مجله دانش نوین
کشاورزی پایدار

سال ۱۳۹۳
جلد ۱۰ شماره ۱
صفحات ۲۵-۱۵

اثر شیوه‌های مختلف آبیاری و کاربرد کود پتاسیم بر کارآیی مصرف آب، عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت رقم SC500

عبداله بحرانی

گروه کشاورزی

واحد رامهرمز

دانشگاه آزاد اسلامی

رامهرمز، ایران

نشانی الکترونیک ✉:

abahrani@iauramhormoz.ac.ir

چکیده این آزمایش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های خرد شده با سه تکرار روی ذرت رقم SC500 انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه شیوه آبیاری کامل، آبیاری یک در میان متغیر و آبیاری یک در میان ثابت و کرت‌های فرعی شامل سه سطح ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار بود. نتایج نشان داد که کرت‌های برخوردار از آبیاری کامل نسبت به آبیاری یک در میان ثابت و متغیر عملکرد دانه بالاتری داشتند، هرچند بالاترین کارآیی مصرف آب معادل ۱/۲۹ کیلوگرم دانه بر متر مکعب در تیمار آبیاری یک در میان متغیر و کمترین آن در تیمار آبیاری کامل با متوسط ۱/۰۸ کیلوگرم دانه بر متر مکعب به دست آمد. کاربرد کود پتاسیم محتوی رطوبت نسبی و درصد پروتئین دانه را در تیمارهای آبیاری یک در میان ثابت و متغیر نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش داد. تیمارهای آبیاری کامل و یک در میان ثابت به ترتیب کمترین و بیشترین میزان آبسیزیک اسید در برگ را در همه سطوح کود پتاسیم ایجاد کرد. با توجه به این که شیوه آبیاری یک در میان میزان آب مصرفی را کاهش داده و موجب افزایش کارایی مصرف آب گردید، بنابراین، استفاده از این روش آبیاری به خصوص به شیوه یک در میان متغیر، در شرایط کمبود آب و یا قیمت بالای آب زیاد باشد، می‌تواند روشی مناسب برای آبیاری ذرت در منطقه باشد.

شناسه مقاله:

نوع مقاله: **پژوهشی**

تاریخ پژوهش: **۹۱-۱۳۹۰**

تاریخ دریافت: **۹۲/۳/۱۹**

تاریخ پذیرش: **۹۲/۱۲/۲۶**

واژه‌های کلیدی:

- **کم‌آبیاری منظم**
- **آبیاری یک در میان**
- ***Zea mays***
- **محتوای رطوبت نسبی**
- **آبسیزیک اسید**
- **محتوای کلروفیل**

مقدمه خشکی تولیدات کشاورزی را در بسیاری از بوم‌سازگان‌های زراعی محدود می‌کند. بسیاری از گیاهان زراعی از جمله ذرت، نیاز آبی بالا دارند و در عین حال در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایران، فراهمی آب برای بخش کشاورزی در نتیجه تغییرات آب و هوایی جهانی، آلودگی زیست محیطی و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی، در حال کاهش می‌باشد. بنابراین، تأکید عمده‌ای روی مدیریت آب و افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان وجود دارد.[۴] کم آبیاری منظم و خشک کردن ناحیه‌ای ریشه دو روش آبیاری در جهت کاهش تقاضای برای آب در بخش کشاورزی به شمار می‌روند که سبب صرفه‌جویی در حدود ۷۰-۵۰٪ در مصرف آب شده و بر خلاف روش‌های کم آبیاری، این روش‌ها می‌توانند وضعیت آب در گیاه را در مقایسه با گیاهانی که به طور کامل آبیاری شده‌اند، بدون هیچ گونه اثر زیان آوری بر عملکرد، در یک وضعیت مشابه قرار داده و کارآیی مصرف آب را در بسیاری از گیاهان افزایش دهند.[۱۳] خشک کردن ناحیه‌ای ریشه روشی است که منطقه ریشه را با مقدار آبی کمتر از مقدار تبخیر و تعرق بالقوه و با حداقل تنش که کمترین تاثیر را بر عملکرد دارد، به طور کامل آبیاری کند. خشک کردن ناحیه‌ای ریشه یک روش توسعه یافته از کم آبیاری منظم است. با استفاده از روش خشک کردن ناحیه‌ای ریشه نصف منطقه ریشه گیاه آبیاری می‌شود، در حالی که به نیمه دیگر اجازه داده می‌شود تا به تدریج خشک شود.[۱۶] در مقایسه با روش کم آبیاری منظم، اجرای روش خشک کردن ناحیه‌ای ریشه که تنها نیازمند سازگار کردن سیستم آبیاری به مرطوب شدن و خشک شدن متناوب است، ساده‌تر می‌باشد. هر دو روش بر اساس درک واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان به ذخیره و کمبود آب می‌باشد.[۲۷] روش خشک کردن ناحیه‌ای ریشه بر اساس دانش ما از ارسال پیام‌های شیمیایی ریشه به ساقه می‌باشد. آبیاری بخشی از سیستم ریشه‌ای، برگ‌ها را در حالت آبدار و شاداب نگه می‌دارد، اگر چه قرار گرفتن بخش باقیمانده ریشه‌ها در شرایط خشکی باعث ساخت و انتقال پیام‌های شیمیایی از ریشه‌ها به ساقه از طریق آوند چوبی شده و در نتیجه آن، کاهش باز شدن روزنه و رشد برگ را ایجاد می‌کند.[۶] این پیام‌های مخلوط ریشه باعث ایجاد محدودیت در باز شدن روزنه‌ها برای محدود کردن از دست رفتن بخار آب، بدون ایجاد یک محدودیت شدید در ورود دی‌اکسیدکربن می‌شود. نتیجه آن یک عملکرد معقولانه مناسب، با توجه بر ذخیره آب و کارایی مصرف آب بالاتر که اهمیت فوق‌العاده در مناطقی که منابع آبی محدود است دارد، می‌باشد.[۹] پاک‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰) با اعمال تنش خشکی و نیز اعمال روش آبیاری به دو روش آبیاری تمام ردیف‌های کاشت و آبیاری یک در میان ردیف‌های کاشت در دو هیبرید ذرت گزارش کردند که در شیوه آبیاری به صورت تمام ردیف-های کاشت، هیبرید SC647 رقم موفق تری بود. ولی در روش آبیاری یک در میان هیبرید SC704 عملکرد بیشتری را تولید کرد نمود.[۳۱] *خواجه عبداللهی و سپاسخواه (۱۹۹۶)* کاربرد سه روش آبیاری جوی‌چه‌ای معمولی، جوی‌چه‌ای یک در میان ثابت و متناوب با سه دور آبیاری ۴، ۷ و ۱۱ روزه را در ذرت رقم SC704 بررسی و گزارش کردند که تیمار آبیاری جوی‌چه‌ای یک در میان متناوب با دور آبیاری ۴ روزه اقتصادی‌ترین روش از لحاظ مصرف آب و نیز عملکرد دانه ذرت بود.[۲۱] آبیاری جویچه‌ای یک در میان در زراعت سویا در آمریکا باعث شد تا آب مصرفی به میزان ۴۶٪ نسبت به روش معمول آبیاری کاهش یابد، بدون آنکه میزان عملکرد محصول کاهش نشان دهد.[۲۰] *موسوی و همکاران* (۲۰۱۰) نشان دادند که با اعمال آبیاری به روش خشک کردن ناحیه‌ای ریشه راندمان کاربرد آب دو برابر شد، در حالی که با کاهش میزان آب به نصف، عملکرد دانه فقط ۹٪ کاهش یافت.[۲۹] پتاسیمِ قابل دسترس خاک یکی از مؤثرترین عوامل تعیین کننده عملکرد دانه ذرت است.[۸] مقدار برداشت پتاسیم توسط ذرت حتی از

نیتروژن بیشتر است. این گیاه در روز حدود ۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم برداشت می‌کند که این مقدار برداشت در مقایسه با برداشت پتاسیم توسط بسیاری از گیاهان نسبتاً بالا است.[۲۲] پتاسیم علاوه بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری، کم آبی، انواع تنش‌ها و آفات و بیماری‌ها گردیده و کارایی مصرف آب و کود را افزایش می‌دهد.[۲۳] *فوشینگ (۲۰۰۶)* گزارش کرد که در گیاهانی که به خوبی با کود پتاسیم تغذیه شده بودند آب کمتری از برگ‌های آنها از دست رفت.[۱۴] *عبدالله و عبدالوهاب (۱۹۹۵)* عنوان کردند که در شرایط تنش آبی و محدود بودن آب مصرفی به ازای افزودن ۱۵۰ میلی‌گرم کود پتاسیمی در هر کیلو گرم خاک، افزایشی معادل ۴۹٪ تولید به دست آمد.[۱] *ذنگ و براون (۲۰۰۰)* گزارش کردند که روند افزایش محصول ذرت توسط پتاسیم در سال‌های خشک ۴۸۰۰ کیلوگرم، در سال‌های عادی ۴۹۰۰ کیلوگرم و در سال‌های پر باران ۵۴۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین این محققان اعلام نمود که در شرایط خشکی، روند جذب پتاسیم جهت افزایش مقاومت گیاه به شرایط کمبود آب، شدت بیشتری از خود نشان می‌دهد.[۴۰]

هدف از این آزمایش تعیین اثر شیوه‌های مختلف آبیاری و مصرف کود پتاسیمی بر عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و میزان آبسیزیک اسید و برخی دیگر از ویژگی‌های فیزیولوژیک در ذرت بود.

مواد و روش‌ها این آزمایش در منطقه رامهرمز در سال زراعی۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. شهرستان رامهرمز با ۴۲۵۷ کیلومتر مربع مساحت در شرق استان خوزستان منطقه با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰ متر قرار دارد و از نوع اقلیم گرم و خشک می‌باشد. بر اساس نتایج تجزیه مرکب خاک، بافت خاک لومی رسی، pH=۷/۵۷، EC= ۴/۶ و میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب ۵/۷ و ۱۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی ذرت رقم SC500 اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری به صورت آبیاری کامل به عنوان شاهد (با استفاده از درصد رطوبت وزنی خاک قبل از هر آبیاری)، آبیاری یک در میان ثابت و آبیاری یک در میان متغیر و کرت‌های فرعی شامل مصرف مقادیر ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم بود. برای اعمال تیمارهای آبیاری یک در میان ثابت و متغیر، نوارهایی را که در آن‌ها آبیاری نمی‌بایست صورت گیرد با استفاده از شیرفلکه‌های کوچکی بسته و نوارهایی را که آبیاری بایستی صورت می‌گرفت، باز نگه داشته شد. این آزمایش در مساحتی به وسعت ۱۵۶۱ متر مربع با ۲۷ کرت به اجرا درآمد که هر کرت آزمایش به مساحت ۴۲ متر مربع به ابعاد ۵/۲۵ × ۸ متر شامل هفت خط کشت با فاصله بین خطوط ۷۵ و ۷۵ و روی خطوط ۲۰ سانتی‌متری بود. فاصله کرت‌های اصلی، کرت‌های اصلی و بلوک‌ها از هم به ترتیب ۲، ۱/۵ و ۱/۵ متر بود. زمین مورد آزمایش در سال قبل آیش بود و عملیات تهیه زمین شامل شخم به عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر در پاییز سال قبل و عملیات دیسک و تسطیح زمین در بهار سال بعد و سپس ایجاد جوی پشته بود. پس از آماده نمودن زمین مورد آزمایش بذور به صورت دستی با فواصل ذکر شده در عمق حدود ۵ سانتی‌متری کشت شد. بر اساس نتایج آزمایش خاک محل آزمایش، کود سوپرفسفات تریپل به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان شخم بر اساس مساحت زمین مورد نظر به خاک داده شد. مقادیر کود سولفات پتاسیم در زمان کاشت به صورت نواری در زیر خاک قرار گرفت. کود اوره نیز بر اساس نتایج آزمایش خاک محل آزمایش به مقدار ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم در زمان کاشت و بقیه در دو مرحله ۸ و ۱۲ برگی به صورت سرک به زمین داده شد. آبیاری کلیه

کرت‌ها به صورت قطره‌ای با استفاده از نوارهای پلاستیکی با فاصله نازل‌های ۲۰ سانتی‌متر و قابلیت تحمل فشار ۲۰ اتمسفر انجام شد. حجم آب ورودی به کرت‌ها با استفاده از کنتور محاسبه و تنظیم گردید.

جهت تعیین رطوبت خاک برای برنامه‌ریزی آبیاری با نمونه‌برداری به صورت روزانه از خاک به وسیله متهٔ نمونه‌برداری، درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری با استفاده از فرمول ذیر به دست آمد.[۴]

$$\theta m = \frac{\text{Wet soil} - \text{Dry soli}}{\text{Dry soil}} \times 100$$

که در آن θm درصد رطوبت وزنی، wet soil وزن خاک مرطوب، dry soil وزن خاک خشک می‌باشد. میزان آب آبیاری نیز با استفاده از فرمول زیر مورد محاسبه قرار گرفت.[۴]

$$\frac{(Fc - \theta m) \times \rho_b \times D\ root\ \times A}{E_i}$$

که در آن V حجم آب آبیاری، FC درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت رطوبت مزرعه، θm درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρ_b وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، A مساحت آبیاری شده بر حسب متر مربع، D_{root} عمق توسعه ریشه بر حسب متر و E_i راندمان آبیاری بود که در این آزمایش با توجه به آبیاری قطره‌ای، ۹۰٪ در نظر گرفته شد.[۵] پس از برداشت، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. برای اندازه گیری محتوای رطوبت نسبی از هر واحد آزمایشی تعداد دو عدد برگ انتخاب و قطعه‌ای به ابعاد ۴ × ۴ سانتی‌متر از وسط هر برگ جدا شده و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال و وزن تر آن با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی در آب مقطر قرار داده شده و سپس روی دستمال کاغذی خشک و دوباره توزین شدند و به این ترتیب وزن اشباع برگ‌ها به دست آمد.[۳۴] در نهایت، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون نگهداری و سپس وزن خشک آنها تعیین گردید. درصد رطوبت نسبی برگ با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} \times 100$$

FW= وزن تر برگ، DW= وزن خشک برگ، SW= وزن اشباع برگ

راندمان مصرف آب با استفاده از معادله که در آن Y= عملکرد گیاه و WU= میزان آب مصرفی محاسبه شد.[۲۴]

$$WUE = \frac{Y}{WU}$$

اندازه‌گیری آبسیزیک اسید در برگ با استفاده از روش *یوکوتا و همکاران* (۱۹۹۴) به دست آمد.[۳۹] عملکرد دانه در مساحت ۱/۵ متر مربع (شامل ۱۰ بوته) محاسبه و محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه SPAD-520 و درصد پروتئین دانه با روش کجلدال به دست آمد.

داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار کامپیوتری MSTAT C تجزیه واریانس و میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کارآیی مصرف آب و آب آبیاری

بالاترین کارایی مصرف آب با ۱/۲۹ کیلوگرم دانه بر متر مکعب در تیمار آبیاری یک در میان متغیر و کمترین کارایی مصرف آب نیز با متوسط ۱/۰۸ کیلوگرم دانه بر متر مکعب در تیمار آبیاری کامل به دست آمد. این شاخص در تیمار آبیاری یک در میان ثابت برابر با ۱/۲ کیلوگرم دانه بر متر مکعب بود (جدول ۱). مصرف آب تا ۵۰ و ۵۵٪ به ترتیب در تیمار آبیاری یک در میان ثابت و یک در میان متغیر در مقایسه با گیاهانی که به طور کامل آبیاری شده بودند، کاهش یافت. کارآیی مصرف آب آبیاری از ۱/۱۳ کیلوگرم دانه بر

متر مکعب در تیمار آبیاری کامل تا ۱/۴۳ کیلوگرم دانه بر متر مکعب در تیمار آبیاری یک در میان ثابت، متغیر بود. در تمام موارد، مقادیر کارآیی مصرف آب آبیاری در تیمارهای کم آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل، بالاتر بود. به طور کلی کارآیی مصرف آب آبیاری با کاهش مقدار آب مصرفی، افزایش یافت.

آب مصرفی به طور نسبی با کاربرد کود پتاسیم کاهش یافت (جدول ۱). بالاترین کارآیی مصرف آب و کارآیی مصرف آب آبیاری با متوسط ۱/۵۸ و ۱/۸۱ کیلوگرم دانه بر متر مکعب در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم به دست آمد و کمترین آن نیز با میانگین ۰/۶۸ و ۰/۷۴ کیلوگرم دانه بر متر مکعب مربوط به تیمار عدم مصرف این کود بود (جدول ۱و۲). *دیویس و هارتونگ* (۲۰۰۴) بیان کردند که وقتی سیستم ریشه‌ای در معرض خاک خشک قرار می گیرد، با ارسال پیام‌های شیمیایی واسطه‌ای آبسیزیک اسید به برگ‌ها برای بسته شدن روزنه‌ها و کاهش از دست رفتن آب، واکنش نشان می‌دهد.[۹] علاوه بر اعمال شیوه کم آبیاری برای بالا بردن راندمان مصرف آب، گزارش شده است که پتاسیم باعث بهبود عملکرد در شرایط کمبود رطوبت می‌گردد، زیرا تجمع پتاسیم در آوندهای چوبی، پتانسیل اسمزی شیره خام را کاهش می‌دهد.[۳۸] همچنین غلظت زیاد یون پتاسیم در سلول‌های مزوفیل، پتانسیل اسمزی آنها را کاهش می‌دهد، بر مصرف آب دارد.[۲۱]

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه ذرت نشان داد که در بین تیمارهای آبیاری، اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). به طوری که تیمارهای برخوردار از آبیاری کامل، بالاترین عملکرد دانه را نسبت به دو روش دیگر داشت (جدول ۱و۲). بالاترین عملکرد دانه با میانگین ۱۱۶۵۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری کامل و کمترین آن با میانگین ۸۶۵۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری یک در میان ثابت، یعنی زمانی که آب مصرفی به میزان ۵۰٪ کاهش یافت، بود. تیمار آبیاری یک درمیان متغیر و یک در میان ثابت به طور معنی‌داری باعث

جدول ۲ –تجزیه واریانس و اثر متقابل شیوه‌های مختلف آبیاری و کود پتاسیم بر کارایی مصرف آب و صفات مختلف فیزیولوژیک

Table 2) ANOVA and interaction of irrigation methods and potassium fertilizer application effect on water use efficiency and corn physiological traits

Irrigation methods	potassium fertilizer (kg ha^{-1})	water use (m^3 ha^{-1})	water use efficiency (kg grain m^{-3})	irrigation water use efficiency (kg grain m^{-3})	chlorophyll content	grain yield (kg ha^{-1})	grain protein (%)	protein yield (kg ha^{-1})
Full irrigation	0	10228	0.89 c	0.94 c	20.12	9096 c	8.71	792 c
	150	9348	1.20 b	1.29 b	23.70	10969 b	9.30	1020 a
	300	9206	1.34 a	1.47 a	21.78	11597 a	9.29	1077 a
Variable irrigation	0	8950	0.99 c	1.09 b	19.07	7758 c	9.14	7090 c
	150	7370	1.31 a	1.44 a	22.75	9632 b	9.73	9371 b
	300	7228	1.44 a	1.62 a	20.83	10460 a	9.71	1015 a
Fixed irrigation	0	8370	0.95 c	0.98 c	19.17	7598 c	9.26	7035 c
	150	7490	1.26 b	1.39 a	22.84	9471 b	9.85	9328 b
	300	7348	1.40 a	1.57 a	20.93	10299 b	9.82	1011 a
Irrigation (I)		**	**	*	ns	*	*	*
Potash fertilizer (P)		*	*	*	*	**	*	*
I × P		ns	*	*	ns	*	ns	*
C.V. (%)		7.31	12.18	21.22	18.71	12.18	18.71	19.26

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ می‌باشند.

ns * and **: non-significant, significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

کاهش در عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۳۰ و ۳۵٪ در مقایسه با تیمار آبیاری کامل گردید. عملکرد دانه در تیمار آبیاری یک در میان ثابت، ۵٪ از تیمار آبیاری یک در میان متغیر کمتر بود. بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار با میانگین ۱۱۹۴۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن با میانگین ۶۵۴۲ کیلوگرم در شاهد به دست آمد (جدول ۱). سطوح مصرفی ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در یک گروه آماری قرار گرفتند. کود پتاسیم در تیمارهای ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را به ترتیب ۵۶ و ۸۲٪ نسبت به شاهد افزایش داد. کاربرد کود پتاسیم در تیمارهای کم آبیاری یک در میان ثابت و یک در میان متغیر عملکرد دانه را نسبت به کاربرد این کود در تیمار آبیاری کامل، به میزان بیشتری افزایش داد (جدول ۲). تیمار آبیاری کامل در بالاترین میزان کود پتاسیم عملکرد دانه را ۲۵٪ افزایش داد، در حالی که در تیمار آبیاری یک در میان متغیر در همان سطح کود پتاسیم، عملکرد دانه ۳۵٪ افزایش یافت. در آبیاری یک در میان متغیر و یک در میان ثابت که در آنها مصرف آب آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل به نصف می‌رسید، آب مورد استفاده به ترتیب ۳۹ و ۳۵٪ نسبت به تیمار آبیاری کامل، کاهش یافت، اما از طرف دیگر در تیمارهای آبیاری یک در میان ثابت و یک در میان متغیر عملکرد ذرت در مقایسه با تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۳۰ و ۳۵٪ کاهش نشان داد. در این آزمایش هر دو شیوه آبیاری یک در میان ثابت و یک در میان متغیر به طور مؤثری آب مصرفی را کاهش داده و منجر به ذخیره آب گردیدند. گزارش شده است که با اعمال شیوه آبیاری یک در میان، راندمان کاربرد آب دو برابر می‌شود، در حالی که با کاهش میزان آب به نصف و عملکرد دانه فقط ۹٪ کاهش می‌یابد.[۲۹] در این آزمایش نیز ملاحظه گردید که با کاهش میزان آب مصرفی به نصف، عملکرد دانه ۱۴٪ کاهش می‌یابد. انگلیش و همکاران (۱۹۹۲) بیان داشتند که ارزش و منفعت اقتصادی ناشی از کاهش در میزان آب مصرفی بسیار بیشتر از کاهش در عملکرد دانه می‌باشد. به عبارت دیگر، کاهش در میزان آب آبیاری، زمانی که قیمت آب بالا باشد و یا محدودیت منابع آبی وجود داشته باشد، می‌تواند منجر به افزایش سود شود.[۱۲]

یکی از عواملی که بر پویایی پتاسیم به صورت‌های مختلف آن اثر می‌گذارد، خشک و مرطوب شدن خاک می‌باشد. پتاسیم در خاک به صورت‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی یا تثبیت شده وجود دارد و قابلیت استفاده آن برای گیاه بستگی به پویایی موجود بین این صورت‌های مختلف دارد.[۷] در آزمایشی نشان داده شد که کاربرد

جدول ۱- اثر شیوه‌های مختلف آبیاری و مصرف کود پتاسیم بر کارایی مصرف آب و صفات مختلف فیزیولوژیک ذرت

Table 1- Effect of irrigation methods and potassium fertilizer application on water use efficiency and corn physiological traits

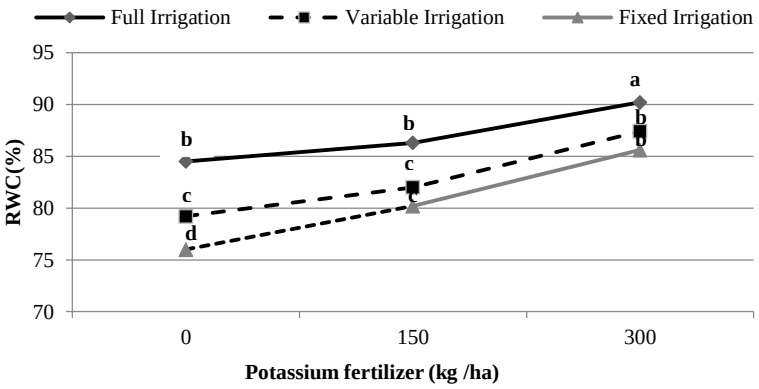
Treatment	water use (m^3 ha^{-1})	water use efficiency (kg grain m^{-3})	irrigation water use efficiency (kg grain m^{-3})	chlorophyll content	grain yield (kg ha^{-1})	grain protein (%)	protein yield (kg ha^{-1})
Irrigation methods							
Full irrigation	10870 a	1.08 b	1.13 b	22.25 a	11650a	8.85 b	1031a
Variable irrigation	6914 b	1.29 a	1.43 a	20.35 a	8975b	9.71a	871 b
Fixed irrigation	7154 b	1.20 a	1.32 a	20.54 a	8654b	9.95 a	861 b
Potassium (kg ha^{-1})							
0	9587a	0.68 c	0.74 c	17.80 c	6542 b	8.57 b	560 b
150	7826 b	1.31 b	1.45 b	25.14 a	10289 a	9.76 a	1004 a
300	7542 b	1.58 a	1.81 a	21.32 b	11945 a	9.75 a	1164 a

Same letters in columns are not significantly different at $p \leq 0.05$. حروف مشابه در ستون‌ها در سطح ۵٪ معنی‌دار نیستند.

کود پتاسیم به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه ذرت را به میزان ۲۰٪ نسبت به شاهد افزایش می‌دهد.[۲۲] چنان که در آزمایش حاضر نیز مشخص گردید که افزایش در میزان مصرف کود پتاسیم، عملکرد دانه ذرت را به میزان چشمگیری و در حدود ۸۰٪ افزایش داد (جدول ۱).

درصد و عملکرد پروتئین دانه

هر دو تیمار روش‌های مختلف آبیاری و مصرف کود پتاس تأثیر معنی‌داری بر درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه داشتند (جدول ۱و۲). درصد پروتئین دانه به ترتیب در تیمارهای آبیاری ثابت و متغیر ۱۰ و ۱۳٪ نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش یافت (جدول ۱). برخلاف درصد پروتئین دانه، عملکرد پروتئین دانه در دو تیمار آبیاری فوق نسبت به تیمار آبیاری کامل کاهش یافت، که این عامل ناشی از کم بودن عملکرد دانه در این دو تیمار نسبت به آبیاری کامل بود (جدول ۱). کود پتاسیم درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه را به ترتیب ۱۴ و ۵۰٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۱). هرچند بین تیمارهای ۳۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. *روبیول و همکاران* (۲۰۰۹) با کاربرد ۵ سطح کود پتاسیم در گندم گزارش گردند که بالاترین میزان پزوتئین دانه در بالاترین میزان مصرف کود پتاسیم به دست آمد. به طوری که میزان پروتئین دانه ۶/۸۶٪ نسبت به عدم کاربرد آن بیشتر بود.[۳۳] *مرشدی و فرح بخش* (۲۰۱۰) نیز با کاربرد سطوح مختلف پتاسیم در گندم گزارش کردند که میزان پروتئین دانه در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود پتاسیم نسبت به تیمار شاهد، ۲۱٪ افزایش یافت.[۲۸] *گاردنر و همکاران* (۱۹۸۴) بیان داشتند که پتاسیم



شکل۱- محتوی رطوبت نسبی برگ بلال تحت تأثیر کود پتاسیم و روشهای مختلف آبیاری

Fig. 1. Relative water content of ear leaf affected by potassium fertilizer and irrigation methods

عامل ساخته شدن هیدرات‌های کربن بوده و در انتقال مواد غذایی، حرکت مواد قندی در بافت‌های گیاهی، نشاسته و ساخته شدن پروتئین‌ها کاربرد دارد.[۱۵]

محتوای رطوبت نسبی

محتوای رطوبت نسبی به طور معنی‌داری در گیاهانی که در شرایط کم آبیاری قرار گرفته بودند نسبت به گیاهان رشد یافته در شرایط مطلوب رطوبتی، پایین‌تر بود. کاربرد کود پتاسیم محتوی رطوبت نسبی را در هر شرایط رطوبتی با حداکثر تأثیر بر تیمار ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم افزایش داد. بالاترین کاربرد کود پتاس محتوای رطوبت نسبی را در شرایط مطلوب رطوبتی ۹ و در تیمارهای آبیاری یک در میان ثابت و متغیر به ترتیب ۱۱ و ۱۵٪ افزایش داد (شکل ۱).

اهمیت ارسال پیام‌های شیمیایی در تنظیم باز و بسته شدن روزنه و رشد برگ و میوه توسط چندین محققین [۱۶،۳۶،۳۷] در روش خشک کردن ناحیه‌ای ریشه مورد تأکید قرار گرفته است. در این روش، ریشه‌هایی که در خاک خشک قرار دارند به تولید پیام‌های شیمیایی، مانند افزایش ساخت و انتقال اسید آبسیزیک به اندام‌های هوایی، ادامه می‌دهند که این پیام شیمیایی در کنترل کارآیی

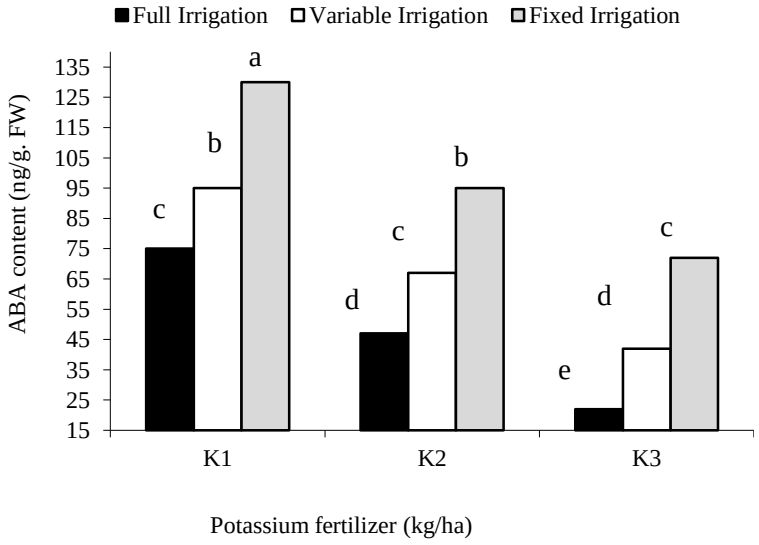
مصرف آب در شرایط کمبود آب خاک یا هوا نقش دارد. *افکاری باجه‌باج و همکاران* (۲۰۰۹) گزارش کردند که در گیاهانی که به خوبی با کود پتاسیم تغذیه شده بودند، آب کمتری از برگ‌های آنها از دست رفت.[۳]

محتوای کلروفیل

اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری در محتوای کلروفیل مشاهده نگردید (جدول ۱). مقایسه میانگین همچنین نشان داد که کاربرد کود پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین میزان کلروفیل را در برگ بلال ایجاد کرد و کاربرد بیشتر از این مقدار، محتوای کلروفیل را کاهش داد. *اوستراوس و بدنارز* (۱۹۹۷) گزارش کردند که کلروفیل a و غلظت کلروفیل کل در پنبه با کمبود پتاسیم، کاهش یافت.[۳۰] *لمرانی و همکاران* (۱۹۹۶) گزارش کردند که تشکیل کلروفیل a و b، با کاربرد کود پتاسیم در گیاه خیار، افزایش یافت.[۲۵] همچنین پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردند که مقدار کافی از عنصر پتاسیم غلظت کلروفیل گیاه را افزایش داد.[۲،۱۱،۲۶] تیمار شاهد نیز با اختلاف زیاد با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار، کمترین میزان را در محتوای کلروفیل برگ ایجاد کرد. بنابراین کاربرد کود پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار محتوی کلروفیل را ۴۲ و ۱۸٪ نسبت به تیمار ۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم، افزایش داد.

محتوای آبسیزیک اسید

در تیمار آبیاری کامل، میزان آبسیزیک اسید در برگ بلال در هر سطح از کود پتاسیم کمترین بود (شکل ۲). بالاترین میزان آبسیزیک اسید (حدود ۶ برابر تیمار شاهد) مربوط به تیمار آبیاری یک در میان ثابت بود. کاربرد کود پتاسیم محتوای آبسیزیک اسید را در تمام تیمارهای آبیاری کاهش داد. به طوری که متوسط غلظت آبسیزیک اسید در تیمارهای ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار به ترتیب برابر با ۴۵، ۷۵ و ۱۰۰ نانوگرم بر گرم وزن تر برگ بلال بود. در یک مطالعه، کمبود آب در منطقه ریشه تا ۴۰ برابر غلظت آبسیزیک اسید بافت برگ را افزایش داد.[۲۷] *هیدر و برینگر (۱۹۸۱)* یک افزایش ناچیز را در محتوای آبسیزیک اسید دانه و مقدار بیشتری را در برگ پرچم گندم که دچار کمبود کود پتاسیم بودند مشاهده کردند.[۱۷] گزارش‌های دیگری نشان داد که میزان آبسیزیک اسید تجمع یافته در گیاهانی که دچار کمبود پتاسیم بودند در ریشه-چه بیشتر از ساقه‌چه بود.[۳۲،۳۵] همچنین، گزارش شده است که آبسیزیک اسید تولید شده ناشی از تنش آب، باعث تولید پراکسید هیدروژن در برگ‌های گیاه ذرت شده است.[۱۸،۱۹] *داد و همکاران* (۱۹۹۶) گزارش کردند که زمانی که آبیاری به روش یک در میان برای یک گیاه به کار می‌رود، یک سیستم



شکل ۲- محتوای آبسیزیک اسید برگ بلال ذرت تحت تأثیر کود پتاسیم و روش‌های مختلف آبیاری

Fig. 2. Abscisic acid content of corn ear leaf affected by potassium fertilizer and irrigation methods

معمولی ارسال پیام از ریشه به ساقه که در خاک‌های با کمبود آب عمل می کند، تغییر می‌کند، چرا که خشک شدن نصف سیستم ریشه باعث آزادسازی آبسیزیک اسید و متعاقب آن کاهش باز شدن ریشه می‌شود، در حالی که نصف دیگر ریشه مملو از آب، وضعیت مطلوب آبی را در تمام بخش‌های بالایی حفظ می‌کند.[۱۰]

نتیجه‌گیری کلی شیوه آبیاری یک در میان متغیر و یک در میان ثابت، آب مورد استفاده در این دو تیمار را به ترتیب ۳۹ و ۳۵٪ نسبت به تیمار آبیاری کامل، کاهش داد. همچنین، اعمال آبیاری یک در میان ثابت و یک در میان متغیر عملکرد ذرت را نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۳۰ و ۳۵٪ کاهش داد. بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری یک در میان متغیر و آبیاری کامل به دست آمد. کاربرد کود پتاسیم در تیمارهای کم آبیاری، عملکرد دانه را نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش و مصرف آب و محتوای آبسیزیک اسید را کاهش داد. کاربرد کـــود پـــتاسیم، محتوای رطوبت نسبی را نیز در هر سه سطح رطوبتی بهبود بخشید و بیشترین تأثیر در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم به دست آمد. در مجموع، هر چند آبیاری یک در میان، چه به صورت متغیر و چه ثابت باعث کاهش در عملکرد دانه ذرت گردید، اما با توجه به این که میزان آب مصرفی را کاهش داده و نیز موجب افزایش بیشتر در کارایی مصرف آب گردید، در شرایطی که کمبود آب در منطقه وجود داشته باشد، می‌تواند روش مناسبی برای آبیاری ذرت در مقایسه با شیوه آبیاری کامل باشد.

References

1. Abdallah B, Abdel Wahab K (1995**)** Response of nitrogen fixation, nodule activities, and growth to potassium supply in water stressed broad bean. Journal of Plant Nutrition 18 (7): 1391-1402.
2. Adebusoye O, Ping'an J, Sina A (2012) Phosphorus, potassium and phytohormones promote chlorophyll production differently in two cotton (*Gossypium hirsutum*) varieties grown in hydroponic nutrient solution. Journal of Agricultural Science 4 (2): 157-166.
3. Afkari Bajehbaj A, Qasimov N, and Yarina M (2009) Effect of drought stress and potassium on some of the physiological and morphological traits of sunflower (*Helianthus annus* L.) cultivars. Journal of Food Agriculture and Environment 7(3&4):448-451.
4. Alizadeh A (2002) Water, soil and plant relationship. Astan Ghods Razavi Press. 3rd Edition, 353 p (in Persian).
5. Ansari H, Sharifiyan H, Davari K (2010) Principle and operation of irrigation. Mashhad Jahad Daneshgahi Press, 316 p. (in Persian).
6. Bacon MA (2003) Partial root-zone drying: A sustainable irrigation system for efficient water use without reducing fruit yield. The Lancaster Environmental Centre, Lancaster University Press, 400 p.
7. Cakmak I (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutritionand Soil Science 168: 521-530.
8. Castleberry RM, Crum CW (1984) Genetic yield improvement of U.S maize cultivars under varying fertility and climate environment. Crop Science 24:33-36.
9. Davies WJ, Hartung W (2004) Does extrapolation from biochemistry to crop functioning worked to sustain plant production under water scarcity? Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Sep. 26 - Oct. 1, 2004, Brisbane, Australia.
10. Dodd IS, Stikis R, Davies WJ (1996) Chemical regulation of gas exchange and growth of plants in drying soil in the field. Journal Experimental Botany 47: 1475-1490.
11. Duli Z, Oosterhuis DM, Bednarz CW (2001) Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content and chloroplast ultrastructure of cotton plants. Photosynthetica 39 (1): 103-109.
12. English MJ, Musick JT, Mutry VVN (1992) Deficit irrigation. Pp: 361- 393. In: Howell, J.G., and Solomons, K.H. Management of Farm Irrigation Systems. ASCE Publication, New York, USA.
13. FAO Production Year Book (2002) Food and Agriculture Organization of United Nation, Rome, Italy, 51: 209P.
14. Fusheing L (2006) Potassium and water interaction. International Workshop on Soil Potassium and K Fertilizer Management. Agricultural College Guangxi University 1-32.

15. Gardner FP, Brent R, Roger LM (1984) Physiology of crop plant. Iowa State, 1st Edition, 205 p.
16. Gowing DJ, Davies WJ, Jones HG (1990) A positive root-sourced signal as indicator of soil drying in apple *Malus domestica* Borkh. Journal Experimental Botany 41: 1535-1540.
17. Haeder HE, and Beringer H (1981) Influence of potassium nutrition and water stress on the content of abscisic acid in grains and flag leaves of wheat during grain development Journal Science Food Agriculture 32: 522-526.
18. Hu X, Zhang A, Zheng J, Jiang M (2006) Abscisic acid is a key inducer of hydrogen peroxide production in leaves of maize plants exposed to water stress. Plant Cell Physiology 47:1484-1485.
19. Jiang M, Zhang J (2002) Involvement of plasma-membrane NADPH oxidase in abscisic acid and water stress induced antioxidant defence in leaves of maize seedlings. Planta 215: 1022-1030.
20. Kang SZ, Shi P, Pan YH, Liang ZS, Hu XT, Zhang J (2000) Soil water distribution, uniformity and water use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. Irrigation Science 19(4): 181-190.
21. Khajeh Abdollahi MH, Sepaskhah A (1996) Economic study on alternative furrow irrigation with different periods on corn. 1st Symposium of Economic Application of Water, Tehran, 1996, 156 p. (in Persian).
22. Kogbe JOS, Adediran JA (2003) Influence of nitrogen and phosphorus and potassium application of the yield of maize in the Savanna zone Nigeria. African Journal of Biotechnology 2:345-349.
23. Khogar Z, Arshad K, Malakoti MJ (2000) Effects of optimum fertilization in increasing of tomato. Agricultural Education Press 150 p (in Persian).
24. Kröbel R, Campbell CA, Zentner RP, Lemke R, Steppuhn H, Esjardins RLD, De Jong R (2012) Nitrogen and phosphorus effects on water use efficiency of spring wheat grown in a semi-arid region of the Canadian prairies. Canadian Journal of Soil Science, 92(4): 573-587.
25. Lamrani Z, Belakbir A, Ruiz JM, Ragala L, Lopez-Cantarero I, Romero L (1996). Influence of nitrogen, phosphorus, and potassium on pigment concentration in cucumber leaves. Community Soil Science Plant Annals 27: 1001-1012.
26. Maples R, Thompson WRJ, Varvil J (1988). Potassium deficiencies in cotton takes on a new look better. Crops Plant Food 73:6-9.
27. Morison JIL, Baker NR, Mullineaux PM, Davies WJ (2008) Improving water use in crop production. Philosophical Transaction Royal Society 363: 639–658.
28. Morshedi A, Farahbakhsh H (2010) Effects of potassium and zinc on grain protein contents and yield of two wheat genotypes under soil and water salinity and alkalinity stresses. Plant Ecophysiology 2: 67-72.
29. Mousavi SF, Soltani-Gerdefaramarzi S, Mostafazadeh-Fard B (2010) Effects of partial rootzone drying on yield, yield components, and irrigation water use efficiency of canola. Water and Environment 8: 157-163.
30. Oosterhuis DM, Bednarz CW (1997) Physiological changes during the development of potassium deficiency in cotton. p. 347–351. In T. Ando *et al.*, (ed.) Plant nutrition for sustainable food production and environment. Kluwer Academic Publication, Dordrecht, the Netherlands.
31. Paknezhad F, Vazan S, Ajali J, Mirakhori M, Nasri M (2010) Effect of drought stress and irrigation methods on yield and yield components of two corn hybrids. Journal of New Science Agriculture 6(18): 17-26 (in Persian).
32. Peuke AD, Jeschke WD, Hartung W (2002) Flows of elements, ions and abscisic acid in *Ricinus communis* and site of nitrate reduction under potassium limitation. Journal Experimental Botany 53: 241-250.
33. Robiul Alam M, Akkas Ali M, Molla MSH, Momin MA, Mannan MA (2009) Evaluation of different levels of potassium on the yield and protein content of wheat in the high Ganges river floodplain soil. Bangladesh Journal Agriculture Research 34(1): 97-104.
34. Schlemmer MR, Francis DD, Shanahan JF, Schepers JS (2005) Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal 97: 206-212.
35. Schraut D, Hellmeler H, Hartung W (2005) Radial transport of water and abscisic acid (ABA) in roots of *Zea mays* under conditions of nutrient deficiency. Journal Experimental Botany 56: 879-886.
36. Stikic R, Popovic S, Srdic M, Savic D, Jovanovic Z, Prokic LJ, Zdravkovic J (2003) Partial root drying (PRD): A new technique for growing plant that saves water. Plant Physiology (special issue) 164-171.
37. Stoll M, Loveys B, Dry P (2000) Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. Journal Experimental Botany 51: 1627–1634.
38. Wiebold B, Scharf P (2006) Potassium deficiency symptoms in drought stressed crops plant stress resistance and the impact of potassium application in South China. Agronomy Journal 98: 1354-1359.
39. Yokota T, Nahayama M, Harasawa I, Kawabe S (1994) Polyamines, indole-3 acetic acid and abscisic acid in rice phloem sap. Plant Growth Regulation 15: 125-128.
40. Zeng Q, Brown PH (2000) Soil potassium mobility and uptake by corn under different soil moisture regimes. Plant and Soil 221: 121-134.

Effect of irrigation methods and potassium fertilizer on grain yield and water use efficiency on Corn

Modern Science of Sustainable Agriculture

Vol. 10, No. 1, (15-25)

Abdollah Bahrani

Department of Agriculture
Ramhormoz Branch
Islamic Azan University
Ramhormoz, Iran
Email ✉:
abahrani@iauramhormoz.ac.ir

Received: 9 June, 2013 **Accepted:** 17 March, 2014

ABSTRACT The experiment was conducted in Islamic Azad University - Ramhormoz Branch in 2011, based on a complete randomized block design as split-plot with three replications on SC500 corn cultivar. The main plots consisted of three irrigation methods including full, variable, and fixed irrigation methods. Each subplot received three rates of potassium fertilizer as 0, 150 or 300 kg ha^{-1}. The results showed that the plots received full irrigation resulted in significantly higher grain yield than other irrigation methods. The highest water use efficiency (1.29 kg m^{-3}) was obtained in variable irrigation and the lowest one (1.08 kg m^{-3}) was in full irrigation. Potassium application increased relative water content and grain protein percentage in variable irrigation and fixed irrigation than full irrigation treatment. Full and fixed irrigation treatments produced the lowest and the highest abscisic acid concentration at any potassium levels. Considering that the alternative irrigation method, whether variable or fixed, decreased used water and also increased water use efficiency, therefore using mentioned irrigation method can be a suitable method in deficit water condition and high water cost, could be better than full irrigation method in corn in this region.

Keywords:
- regular deficit irrigation
- alternative irrigation
- *Zea mays*
- relative water content
- abscisic acid
- chlorophyll content