دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات
سال چهارم/ شماره دوم/ ۱۳۹۳ (۱۳۹-۱۲۷)

اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه و انتقال مجدد ماده خشک ذرت در شرایط تنش خشکی

سمیه بیات[۱] و علی سپهری[۲*]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه بوعلی سینا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۱۸)

چکیده

اثر مواد ضد تعرق بر میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های ذرت تحت تنش رطوبتی، طی آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در سال زراعی ۱۳۸۸ در همدان بررسی شد. آبیاری شامل ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی و مواد ضد تعرق شامل سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول (به ترتیب در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به همراه شاهد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. رقم ذرت مورد مطالعه هیبرید SC500 بود و مواد ضد تعرق در دو زمان ۶ و ۸ برگی روی گیاهان پاشیده شدند. نتایج نشان داد که سالیسیلیک اسید در تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر، انتقال مجدد از ساقه و برگ را به ترتیب ۲۰/۱۵ و ۳۴/۵۹ درصد و در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، به ترتیب ۲۳/۵۵ و ۳۷/۹۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. مصرف پاکلوبوترازول نیز در تیمار ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، انتقال مجدد از ساقه را به ترتیب به میزان ۱۳/۳۳و ۱۶/۵۱ درصد و از برگ به ترتیب ۲۷/۳۸ و ۲۹/۹۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. کارایی و مشارکت انتقال مجدد مواد نیز با مصرف سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول در تیمارهای ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشتند، اما در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر، مقدار، کارایی و سهم انتقال مجدد از ساقه، برگ و برگ بلال در تیمار سالیسیلیک اسید کاهش و در تیمار پاکلوبوترازول افزایش یافت. سالیسیلیک اسید در تیمار۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر عملکرد دانه را به ترتیب ۱۵/۸۴، ۲۰/۸۲ و ۲۹/۷۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد، اما بیشترین عملکرد دانه با ۱۰۲۶۷ کیلوگرم در هکتار از محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر به دست آمد. در مقابل، پاکلوبوترازول در شرایط ۶۰ میلی‌متر تبخیر سبب کاهش عملکرد دانه و مصرف آن در ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر باعث افزایش عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۱۷/۵۲ و ۲۱/۶۵ درصد نسبت به شاهد شد. بنابراین، استفاده از مواد ضد تعرق مانند سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول برای کاهش آثار تنش کم آبی در ذرت پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، پاکلوبوترازول، تنش خشکی، ذرت، سالیسیلیک اسید

* نویسنده مسئول: sepehri2748@gmail.com

مقدمه

عملکرد دانه غلات عمدتاً تابع سه منبع کربوهیدرات شامل فتوسنتز جاری، انتقال مواد پرورده ذخیره شده قبل از گل‌دهی (عمدتاً ذخیره شده در ساقه) و مواد پرورده ذخیره شده موقت در ساقه و سایر اندام‌ها بعد از گل‌دهی است (Kobata *et al*, 2000). از آنجا که طی دوره‌ای از رشد غلات، تولید مواد فتوسنتزی در گیاه بیش از میزان مصرف آن است، در این دوره مواد مازاد در ساقه و سایر اندام‌ها به صورت کربوهیدرات غیر ساختمانی انباشته شده و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از دو تا سه هفته پس از گل‌دهی شروع می‌شود، به دانه انتقال می‌یابد (Ahmadi *et al*., 2004). در شرایط مساعد بیشترین میزان ماده خشک در گیاه، قبل از گل‌دهی تجمع می‌یابد. سهم انتقال مواد از کل اندام‌های هوایی در دوره قبل از گل‌دهی در عملکرد دانه، از ۶ تا ۷۵ درصد و تحت تنش‌های بسیار شدید تا ۱۰۰ درصد وزن دانه‌های تولید شده گزارش شده است (Bonnet and Incoll, 1992).

بلوم (Blum, 1998) گزارش کرد که نسبت سهم ذخایر ساقه به کل ماده خشک دانه ذرت یا سایر غلات بسته به شرایط و ارقام مورد استفاده بین ۶ تا ۱۰۰ درصد تخمین زده می‌شود. جرجنس و همکاران (Jurgens *et al*., 1978) اظهار داشتند که در شرایط کم آبی، ذخایر ساقه می‌تواند موجب ثبات در مقدار ماده خشک دانه شود. از سوی دیگر، در شرایط خشکی و کمبود آب، کاهش فتوسنتز از طریق انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده جبران می‌شود (Yang and Zhang, 2006). کوباتا و همکاران (Kobata *et al*., 2000) گزارش کردند که تنش خشکی با ایجاد پیری زودرس، تحرک مجدد کربوهیدرات‌های محلول ساقه را تحریک می‌کند.

گیاه ذرت همانند بسیاری از گیاهان زراعی دیگر این توانایی را دارد که در صورت مواجه با تنش‌هایی نظیر کمبود آب از طریق افزایش انتقال مجدد مواد ذخیره شده به بلال از کاهش شدید عملکرد جلوگیری نماید. پتانسیل این انتقال مجدد که یک شاخص مطلوب فیزیولوژیک محسوب می‌شود، به عوامل مختلفی از جمله شدت تنش کمبود آب، ژنوتیپ و مواد غذایی وابسته است. به عبارت دیگر در چنین شرایطی، گیاه به مواد ذخیره شده در اندام هوایی وابسته است (Lak *et al.,* 2007).

در تنش خشکی، فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه کاهش یافته و گیاه جهت تامین نیاز دانه‌ها، از مواد ذخیره شده در ساقه و برگ‌ها استفاده می‌نماید و به همین دلیل میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در تیمار آبیاری مطلوب به دلیل بالا بودن فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه، نسبت به تنش متوسط و شدید کمتر است. در مرحله پر شدن دانه، افزایش نسبت آبسیزیک اسید به سیتوکنین در برگ‌ها، کاهش دوام سطح برگ، افزایش مرگ بافت‌های گیاهی، ریزش برگ‌های پایینی بوته، افزایش میزان تنفس به علت سایه اندازی و زوال نوری، کاهش تجمع ماده خشک و افزایش انتقال مجدد در ذرت گزارش شده است (Murchie, 2002). میزان انتقال مجدد ماده خشک و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و بیشترین میزان آن با میانگین ۱۶۴/۴۲ گرم در متر مربع در تیمار تنش متوسط خشکی دیده شده است (Lak *et al*., 2007).

سالیسیلیک اسید، به عنوان یک ماده شبه هورمونی، نقش مهمی در تنظیم رشد و نمو گیاه، گلیکولیز (Klessing and Malamy, 1994)، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق (Khan *et al.,* 2003)، مقاومت در برابر تنش‌ها (Borsani, 2001)، و تولید ریشه‌های جانبی (Kling and Meyer, 1983) دارد. یاداف و کومار (Yadav and Kumar, 1998) مواد ضد تعرق استیل سالیسیلیک ۵۰۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر و آبسیزیک اسید را به میزان ۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر روی گیاه ذرت و در مراحل زمانی ۴۵ و ۸۵ (در مرحله تشکیل گل آذین نر) و ۱۰۵ روز پس از کاشت استفاده و به خاصیت ضد تعرقی سالیسیلیک اسید در گیاه ذرت تاکید کردند.

اثر پاکلوبوترازول در محافظت گیاهان در برابر تعدادی از تنش‌های محیطی مانند خشکی، دماهای بالا یا پایین، شوری و غرقابی گزارش شده است (Lin *et al.,* 2006). پاکلوبوترازول از طریق کاهش تعرق، ارتفاع، وزن خشک و سطح برگ گیاه و افزایش مقاومت روزنه‌ای، سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Fernandez *et al*., 2006).

آثار ضد تعرقی پاکلوبوترازول از طریق تأثیر بر روابط آبی و تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه نیز به اثبات رسیده است (Navarro *et al.,* 2007). همان‌طور که خشکی باعث افزایش مقدار آبسیزیک اسید می‌شود (Bano *et al.*, 1993)، پاکلوبوترازول نیز باعث تحریک تجمع آبسیزیک اسید در برگ‌ها می‌شود (Asare-Boamah *et al.,* 1986). پاکلوبوترازول با افزایش سطح آبسیزیک اسید و بستن نسبی روزنه‌ها، سبب کاهش تعرق از برگ‌های گیاه و افزایش محتوی رطوبتی گیاه می‌شود (Sreethar, 1991). علاوه بر آن، در شرایط تنش خشکی، پاکلوبوترازول در تغییر مقدار سیتوکینین‌ها موثر است (Zhu *et al*., 2004).

با توجه به آنچه که در مطالب بالا گفته شد، پژوهش حاضر به بررسی اثر سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول بر تجمع ماده خشک، مقدار، کارایی، سهم انتقال مجدد از اندام مختلف، فتوسنتز جاری، کارایی و سهم فتوسنتز جاری ذرت دانه‌ای تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. از ذرت هیبرید میان‌رس Sc-500 استفاده گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A در کرت‌های اصلی و استفاده از مواد ضد تعرق شامل پاکلوبوترازول، سالیسیلیک اسید و بدون مصرف مواد ضد تعرق، در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم عمیق و دو مرحله دیسک عمود بر هم قبل از کشت صورت پذیرفت. بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش، به صورت جوی و پشته‌ای با فاصله بوته ۱۸ سانتی‌متر روی ردیف‌های ۷۵ سانتی‌متری کشت شدند. هر کرت شامل ۵ ردیف به طول ۷ متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در ۲۲ خرداد ماه و آبیاری با لوله‌های پلی اتیلن انجام شد. در هر مرحله آبیاری حجم آب ورودی به کرت‌ها توسط کنتور برای رسیدن به ظرفیت زراعی کنترل گردید. مواد ضد تعرق در دو زمان ۶ و ۸ برگی با غلظت‌های ۰/۵ میلی مولار برای سالیسیلیک اسید و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای پاکلوبوترازول به‌صورت محلول‌پاشی استفاده شدند. محلول‌پاشی در ساعات خنک روز (قبل از ساعت ۱۰ صبح) با سمپاش پشتی موتوری اتومایزر (Cooper Pegler) و نازل بادبزنی با فشار ۰/۲ اتمسفر انجام گرفت. در طی فصل رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام پذیرفت. مصرف کودهای شیمیایی مورد نیاز بر اساس آزمون خاک شامل ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن‌دار از منبع اوره، ۱۱۸ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات و۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم بود. یک سوم از کود نیتروژن همراه با کودهای فسفات و پتاس قبل از کشت مصرف و بقیه کود نیتروژن در دو مرحله ۶-۴ برگی و قبل از ظهور گل تاجی مصرف گردید. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

از زمان ابریشم‌دهی بلال تا رسیدن دانه، نمونه‌برداری از اندام‌های مختلف گیاه با برداشت ۱۰ بوته از هر کرت انجام و میزان انتقال مجدد،کارایی، سهم مشارکت اندام‌ها، فتوسنتز جاری، کارایی و سهم فتوسنتز جاری شامل ساقه، برگ، اسپات (پوست بلال) در تولید عملکرد دانه با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Koutroubas *et al.,* 2004):

(۱) وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی (بدون دانه)- وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله ابریشم‌دهی= میزان انتقال مجدد (گرم در بوته)

(۲) ۱۰۰ × (وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله ابریشم‌دهی/ میزان انتقال مجدد) = کارایی انتقال مجدد (درصد)

(۳) ۱۰۰ × (عملکرد دانه/ میزان انتقال مجدد) = سهم انتقال مجدد (درصد)

(۴) (میزان انتقال مجدد - عملکرد دانه) = فتوسنتز جاری (گرم در بوته)

(۵) سهم انتقال مجدد - ۱۰۰ = سهم فتوسنتز جاری (درصد)

(۶) ۱۰۰ × (وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله ابریشم‌دهی / فتوسنتز جاری) = کارایی فتوسنتز جاری (درصد)

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Characteristics of soil in experimental site

عمق‌خاک Soil depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	پتاسیم Available K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic matter (%)
0-30	24.5	35.3	39.1	214	5.08	0.07	1.1

برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت، از دو ردیف میانی هر کرت به مساحت ۷/۵ متر مربع برداشت به عمل آمد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و رسم منحنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد. به منظور بررسی دقیق‌تر اثر مواد ضد تعرق بر صفات مورد بررسی، برش‌دهی (Slicing) برهمکنش عامل‌ها در شرایط مختلف آبیاری انجام و از نظر آماری بررسی شد.

نتایج و بحث

میزان انتقال مجدد

خلاصه تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان انتقال مجدد از ساقه، برگ و پوست بلال در جدول ۲ ارایه شده است. اثر آبیاری و مواد ضد تعرق روی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اجزای مختلف بوته معنی‌دار بود. برهمکنش آبیاری و مواد ضد تعرق برای انتقال مواد از ساقه و برگ معنی‌دار و برای انتقال مجدد از پوست بلال معنی‌دار نبود (جدول ۲). برش‌دهی در خصوص برهم‌کنش آبیاری و مواد ضد تعرق، بر انتقال مجدد از ساقه و برگ نشان داد که انتقال مواد از ساقه و برگ در هر سه تیمار آبی معنی‌دار بوده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، میزان انتقال مواد از ساقه و برگ در تنش شدید (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش متوسط (۹۰ میلی‌متر تبخیر) نسبت به تیمار بدون تنش (۶۰ میلی‌متر تبخیر) بیشتر بود. بیشترین انتقال مواد فتوسنتزی از ساقه با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول در تیمار تنش شدید حاصل شد. در تنش متوسط نیز مصرف سالیسیلیک اسید افزایش معنی‌داری در انتقال مواد از ساقه نسبت به شاهد نشان داد. در مقابل در شرایط مطلوب آبیاری، محلول‌پاشی مواد ضد تعرق تاثیر معنی‌داری بر میزان انتقال مجدد مواد نسبت به تیمار بدون مصرف ماده ضد تعرق نشان نداد. در رژیم آبی ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، تیمارهای سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول به‌ترتیب با ۶۱/۷۹ و ۵۸/۲۱ گرم در متر مربع انتقال مجدد از برگ، بیشترین انتقال را به خود اختصاص دادند. با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول در تیمار آبی ۹۰ میلی‌متر تبخیر نیز انتقال بیشتری از برگ نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین و کمترین انتقال مجدد از برگ در شرایط بدون تنش به ترتیب به تیمار پاکلوبوترازول و سالیسیلیک اسید تعلق داشت.

انتقال مواد فتوسنتزی از پوست بلال به دانه‌ها کمتر از سایر قسمت‌های گیاه بود، ولی میزان این انتقال با افزایش آبیاری بیشتر مشهود بود. همچنین انتقال مواد فتوسنتزی از پوست بلال به دانه در تیمارهای مواد ضد تعرق نسبت به تیمار بدون مصرف ماده ضد تعرق، افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

به گزارش Hayat *et al* (2005) سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین با تاثیر بر تعادل هورمونی گیاه نظیر اکسین، سیتوکینین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد گیاه در شرایط تنش و بدون تنش می‌شود (Shakirova *et al*., 2003). از این‌رو، گیاهان محلول‌پاشی شده با سالیسیلیک اسید در رژیم آبی بدون تنش (۶۰ میلی‌متر تبخیر) به دلیل افزایش فتوسنتز جاری، میزان انتقال مجدد کمتری از ساقه و برگ نسبت به گیاهان شاهد داشتند. به نظر می‌رسد در شرایط مطلوب رطوبتی، گیاهان به دلیل تولید سطح برگ بیشتر و تداوم آن و در نتیجه بالا بودن فتوسنتز جاری از میزان انتقال مواد کمتری برخوردار می‌باشند. آبراهام و همکاران (Abraham *et al.,* 2008) نیز گزارش کردند در کنجد تعداد و سطح برگ گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول در شرایط مطلوب رطوبتی کاهش و در شرایط تنش خشکی افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد داشت.

پاکلوبوترازول با جلوگیری از بیوسنتز جیبرلین می‌تواند فاصله میان گره و سطح برگ را کاهش دهد (Fletcher *et al*., 2000). به همین علت کاهش سطح برگ گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول در رژیم آبی ۶۰ میلی‌متر، سبب کاهش فتوسنتز جاری گیاه به میزان ۱۴/۸۷ درصد نسبت به تیمار شاهد شده و گیاه برای پر کردن دانه‌ها

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های آزمایش به همراه برش برهمکنش اثر متقابل برای بررسی میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد

Table 2. Analysis of variance of experimental data together with slicing of interactive effect to study magnitude, efficiency and contribution of dry matter remobilization

منابع تغییر Source of variance		درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)								
			انتقال مجدد Remobilization			کارایی انتقال مجدد Remobilization efficiency			مشارکت انتقال مجدد Contribution of remobilization		
			ساقه Stem	برگ Leaf	پوست بلال Spathe	ساقه Stem	برگ Leaf	پوست بلال Spathe	ساقه Stem	برگ Leaf	پوست بلال Spathe
Replication (R)	تکرار	2	410.28**	539.77*	144.58**	528.53**	337.66**	291.92**	561.70**	213.66**	140.76**
Irigation (I)	آبیاری	2	2994.20**	2293.73**	1175.50**	18025.31**	7254.19**	861.19**	5195.14**	2459.25**	445.56**
R (I)	تکرار درون آبیاری	4	6.67	33.19	6.68	18.31	8.62	1.81	25.55	1.82	4.96
Antitranspiration (A)	مواد ضد تعرق	2	202.04**	205.55**	22.44*	1313.03**	699.48**	65.35**	366.41**	291.36**	22.40**
I×A	آبیاری × مواد ضد تعرق	4	114.68*	89.19**	12.40^{ns}	633.60**	337.47**	42.77**	301.69**	123.08**	19.45**
Error	خطای آزمایش	12	28.80	11.03	4.49	20.95	8.75	6.48	5.46	8.51	2.83
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		8.24	8.68	8.40	3.83	3.66	6.12	2.51	5.32	6.06
Slicing of interactive effect on irrigation		برش برهم‌کنش فاکتورها بر اساس آبیاری									
I_1		2	86.75*	50.92*	–	541.20**	330.64**	48.06**	260.96**	122.66**	13.35*
I_2		2	105.65*	92.16**	–	589.87**	294.41**	37.10*	177.18**	145.63**	7.68*
I_3		2	238.99**	240.84**	–	1449.17**	749.38**	65.72**	531.65**	269.21**	40.26^{**ظ}

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

I_1: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، I_2: آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر، I_3: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، SA: سالیسیلیک اسید، PBZ: پاکلوبوترازول، C: تیمار شاهد.

I_1: Irrigation after 60 mm evaporation, I_2: Irrigation after 90 mm evaporation, I_3: Irrigation after 120 mm evaporation, SA: Salicylic acid, PBZ: Paclobutrazol, C: Control.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری و مواد ضد تعرق بر میزان، کارایی و مشارکت انتقال مجدد از ساقه، برگ و پوست بلال

Table 3. Mean comparisons of the interaction effects of irrigation and antitranspiration substances on magnitude, efficiency and contribution of dry matter remobilization from stem, leaf and spathe

تیمار Treatment		انتقال مجدد (گرم در متر مربع) Remobilization ($g.m^{-2}$)		کارایی انتقال مجدد (درصد) Remobilization efficiency (%)			مشارکت انتقال مجدد (درصد) Contribution of remobilization (%)		
		ساقه Stem	برگ Leaf	ساقه Stem	برگ Leaf	پوست بلال Spathe	ساقه Stem	برگ Leaf	پوست بلال Spathe
I_1	SA	41.88^{b}	19.04^{b}	62.70^{c}	44.44^{c}	27.87^{b}	58.53^{c}	31.77^{c}	18.00^{b}
	PBZ	52.63^{a}	27.28^{a}	89.56^{a}	65.44^{a}	35.79^{a}	77.18^{a}	44.54^{a}	22.22^{a}
	C	47.16^{ab}	23.03^{ab}	75.94^{b}	54.53^{b}	30.80^{b}	67.46^{b}	37.69^{b}	20.02^{ab}
I_2	SA	69.56^{a}	40.89^{a}	127.72^{a}	83.91^{a}	45.73^{a}	103.69^{a}	60.48^{a}	30.58^{a}
	PBZ	65.61^{ab}	38.70^{a}	121.18^{a}	79.30^{a}	42.42^{ab}	96.27^{b}	58.26^{a}	29.69^{ab}
	C	57.89^{b}	30.38^{b}	100.83^{b}	64.92^{b}	38.70^{b}	88.33^{c}	47.45^{b}	27.47^{b}
I_3	SA	91.21^{a}	61.79^{a}	181.00^{a}	121.65^{a}	55.22^{a}	127.89^{a}	77.60^{a}	37.61^{a}
	PBZ	86.01^{a}	58.21^{a}	175.03^{a}	118.57^{a}	51.84^{a}	117.16^{b}	75.35^{a}	33.48^{b}
	C	73.82^{b}	44.79^{b}	140.34^{b}	92.87^{b}	45.97^{b}	101.42^{c}	60.18^{b}	30.29^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. I_1: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، I_2: آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر، I_3: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، SA: سالیسیلیک اسید، PBZ: پاکلوبوترازول، C: تیمار شاهد.

Means with the same letters are not significantly different. I_1: Irrigation after 60 mm evaporation, I_2: Irrigation after 90 mm evaporation, I_3: Irrigation after 120 mm evaporation, SA: Salicylic acid, PBZ: Paclobutrazol, C: Control.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری و مواد ضد تعرق بر انتقال مجدد از پوست بلال (گرم در مترمربع)

Table 4. Mean comparisons of the effects of irrigation levels and exogenous antitranspiration substances on remobilization from spathe ($g.m^{-2}$)

تیمار Treatment	پوست بلال Spathe
I_3	37.05^{a}
I_2	24.36^{b}
I_1	14.24^{c}
SA	26.18^{a}
PBZ	26.08^{a}
C	23.40^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. I_1: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، I_2: آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر، I_3: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، SA: سالیسیلیک اسید، PBZ: پاکلوبوترازول، C: تیمار شاهد.

Means with the same letters are not significantly different. I_1: Irrigation after 60 mm evaporation, I_2: Irrigation after 90 mm evaporation, I_3: Irrigation after 120 mm evaporation, SA: Salicylic acid, PBZ: Paclobutrazol, C: Control.

بیشتر از ماده خشک ذخیره شده در اندام‌ها، بهره می‌گیرد. در شرایط تنش متوسط و شدید خشکی مصرف سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول نسبت به تیمار شاهد موجب افزایش میزان انتقال مواد شد. به دلیل کم بودن مواد ذخیره‌ای در گیاهان بدون مصرف مواد ضد تعرق در شرایط تنش متوسط و شدید خشکی میزان انتقال مجدد ماده خشک در این گیاهان کمتر بود.

قابل ذکر است در شرایط تنش، علاوه بر اختلال در فتوسنتز جاری، تنفس نیز بیشتر شده که می‌تواند سبب مصرف بیشتر مواد فتوسنتزی گردد، همچنین فرآیند انتقال مجدد مستلزم صرف انرژی است، ولی انتقال مجدد در شرایط تنش از کاهش بیشتر عملکرد جلوگیری خواهد کرد (Nazeri *et al.*, 2004). گزارش شده است که در شرایط تنش سهم ذخایر بخش‌های رویشی به ویژه ساقه در تولید عملکرد، به واسطه کاهش فتوسنتز جاری افزایش می‌یابد (Jurgens *et al.*, 1978). در مرحله پر شدن دانه افزایش نسبت آبسیسیک اسید به سیتوکنین در برگ‌ها، کاهش دوام سطح برگ، افزایش مرگ بافت‌های گیاهی، ریزش برگ‌های پایینی بوته، افزایش میزان تنفس به علت سایه اندازی و زوال نوری، کاهش تجمع ماده خشک و افزایش انتقال مجدد در ذرت گزارش شده است (Murchie, 2002). به همین دلیل میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

در شرایط آبیاری مطلوب به دلیل بالا بودن فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه، نسبت به تنش آبی متوسط و شدید کمتر است.

کارایی انتقال مجدد

تجزیه واریانس کارایی انتقال مجدد از اندام‌های مختلف بوته نشان داد اثر آبیاری، مواد ضد تعرق و برهم‌کنش آنها برای این شاخص معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج برش‌دهی برهم‌کنش آبیاری و مواد ضد تعرق بر کارایی انتقال مجدد اندام‌های مختلف بوته در هر سه رژیم رطوبتی در جدول مذکور آمده است.

بیشترین کارایی انتقال مجدد به‌ترتیب به ساقه و برگ تعلق داشت این کارایی در رژیم آبی ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به دو رژیم آبی دیگر بیشتر بود. کارآیی انتقال مجدد ساقه در محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در تنش شدید معادل ۱۸۱ درصد بود. محلول‌پاشی با پاکلوبوترازول نیز در رژیم رطوبتی مذکور افزایش مشابهی در کارآیی انتقال مجدد از ساقه نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی داشت (جدول ۳). در رژیم آبی ۹۰ میلی‌متر تبخیر نیز کارایی انتقال مجدد ساقه با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول به ترتیب به‌میزان ۲۶/۶۶ و ۲۰/۱۸ درصد افزایش نشان شد. ولی در تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با ۸۹/۵۶ درصد بیشترین و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید با ۶۲/۷۰ درصد کمترین کارآیی انتقال مجدد ساقه را نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی ایجاد نمودند.

همچنین تیمار سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول در تنش متوسط و شدید از نظر کارایی انتقال مجدد از برگ و پوست بلال بیشترین مقدار را نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی داشتند. در رژیم آبی ۶۰ میلی‌متر تبخیر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید سبب کارایی کمتر و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول موجب کارآیی انتقال مجدد بیشتر برگ و پوست بلال گردید.

با افزایش شدت تنش خشکی کارایی انتقال مجدد مواد خشک به طور معنی‌داری افزایش نشان داد بنابراین می‌توان گفت تحت شرایط تنش کمبود آب نسبت ماده خشک منتقل شده به ذخیره شده بیشتر می‌شود تا کاهش عملکرد دانه تا حدی جبران گردد. علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2004) اظهار داشتند در شرایط تنش خشکی در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب، به منظور جبران کاهش تولید مواد پرورده، مواد ذخیره شده در ساقه مقدار بیشتری به بلال منتقل شده که این مسئله باعث کاهش بیشتر وزن ساقه در تیمارهای تنش خشکی می‌گردد.

سهم انتقال مجدد

تجزیه واریانس داده‌ها در خصوص اثر دور آبیاری، مواد ضد تعرق و برهم‌کنش آنها بر سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اجزای مختلف گیاه برای عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برش‌دهی برهم‌کنش آبیاری و مواد ضد تعرق نیز بیان‌گر تاثیر معنی‌دار سه رژیم رطوبتی بر سهم انتقال مجدد اجزای مختلف گیاه بود.

سهم انتقال مجدد در شرایط تنش متوسط و شدید بیشتر از شرایط بدون تنش بود. همچنین بیشترین سهم انتقال مجدد در ساقه مشاهده شد. در شرایط بدون تنش (۶۰ میلی‌متر تبخیر) بیشترین سهم از ساقه در اثر محلول‌پاشی با پاکلوبوترازول حاصل شد و محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در این رژیم رطوبتی سبب کاهش سهم ساقه در تامین مواد فتوسنتزی دانه گردید. در حالیکه در تیمار آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، سهم انتقال مجدد ساقه با تیمار سالیسیلیک اسید به‌ترتیب ۱۷/۳۸ و ۲۶/۰۹ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در دو رژیم آبی مذکور سبب افزایش سهم انتقال مجدد از ساقه به میزان ۸/۹۸ و ۱۵/۵۱ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف ماده ضد تعرق گردید. مشابه آنچه که در ساقه مشاهده شد، بیشترین سهم انتقال مجدد برگ و اسپات نیز از تیمار سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول در تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. در تیمار آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر سهم انتقال مواد فتوسنتزی از برگ و اسپات به دانه در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید به‌ترتیب به میزان ۲۷/۴۶ و ۱۱/۳۲ درصد و در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول ۲۲/۷۸ و ۸/۰۸ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش یافت. یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2001) نیز گزارش کردند که افزایش فراهمی آب از طریق ایجاد تاخیر در پیری برگ‌ها، موجب افزایش سهم فتوسنتز جاری و کاهش سهم مواد ذخیره شده در تولید دانه می‌شود.

راوسون و ایوانز (Rawson and Evans, 1971) بیان داشتند که کارآیی بخش‌های رویشی در انتقال مجدد ماده

جدول ۵- تجزیه واریانس فتوسنتز جاری، سهم فتوسنتز جاری، کارایی فتوسنتز جاری، عملکرد زیستی و عملکرد دانه

Table 5. Analysis of variance and slicing of interactive effects on irrigation for current photosynthesis, current photosynthesis contribution, current photosynthesis efficiency, biological yield and grain yield

منابع تغییر Source of variance		درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS) فتوسنتز جاری Current photosynthesis	سهم فتوسنتز جاری Current photosynthesis contribution	کارایی فتوسنتز جاری Current photosynthesis efficiency	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
Replication (R)	تکرار	2	296053.10**	442.04**	103.40**	54279047.5**	2464475.46**
Irigation (I)	آبیاری	2	536989.93**	361.20**	513.76**	106887048.5**	31465529.85**
R (I)	تکرار درون آبیاری	4	31373.43	6.45	9.73	645360.1	338729.11
Antitranspirant (A)	ضد تعرق	2	74787.60**	39.29*	69.66**	24139366.9**	4294330.54**
I×A	آبیاری × مواد ضد تعرق	4	13881.41**	36.79*	38.25**	7896060.5*	1137965.58**
Error	خطای آزمایش	12	2188.52	10.72	0.051	2328884.2	131973.18
CV (%)	ضریب تغییرات (٪)		9.04	4.26	2.15	8.39	5.07
Slicing of interactive effect on irrigation			برش برهم‌کنش فاکتورها بر اساس آبیاری				
I_1		2	47381**	32.0*	79.87**	24251640*	3626904**
I_2		2	22662**	14.29*	33.54**	8055721*	1467629**
I_3		2	32508**	66.58*	32.76**	7624127*	1475729**

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ،۱٪.

I_1: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، I_2: آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر ، I_3: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر ، SA: سالیسیلیک اسید، PBZ: پاکلوبوترازول، C: شاهد.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

I_1: Irrigation after 60 mm evaporation, I_2: Irrigation after 90 mm evaporation, I_3: Irrigation after 120 mm evaporation, SA: Salicylic acid, PBZ: Paclobutrazol, C: Control.

خشک به وزن خشک این اندام ها در مرحله گرده افشانی بستگی دارد. بدیهی است وزن خشک بیشتر بخش‌های رویشی در این مرحله به مشارکت بیشتر ماده خشک ذخیره شده در انتقال مجدد به دانه و بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی منتهی می‌شود.

فتوسنتز جاری، کارایی فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر معنی‌دار آبیاری، مواد ضد تعرق و برهم‌کنش آنها بر فتوسنتز جاری، کارایی فتوسنتز جاری و سهم فتوسنتز جاری را نشان داد (جدول ۵). نتایج برش‌دهی برهم‌کنش آبیاری و مواد ضد تعرق نیز بیان‌گر تاثیر معنی‌دار سه رژیم رطوبتی بر این صفات می‌باشد. بیشترین فتوسنتز جاری از تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به دست آمد. با کاهش آب آبیاری فتوسنتز جاری گیاهان کاهش یافت. در هر سه تیمار آبیاری گیاهان محلول‌پاشی شده با تیمار سالیسیلیک اسید فتوسنتز جاری بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشته و در نتیجه ماده خشک بیشتری در گیاه ذخیره شد. سالیسیلیک اسید با بهبود فتوسنتز (El-Tayeb, 2000) و افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها (Shakirova, *et al*., 2003) باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد می‌شود.

تنش خشکی منجر به کاهش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول شده، لذا فتوسنتز جاری در زمان پر شدن دانه‌ها کاهش یافته و گیاه جهت تامین نیاز دانه‌ها از مواد ذخیره شده در ساقه و برگ استفاده می‌نماید (Lak *et al.*, 2007). همچنین گیاه در شرایط مطلوب آبیاری با فراهم بودن عناصر غذایی از طریق کاهش پیری برگ‌ها موجب افزایش فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه‌ها و در نتیجه کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی می‌شود (Yang *et al.*, 2001).

فتوسنتز جاری گیاه با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به شاهد ۱۴/۸۷ درصد کاهش و در تیمار آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر۲۳/۵۶ و ۶۴/۳۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش فاکتورها بر فتوسنتز جاری، سهم فتوسنتز جاری،کارایی فتوسنتز جاری، عملکرد زیستی و عملکرد دانه

Table 6. Means comparisons of the interaction effects of irrigation and exogenous antitranspiration substances on current photosynthesis, current photosynthesis contribution, current photosynthesis efficiency, biological yield and grain yield

تیمار Treatment		فتوسنتز جاری (گرم بر مترمربع) Current photosynthesis ($g.m^{-2}$)	سهم فتوسنتز جاری Current photosynthesis contribution (%)	کارایی فتوسنتز جاری Current photosynthesis efficiency (%)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg/ha)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
I_1	SA	915.25^{a}	87.03^{a}	90.06^{a}	24670.95^{a}	10267.36^{a}
	PBZ	664.15^{c}	80.56^{b}	80.0^{c}	19009.84^{b}	8099.83^{c}
	C	780.23^{b}	83^{b}	87.0^{b}	21376.13^{b}	8862.27^{b}
I_2	SA	541.97^{a}	73.66^{a}	70.6^{a}	19382.30^{a}	7551.30^{a}
	PBZ	454.92^{b}	75.16^{a}	72.96^{a}	18601.83^{ab}	7345.70^{a}
	C	368.15^{c}	77.96^{b}	77.20^{b}	16235.46^{b}	6250.20^{b}
I_3	SA	405.00^{a}	67.16^{a}	69.6^{a}	16001.61^{a}	5916.40^{a}
	PBZ	326.36^{a}	69.60^{a}	70.20^{a}	15397.76^{ab}	5547.89^{a}
	C	198.73^{b}	76.26^{b}	75.60^{b}	12988.47^{b}	4560.02^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. I_1: آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر، I_2: آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر، I_3: آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، SA: سالیسیلیک اسید، PBZ: پاکلوبوترازول، C: تیمار شاهد.

Means with the same letters are not significantly different. I_1: Irrigation after 60 mm evaporation, I_2: Irrigation after 90 mm evaporation, I_3: Irrigation after 120 mm evaporation, SA: Salicylic acid, PBZ: Paclobutrazol, C: Control.

در تیمار آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر با محلول‌پاشی سالیسلیک اسید و پاکلوبوترازول کارایی فتوسنتز جاری گیاه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۸/۵۴ و ۵/۴۹ درصد کاهش یافت. در تیمار آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نیز با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول کارایی فتوسنتز جاری کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان داد. لذا گیاه بخشی از ماده خشک دانه را از طریق انتقال مجدد مواد فتوسنتزی تامین نموده است. در تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر مصرف سالیسیلیک اسید سهم فتوسنتز جاری را ۴/۸۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. ولی سهم فتوسنتز جاری در تیمار آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول به ترتیب به میزان ۱۱/۹۳ و ۸/۷۳ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت.

تحت شرایط تنش کمبود آب، نسبت ماده خشک منتقل شده به ذخیره شده بیشتر می‌شود تا کاهش عملکرد دانه تا حدی جبران شود. از طرفی با کاهش دوام سطح برگ در شرایط تنش شدید خشکی، کارایی فتوسنتز جاری کاهش می‌یابد. کمبود آب از یک سو با افت محتوای رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ، زمینه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را فراهم آورده و از سوی دیگر با تاثیر بر مقدار سطح برگ، سطوح فعال فتوسنتزی را کاهش می‌دهد.

عملکرد زیستی

بررسی عملکرد زیستی تیمارها نشان داد که اثر رژیم آبی و مواد ضد تعرق در سطح یک درصد و برهم‌کنش آنها در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۵). برش‌دهی برهم‌کنش آبیاری و مواد ضد تعرق هر سه رژیم آبی تاثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند. بیشترین عملکرد زیستی با مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط بدون تنش حاصل شد که نسبت به تیمار بدون مصرف ماده ضد تعرق (شاهد) در همین رژیم آبی ۱۵/۵۶ درصد افزایش نشان داد. عملکرد زیستی تیمار سالیسیلیک اسید در تیمار آبیاری پس از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر نیز تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت و به ترتیب به میزان ۱۹/۳۸ و ۲۳/۲۰ درصد افزایش یافته است. این نتایج با گزارشات حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2009) هم‌خوانی دارد. تیمار پاکلوبوترازول در تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر سبب کاهش عملکرد زیستی به میزان ۱۱/۰۶ درصد و در تیمار آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر سبب افزایش عملکرد زیستی به میزان ۱۴/۵۷ و ۱۸/۵۴ درصد شد. در واقع پاکلوبوترازول با جلوگیری از سنتز هورمون جیبرلین و

کاهش این هورمون تاثیر بسزایی در کاهش ماده خشک گیاه دارد (Fletcher *et al*., 2000). از آنجا که اسید آبسیسیک سهم بسزایی در خشک شدن و ریزش برگ‌ها در شرایط تنش رطوبتی دارد پاکلوبوترازول با کاهش این هورمون در شرایط تنش خشکی موجب افزایش ماده خشک کل گردیده است (Wang *et al*., 1987).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که دور آبیاری، مواد ضد تعرق و همچنین برهم‌کنش آنها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از برش‌دهی برهم‌کنش آبیاری و مواد ضد تعرق بر عملکرد دانه نیز نشان داد که تفاوت بین مواد ضد تعرق تحت هر سه رژیم آبی معنی‌دار بود (جدول ۵).

سالیسیلیک اسید در تیمار آبیاری ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر عملکرد دانه را به ترتیب ۱۵/۸۴، ۲۰/۸۲، ۲۹/۷۴ درصد نسبت به تیمار بدون ماده ضد تعرق افزایش داد. این نتایج با گزارشات حسین و همکاران (Hussain *et al*., 2009) مطابقت دارد. گرچه مصرف پاکلوبوترازول در شرایط بهینه آبیاری (۶۰ میلی‌متر تبخیر) سبب کاهش عملکرد شد ولی مصرف آن در تیمار آبیاری ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۱۷/۵۲ و ۲۱/۶۵ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف ماده پاکلوبوترازول شد. در گیاه کنجد نیز طی تنش خشکی کاربرد ماده پاکلوبوترازول عملکرد دانه را افزایش داده است (Abraham *et al*., 2008).

عملکرد دانه در تیمار سالیسیلیک اسید به دلیل داشتن مقادیر بالای فتوسنتز جاری و انتقال مجدد، در شرایط مطلوب رطوبتی بیشترین عملکرد را داشته است. در شرایط آبی متوسط و شدید خشکی با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول انتقال مواد از اندام مختلف به دانه افزایش یافت، در نتیجه کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی در این تیمارها نسبت به تیمار شاهد کمتر مشهود بود. با مصرف مواد ضد تعرق، تعرق گیاه کاهش یافته و با بهبود وضعیت رطوبتی گیاه، رشد گیاه در شرایط تنش خشکی کمتر دچار نقصان شده است. داونپورت و همکاران (Davenport *et al*., 1972) اظهار داشتند که مواد ضد تعرقی که سبب بسته شدن نسبی روزنه‌ها می‌شوند، ضمن افزایش مقاومت روزنه‌ای، مقاومت کل در برابر حرکت بخار آب را بیشتر از مقاومت کل در مقابل حرکت دی اکسید کربن افزایش می‌دهند. بدین علت، می‌توان انتظار داشت که مواد ضد تعرق، سرعت تعرق را بیش از سرعت فتوسنتز خالص کاهش دهند که در نهایت منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه تحت شرایط تنش می‌شود. محدودیت رطوبتی در زمان پرشدن دانه‌ها باعث کاهش عملکرد دانه از طریق تقلیل فتوسنتز می‌گردد. بنابراین نیاز مقصد برای پر شدن دانه‌ها از طریق انتقال مواد فتوسنتزی ذخیره شده تامین می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در شرایط آبی مطلوب (۶۰ میلی‌متر تبخیر)، میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد اندام‌های مختلف گیاه با محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید نسبت به تیمار بدون مصرف ماده ضد تعرق کاهش و با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تا حدودی افزایش یافت. محلول پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول در رژیم آبی ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر باعث افزایش میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد نسبت به تیمار بدون مصرف ماده ضد تعرق شد. به نظر می‌رسد که در تنش رطوبتی با کاهش محتوی نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز جاری کاهش یافته و باعث عدم توسعه مطلوب سطح برگ و کاهش تجمع ماده خشک در واحد سطح برگ می‌گردد. مجموع این عوامل با کاهش دوام سطح برگ و میزان فتوسنتز خالص در مرحله بحرانی پر شدن دانه سبب افزایش میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در مرحله پرشدن دانه شده است. تحت تنش رطوبتی نیز در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول نسبت به تیمار شاهد به دلیل شکل‌گیری بهتر مقاصد فیزیولوژیک انتقال مجدد مواد از اندام مختلف گیاه افزایش یافته و سهم بیشتری در پر کردن دانه ایفا می‌کنند. بنابراین تحت تنش رطوبتی، محلول پاشی سالیسیلیک اسید و پاکلوبوترازول می‌تواند در تخفیف تنش و بهبود عملکرد گیاه نقش داشته باشد.

References

Abraham, S. S., Abdul Jaleel, C., Chang-Xing, Z., Somasundaram, R., Azooz, M. M., Manivannan, P. and Panneerselvam, R. 2008. Regulation of growth and metabolism by paclobutrazol and ABA in *Sesamum indicum* L. under drought condition. **Global Journal of Molecular Sciences** 3 (2): 57-66.

Ahmadi, A., Siosemardeh, A. and Zali, H. 2004. A comparison between the capacity of photo assimilate storage and remobilization and their contribution to yield in four wheat cultivars under different moisture regimes. **Iranian Journal Crop Science** 35 (4): 921-931. (In Persian).

Alizadeh, O., Majidi, E., Nadian, H. A., Noor Mohammdi, Gh. and Amerian, M. R. 2004. Investigating the effect of drought stress and different levels of nitrogen on phenology and growth and development of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural Science and Natural Resources** 14: (5): 21-33. (In Persian).

Asare-Boamah, N. K., Hofstra, G., Fletcher R. A. and Dumbroff, E. B. 1986. Triadimefon protect bean plants from water stress through its effect on abscisic acid. **Plant Cell Physiology** 27: 383-390.

Bano, A., Dorffling, K., Bettin, D. and Hahn, H. 1993. Abscisic acid and cytokinins as possible root to shoot signals in xylem sap of rice plants in drying soil. **Australian Journal of Plant Physiology** 20:109-115.

Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve remobilization. **Euphytica** 100: 77-83.

Bonnet, G. D. and Incoll, L. D. 1992. Effect on the stem of winter barley of manipulating the source and sink during grain filling in the composition of water soluble carbohydrates of internodes. **Journal of Experimental Botany** 44: 41-83.

Borsani, O., Valpuestan, V. and Botella, M. A. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. **Plant Physiology** 126: 1024-1030.

Davenport, D. C., Fisher, M. A. and Hagan, R. M. 1972. Some counteractive effects of antitranspirants. **Plant Physiology** 49: 722-724.

El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. **Plant Growth Regulation** 45: 215-225.

Fernandez, J. A., Balenzategui, L., Banon, S. and Franco, J. A. 2006. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in *Phillyrea angustifolia* during the nursery period. **Scientia Horticulturae** 107: 277-283.

Fletcher, R. A., Sankhla, G. N. and Davis, T. 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. **Horticultural Reviews** 24: 55-122.

Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B. and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. **Acta Agronomy Hung** 53: 433-437.

Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Khan, M. B. Akram, M. and Saleem, M. F. 2009. Exogenous glycinebetaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science** 195: 98-109.

Jurgens, S. K. J., Ohnson, R. R. and Boyer, J. S. 1978. Dry matter production in maize subjected to drought during grain filling. **Agronomy Journal** 70: 678-682.

Khan, W., Prithviraj, B. and Smith, D. L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Plant Physiology** 160: 485-492.

Klessing, D. F. and Malamy, J. 1994. The salicylic acid signal in plants. **Plant Molecular Biology** 26: 1439-1458.

Kling, G. J. and Meyer, M. M. 1983. Effect of phenolic compound and indole acetic acid on adventitious root inhibition in cutting of *Phaseolus aurus, Acer saccharium,* and *Acer griseum*. **Horticulture Science** 18: 353-354.

Kobata, T., Sugawareand, M. and Takata, S. 2000. Shading during the early grain filling period not affect potential grain dry matter increase in rice. **Agronomy Journal** 92 (3): 411-417.

Koutroubas, S. D., Papacosta, D. K. and Doitsinis, A. 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. **Field Crops Research** 90: 263-274.

Lak, S., Naderi, A., Siadat, S. A., Aynehband, A. and Noor Mohammadi, Gh. 2007. Effects of water deficit stress on yield and nitrogen efficiency of grain corn hybrid KSC704 at different nitrogen rates and plant population. **Iranian Journal of Agriculture Science and Natural Resource** 14 (2): 63-76. (In Persian).

Lin, K. H., Tsou, C. C., Hwang, S. Y., Chen, L. F. and Lo, H. F. 2006. Paclobutrazol pre-treatment enhanced flooding tolerance of sweet potato. **Journal of Plant Physiology** 163 (7): 750-760.

Murchie, E., Yang, H. J., Hubbart, S., Horton, P. and Peng, S. 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? **Journal of Experimental Botany** 53 (378): 2217-2224.

Navarro, A., Sanchez-Blanco, J. and Banon, S. 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performation of *Arbutus unedo* seedlings**. Scientia Horticulturae** 111: 133-139.

Nazeri, M., Jalal Kamali, M. R., Majnoun Hosseini, N., Mazaheri, D. and Ghannadha, M. R. 2004. Remobilization of stored pre-anthesis assimilates and effective factors in hexaploid triticale genotypes under water limitation conditions. **Desert** 9 (2): 317-330. (In Persian).

Rawson, H. M. and Evans, L. T. 1971. The contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different height. **Australian Journal of Agricultural Research** 22 (6): 851-863.

Shakirova, F. M., Sakhabutdinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhutdinova, R. A. and Fatkhutdinova, D. R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science** 164: 317-322.

Sreethar, V. M. 1991. Proline accumulation and reduced transpiration in the leaves of triazole treated mulberry plant. **Indian Botanical Reporter** 10 (1/2): 1-5.

Wang, S. Y., Sun, T., Jil, Z. L. and Faust, M. 1987. Effect of paclobutrazol on water stress-induced abscisic acid in apple seedling leaves. **Plant Physiology** 84: 1051-1054.

Yadav, S. K. and Kumar, A. 1998. Effect of some antitranspirants on water relation , NR-activity and seed yield of Rabi maize under limited irrigation. **Indian Journal of Agricultural Research** 32 (1): 57-60.

Yang, J., Jianhua, Z., Zhiqing, W., Qingsen, Z. and Wei, W. 2001. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. **Field Crops Research** 71: 47-55.

Yang, J. and Zhang, J. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. **New Physiology** 169: 223-23.

Zhu, L. H., Peppel, A. V., Li, X. Y. and Welander, M. 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought condition. **Horticulture Science** 99: 133-141.

Effect of foliar application of salicylic acid and paclobutrazol on grain yield and dry matter remobilization of maize (*Zea mays* L.) under drought stress

Somayyeh Bayat[1] and Ali Sepehri[2*]

1 and 2. Graduate Student and Assist. Prof., respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Bu-Ali Sina University of Hamedan, Iran

(Received: May 22, 2013- Accepted: April 7, 2014)

Abstract

The effect of anti-transpiration substances on dry matter remobilization of maize cv. SC-500 under water stress, a split plot experiment in randomized complete block design with three replications was conducted in Hamedan during 2009 growing season. Three irrigation treatments including irrigation after 60, 90 and 120 mm evaporation and anti-transpiration substances including 0.5 mM salicylic acid (SA), 50 ppm paclobutrazol (PBZ) and control were considered as main- and sub-plots, respectively. The anti-transpiration substances were sprayed on plants at 6 and 8 leaf stages. Results showed that SA under irrigation after 90 mm evaporation increased 20.15% and 34.59% and under 120 mm evaporation increased 23.55% and 37.95% of the remobilization of dry matter from stem and leaf, respectively, compared with control treatment. PBZ treatment also increased 13.33% and 16.51% of the remobilization of dry matter from stem and 27.73% and 29.96% from leaf under 90 and 120 mm evaporation, respectively, compared with control. Furthermore, dry matter translocation efficiency and contribution significantly increased under both 90 and 120 mm evaporation than the control, but under 60 mm evaporation, SA treatment decreased and PBZ treatment increased the rate, efficiency and contribution of the remobilization of dry matter from stem, leaf and spathe. SA increased 15.84%, 20.82% and 29.74% of the grain yield under 60, 90 and 120 mm evaporation compared with control, respectively, but the highest grain yield (10267.36 $kg.ha^{-1}$) was achieved by SA under the 60 mm evaporation. In contrast, PBZ under the 60 mm evaporation decreased and under the 90 and 120 mm evaporation increased grain yield (17.52% and 21.65%, respectively), compared to control. Therefore, the application of salicylic acid and paclobutrazol anti-transpiration substances are recommended for alleviating effects of water stress in maize plants.

Keywords: Drought stress, Maize, Paclobutrazol, Remobilization, Salicylic acid

*Corresponding author: sepehri2748@gmail.com