, M. 1993. Effectors for the osmo induced proline response in higher plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 31: 911-922.
- Leopold, A. C., Sun, W. Q. and Bernal-Lugo, L. 1994. The glassy state in seeds: analysis and function. *Seed Science Research*, 4: 267-274.
- Morgan, J. M. 1984. Changes in diffusive conductance and water potential of wheat plants before and after anthesis. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4: 314-322.
- Masoudi, F., Abdollahi, B., Zardoshti, M. R., Rasouli, M. H. and Tavakoli, A. 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. *Australian Journal of Crop Science*, 51: 55-60.
- Nakashima, K., Satoh, R., Kiyosue, T., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 1998. A gene encoding proline dehydrogenase is not only induced by proline and hypo osmolality, but is also developmentally regulated in the productive organs of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 118: 1323-1335.
- Nicolas, M. E., Gleadow, R. M. and Dalling, M. J. 1985. Effect of post-anthesis drought on cell division and starch accumulation in developing wheat grains. *Annals of Botany*, 66: 665-672.
- Novari, Y. K., Suratmana, G., Nurlaeny, N. and Simanungkalit, R. D. 2009. Proline and abscisic acid content in drought corn plant inoculated with *azospirillum* sp. and arbuscular mycorrhizae fungi. *Hayati Journal of Biosciences*, 16: 15-20.
- Parthasarathi, T., Vanitha, K. and Velu, G. 2013. Physiological impact of irrigation water deficit and plant density on maize yield and yield components. *Plant Archives*, 13 (1): 133-138.
- Patakas, A., and Noitsakis, B. 2001. Leaf age effects on solute accumulation in water-stressed grapevines. *Plant Physiology*, 158: 63-69.
- Peng, Z., Lu, Q. and Verma, D. P. S. 1996. Reciprocal regulation of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes control levels during and after osmotic stress in plants. *Molecular and General Genetics*, 253: 334-341.
- Prado, F. E., Boero, C., Gallarado, M. and Gonzalez, J. A. 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* wild seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41: 27-34.
- Robiul Alam, M., Nakasathien, S., Sarobol, E. and Vichukit, V. 2014. Responses of physiological traits of maize to water deficit induced at different phenological stages. *Kasetsart Journal- Natural Science*, 48 (2): 183-196.
- Royo, C., Abaza, M., Blanco, R., Garcia, D. and Moral, L. F. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27: 1051-1059.
- Salemi, H., Mohd, A. M. S., Teang, S. L., Mohd, K. Y. and Desa, A. 2011. Effects of deficit irrigation on water productivity and maize yields in arid regions of Iran. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 34 (2): 207-216.
- Samaras, Y., Bressan, R. A., Csonka, L. N., Garcia-Rios, M., Paino D'Urzo, M. and Rhodes, D. 1995. Proline accumulation during water deficit. In: Smirnoff, N. (Ed.), *Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation*. Oxford: Bios Scientific Publishers, pp. 112-134.
- Saruhan, N., Terzi, R. and Kadioglu, A. 2006. The effects of exogenous polyamines on some biochemical changes during drought stress in *tenanthesetosa*. *Acta Biologica Hungarica*, 57: 221-229.
- Seghatoleslami, M. J., Kafi, M. and Majidi, E. 2008. Effect of deficit irrigation on yield, water use efficiency and some morphological and phenological traits of three millet species. *Pakistan Journal of Botany*, 40 (41): 555-560.
- Serraj, R. and Sinclair, T. R. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. *Plants, Cell and Environment*, 25: 333-341.
- Sheen, J., Zhou, L. and Jang, J. C. 1999. Sugars as signaling molecules. *Current Opinion Plant Biology*, 2: 410-418.
- Smeekens, S. 2000. Sugar-induced signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 49-81.
- Smirnoff, N. and Stewart, G. R. 1985. Stress metabolites and their role in coastal plants. *Vegetation*, 62: 273-278.
- Smirnoff, N. and Cumbes, Q. J. 1989. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. *Phytochemistry*, 28: 1057-1060.
- Stewart, G. R. and Boggess, S. F. 1977. Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiology*, 59: 930-932.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. (4th Ed). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers.
- Verslues, P. E. and Sharp, R. E. 1999. Proline accumulation in maize primary roots at low water potentials. II metabolic source of increased proline deposition in the elongation zone. *Plant Physiology*, 119: 1349-1360.
- Voetberg, G. S. and Sharp, R. E. 1991. Growth of maize primary root at low water potential. Roles of increased proline deposition in osmotic adjustment. *Plant Physiology*, 96: 1125-1230.

- Wang, Z., Quebedeaux, B. and Stutte, G. W. 1996. Partitioning of (14C) glucose in to sorbitol and other carbohydrates in apple under water stress. *Australian Journal Biology Sciences*, 23: 245-251.
- Wardlaw, I. F. 1971. The early stage of grain development in wheat. Response to water stress in a single variety. *Australian Journal Biology Sciences*, 24: 1047-1055.
- Watanabe, S., Kojima, K., Ide, Y. and Satohiko, S. 2000. Effects of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populuse uphratica in vitro*. *Plant Cell, Tissue Organs*, 63: 199-206.
- Yancey, P. H., Clark, M. E., Hand, S. C., Bowlus, R. D. and Somero, G. N. 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte system. *Crop Science*, 217: 1214-122.
- Yang, W. J., Rich, P. J., Axtell, J. D., Wood, K. V., Bonham, C. C., Ejeta, G., Mickelbart, M. V. and Rhodes, D. 2003. Genotypic variation for glycine betaine in sorghum. *Crop Science*, 43: 162-169.

Effect of Deficit Irrigation on Yield and Biochemical and Physiological Characteristics of Corn Hybrids (*Zea mays* L.)

Homayouni^{1*}, H., Khazarian², V. and Saeidi³, M.

Abstract

To evaluate corn yield, yield components, and water use efficiency as well as biochemical responses to deficit irrigation, a farm experiment was executed in Karaj in 2009 and 2010. The factors consisted of five different irrigation regimes [including full irrigation (I₁), 12.5% (I₂), 25% (I₃), 37.5% (I₄) and 50% (I₅) water deficit] and three corn (*Zea mays* L.) hybrids (Sc704, Sc500 and Sc301). Deficit irrigation decreased starch content and increased soluble sugars in the leaves and roots of all three hybrids. Proline level in roots of all three hybrids was also increased in response to deficit irrigation. The increase in proline content was higher in leaves than in roots, but the increase in soluble sugar content and decrease in starch content were higher in roots than in leaves. Results indicated that the highest leaf and root proline and soluble sugars levels were related to treatment I₅ and the highest leaf and root starch content were related to full irrigation. Results also indicated that the highest number of grains per ear, weight of one thousand grains and grain yield were related to full irrigation. There was no significant differences between full irrigation and 12.5% of water deficit. In the conducted test, maximum water use efficiency in Sc704 was observed in treatment I₂ and in Sc500 and Sc301 were observed in treatment I₃. In sum, it is concluded that the hybrid to Sc704 in 12.5% of water deficit could be recommended in order to achieve maximum yield and water use efficiency.

Keywords: Proline, Water use efficiency, Soluble sugars, Restriction of humidity, Starch

-
1. PhD Graduated, Department of Basic Sciences, Institute of Botanic, National Academy of Sciences of Armenia, Yerevan
 2. Professor, Department of Basic Sciences, Institute of Botanic, National Academy of Sciences of Armenia, Yerevan
 3. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah
- *: Corresponding author Email: homayuni_hooman@yahoo.com