

تحقیقات غلات

دوره نهم / شماره اول / بهار ۱۳۹۸ (۷۰-۵۵)

واکنش عملکرد بلال و برخی صفات فیزیولوژیک ذرت رنگین (*Zea mays var. indurata*) به مواد ضد تعرق و سطوح مختلف آبیاری تحت خاک پوشه پلاستیک

داوود عادلیان^۱، هوشنگ فرجی^{۲*}، امین صالحی^۳ و علی مرادی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱

چکیده

به منظور بررسی واکنش عملکرد بلال و برخی صفات فیزیولوژیک ذرت رنگین به سطوح مختلف آبیاری و مواد ضد تعرق تحت خاک پوشه پلاستیک، آزمایشی مزرعه‌ای در منطقه برازجان استان بوشهر طی دو سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آزمایش، آبیاری در سه سطح شامل (۱) ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل استفاده خاک، (۲) ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل استفاده خاک و (۳) ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل استفاده خاک، عامل فرعی در دو سطح شامل خاک پوشه پلاستیک و بدون خاک پوشه و عامل فرعی فرعی در سه سطح شامل مواد ضد تعرق کائولین و آترازین و شاهد بدون مصرف ماده ضد تعرق بود. نتایج نشان داد که برهمکنش سه عامل آبیاری، خاک پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر عملکرد بلال تر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک، بیش‌ترین عملکرد بلال معادل ۱۷۵۹/۸ گرم بر متر مربع در تیمار خاک پوشه پلاستیک و استفاده از ماده ضد تعرق آترازین و کم‌ترین مقدار عملکرد معادل ۱۱۶۵/۷ گرم بر متر مربع در تیمار بدون خاک پوشه و بدون استفاده از ماده ضد تعرق به‌دست آمد. با کاهش رطوبت خاک، استفاده از آترازین منجر به افزایش عملکرد بلال تر بیش‌تری در مقایسه با کائولین شد. در شرایط تنش شدید رطوبتی، محتوای کلروفیل و میزان پروتئین محلول برگ کاهش یافت. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که تحت شرایطی که میزان رطوبت خاک محدود است، استفاده از خاک پوشه پلاستیک و ماده ضد تعرق آترازین، جهت تولید بیش‌ترین عملکرد کمی و کیفی در ذرت رنگین پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: ذرت رنگین، عملکرد بلال، محتوای کلروفیل برگ، میزان آب مصرفی، میزان کاروتنوئید

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

* نویسنده مسئول: hooshangfarajee.yu.ac.ir@gmail.com

مقدمه

ذرت رنگین با نام علمی *Zea mays var. indurata* و نام انگلیسی *Rainbow corn*، یکی از غلات گرمسیری خانواده گرامینه (Poaceae) است (Erwin, 1949). این نوع ذرت به دلیل تنوع رنگ و سرشار بودن از آنتوسیانین و رنگیزه‌های دیگر از لحاظ جذابیت و نیز ارزش غذایی مورد توجه قرار گرفته است. ذرت رنگین همانند ذرت شیرین جهت تهیه سالاد، سوپ، تزیین غذا، کنسرو و آرد به کار می‌رود.

یکی از موارد اتلاف آب در مزرعه، تبخیر از سطح خاک است. از آن‌جا که همواره سطح خاک مزارع کشاورزی بدون هیچ‌گونه حفاظتی در معرض تابش مستقیم خورشید قرار دارد، به نظر می‌رسد بتوان با تأثیرگذاری اثر این تابش، تلفات تبخیری را کاهش داد (Sun *et al.*, 2014). یاسین و همکاران (Yaseen *et al.*, 2014) بیان کردند که کاربرد خاک‌پوشه پلاستیک موجب افزایش میزان کلروفیل برگ و در نهایت عملکرد گیاه شد (Sakenian Dehkordi and Liu and Farhadi, 2016). لیو و کادامبوت (Kadambot, 2015) با بررسی تأثیر خاک‌پوشه پلاستیک بر عملکرد ذرت در کشور چین بیان کردند که تیمارهایی که دارای خاک‌پوشه پلاستیک بودند در مقایسه با تیمارهای بدون خاک‌پوشه پلاستیک، اختلاف معنی‌داری داشتند و عملکرد ذرت را افزایش دادند. یکی دیگر از راه‌های کاهش تلفات آب، استفاده از مواد ضد تعرق است. از آن‌جا که عمده آب مصرفی توسط گیاه تعرق می‌شود و قسمت ناچیزی جهت فرایندهای فیزیولوژیک به کار می‌رود، از این‌رو مواد ضد تعرق می‌توانند به‌عنوان یکی از راهکارهای مهم جهت کاهش میزان آب آبیاری مورد بررسی قرار گیرد (Del Amor *et al.*, 2010). در این رابطه، کاتولین یک ماده ضد تعرق است و آترازین نیز در غلظت بالا به‌عنوان علف‌کش، اما در غلظت پایین‌تر به‌عنوان ماده ضد تعرق استفاده می‌شود (Cantore and Albrizio, 2009).

عبداله و همکاران (Abdullah *et al.*, 2015) نشان دادند که مصرف ماده ضد تعرق کیتوسان در شرایط تنش خشکی، مصرف آب روزانه، ضریب تعرق، هدایت روزنه‌ای و افت فشار تورگر را کاهش داد و سرعت فتوسنتز و عملکرد گیاه افزایش یافت. ویراسینگ و همکاران (Weerasinghe *et al.*, 2016) گزارش کردند که کاربرد ماده ضد تعرق، باعث انجام بهینه مراحل میوز و کاهش اثر تنش خشکی بر

دانه‌های گرده و عملکرد محصول شد. ولی‌محمدی و همکاران (Valimohamadi *et al.*, 2014) نیز گزارش دادند که سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی مواد ضد تعرق بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین، این محققان بیان کردند که بیش‌ترین افزایش عملکرد در زمان آبیاری ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به‌دست آمد. بیات و سپهری (Bayat and Sepehri, 2012) نیز در بررسی برهم‌کنش مواد ضد تعرق در ذرت گزارش کردند که کارایی مصرف آب در هر سه تیمار آبیاری افزایش یافت.

از بارزترین واکنش‌های گیاهان نسبت به عامل تنش‌زا، افت فتوسنتز بر اثر اختلال در فعالیت دستگاه فتوسنتزی است (Chaves *et al.*, 2009). در این بین، کاربرد مواد ضد تعرق یک ابزار نویدبخش برای تنظیم تعرق در حفظ آب گیاه در حد مطلوب است که استراتژی‌هایی مانند استفاده از مواد ضد تعرق، پتانسیل تنظیم تعرق را دارد (Goreta *et al.*, 2007). همایونی و خزریان (Houmayouni and Khazarian, 2014) بیان کردند که بیش‌ترین میزان قند محلول برگ در سطح تنش شدید آبی گیاه به‌دست آمد. سایر محققان بیان کردند که با کاهش میزان رطوبت آب در خاک جهت حفظ عملکرد کیفی ذرت، توجه به کاربرد خاک‌پوشه پلاستیک و استفاده از مواد ضد تعرق جهت کاهش بار حرارتی ایجاد شده در گیاه بسیار ضروری است (Akçay and Dagdelen, 2016; Greaves and Wang, 2017).

بررسی نتایج نشان داد که استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک در مناطقی که با محدودیت رطوبت خاک مواجه هستند، جهت حفظ عملکرد قابل قبول، کارایی مناسب‌تری نشان می‌دهد. در شرایطی که نور خورشید زیاد می‌باشد، استفاده از تیمارهای ضد تعرق می‌تواند به بهبود عملکرد گیاه کمک کند. همچنین، استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک، می‌تواند کشت بعضی از گیاهان با سیستم‌های کشت با هزینه بالاتر را توجیه کند. کشت ذرت رنگین نیز به‌عنوان یک محصول اقتصادی در شرایط استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق، می‌تواند راهکاری بهینه جهت تداوم کشاورزی و ارتقای اقتصاد منطقه باشد. بر این اساس، این پژوهش طراحی و اجرا شد که هدف از آن بررسی اثر خاک‌پوشه و مواد ضد تعرق بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک ذرت رنگین تحت شرایط آبیاری محدود بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر خاکپوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق کائولین و آترازین تحت شرایط سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد بلال و برخی صفات فیزیولوژیک ذرت رنگین، آزمایشی مزرعه‌ای در منطقه برازجان استان بوشهر (با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۵ متر از سطح دریا) طی دو سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آزمایش آبیاری در سه سطح شامل (۱) ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل استفاده خاک، (۲) ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل استفاده خاک و (۳) ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل استفاده خاک، عامل فرعی در دو سطح شامل خاکپوشه پلاستیک و بدون خاکپوشه و عامل فرعی فرعی در سه سطح شامل مواد ضد تعرق کائولین و آترازین و شاهد بدون مصرف ماده ضد تعرق بود.

ابعاد کرت‌های آزمایش ۴×۷ متر، فاصله بین بلوک‌ها سه متر، فاصله بین کرت‌های اصلی از یکدیگر دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی از یکدیگر یک متر لحاظ شد. بافت خاک لوم رسی، میزان کربن آلی خاک ۰/۵۳ درصد، میزان هدایت الکتریکی آن ۰/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر، میزان نیتروژن کل خاک ۰/۲۵ درصد، میزان اسیدپتته ۷/۹۳ و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک معادل ۱۱/۱ و ۲۱۹ پی‌پی‌ام بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم کود فسفر (از منبع سوپرفسفات تریپل) و ۵۰

کیلوگرم کود پتاسه (از منبع سولفات پتاسیم) به‌صورت پایه تأمین شد. کشت بذر در تاریخ یک اسفند ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ صورت پذیرفت. کود نیتروژن به‌میزان ۵۰ کیلوگرم (از منبع اوره) در دو مرحله، دو سوم پس از مرحله تنک کردن و یک سوم باقیمانده در مرحله ظهور گل تاجی به گیاه داده شد.

پس از آماده‌سازی بستر کاشت لوله‌های آبیاری نواری نصب و روی ردیف‌های کشت قرار گرفتند. سپس به‌منظور اعمال خاکپوشه پلاستیک، پلاستیک‌هایی به عرض ۵۰ سانتی‌متر روی خطوط کاشت و نیز نوارهای آبیاری قرار داده شد، به‌طوری‌که لبه‌های پلاستیک در حاشیه و پایین خطوط کشت قرار گرفت. به‌منظور کاشت بذر، خاکپوشه پلاستیک به قطر ۷ سانتی‌متر پاره شد و بذرها با فاصله ۲۲/۵ سانتی‌متر از یکدیگر روی ردیف‌های کاشت و با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و تراکم ۵۹۳۰۰ بوته در هکتار با دست کشت شدند (Bavi et al., 2016). مواد ضد تعرق آترازین به نسبت ۵۰۰ گرم در هکتار و کائولین به نسبت ۴۰۰ گرم در هکتار (در هر یک از مراحل پیدایش ابریشم (R_1) و تاول‌زنی (R_2) بلال، به‌ترتیب حدود ۲۵۰ و ۲۰۰ گرم در هکتار) محلول‌پاشی شد (Kazempour and Tajbakhsh, 2002). محلول‌پاشی با سمپاش دستی پس از پشت سر گذاشتن گرمای روزانه و در هنگام غروب آفتاب انجام شد. محلول‌پاشی طوری صورت گرفت که تمام سطح بالا و پایین برگ با ماده آترازین و کائولین خیس و قطرات محلول جاری شد. شاخص‌های آب و هوایی از کاشت تا برداشت ذرت رنگین در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های آب و هوایی منطقه در فصل کاشت تا برداشت ذرت رنگین در سال‌های اجرای آزمایش

Table 1. Climatic factors of the region from planting to harvest season of rainbow corn in experimental years

Month	Mean daily minimum temperature (°C)		Mean daily maximum temperature (°C)		Total precipitation (mm)		Mean evaporation (mm)	
	2015-2016	2016-2017	2015-2016	2016-2017	2015-2016	2016-2017	2015-2016	2016-2017
March	15.5	14.2	29.0	26.2	8.1	33.7	5.4	4.5
April	17.0	20.1	30.8	32.5	6.8	11.6	7.5	7.3
May	24.2	25.4	39.6	40.9	0.0	1.0	13.5	12.4
June	26.4	27.8	43.2	45.8	0.0	1.0	13.9	14.3

استفاده خاک به‌عنوان سطح شاهد آبیاری در نظر گرفته شد. برای اعمال سطوح مختلف آبیاری، رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه به‌منظور رسیدن به رطوبت لازم برای سطوح ۲۵، ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی آب قابل

در تمامی روش‌های کشت، آبیاری اولیه به‌طور یکسان به‌منظور رشد اولیه و استقرار گیاه صورت گرفت. پس از استقرار گیاه و در مرحله پنج برگی، سطوح آبیاری بر اساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. تخلیه رطوبتی ۲۵ درصد آب قابل

نتایج و بحث

عملکرد بلال تر

قبل از تجزیه مرکب داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد و چون واریانس خطاهای آزمایشی یکنواخت بود، بنابراین تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد. اثر سال به جز کلروفیل‌های a، b و کل و نیز پروتئین محلول برگ، بر سایر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود. عدم معنی‌داری اثر سال بر سایر صفات اندازه‌گیری شده به دلیل مشابه بودن شرایط آب و هوایی در دو سال آزمایش در منطقه بود. نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح آبیاری، خاک‌پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر عملکرد بلال تر معنی‌دار شد (جدول ۲). در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، بیش‌ترین عملکرد بلال معادل ۱۷۵۹/۸ گرم بر متر مربع در تیمار خاک‌پوشه پلاستیک و استفاده از آترازین و کم‌ترین مقدار آن، معادل ۱۱۶۵/۷ گرم بر متر مربع در تیمار بدون خاک‌پوشه پلاستیک و ماده ضد تعرق به‌دست آمد (جدول ۳). با کاهش میزان رطوبت خاک، عملکرد بلال تر کاهش یافت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک در شرایط کم‌آبی، باعث حفظ رطوبت خاک می‌شود. با کاهش شیب جریان حرکت رطوبت از عمق به سطح خاک در خاکی که سطح آن خشک است، رطوبت خاک توسط لوله‌های مویین به طرف سطح خاک با سرعت بیشتری منتقل می‌شود و موجب کاهش ذخیره آب موجود در خاک می‌شود. هنگامی که سطح خاک توسط خاک‌پوشه پلاستیک پوشیده شود به علت جلوگیری از تبخیر رطوبت سطح خاک، حرکت آب به سطح خاک توسط لوله‌های مویین آهسته می‌شود و در نتیجه، توزیع رطوبت در خاک یکنواخت شده و رطوبت بیش‌تری در خاک ذخیره می‌شود (Davari, 2016). چنگ و همکاران (Cheng et al., 2017) اذعان کردند که با کاهش شدید مقدار رطوبت خاک، عملکرد ذرت کاهش یافت. کم‌آبی با ایجاد محدودیت مبدا، منجر به کاهش فرایند فتوسنتز و تولید مواد پرورده گیاه شد و به دنبال آن، وزن هزار دانه کاهش یافت و نهایتاً عملکرد بلال با محدودیت مواجه شد.

استفاده خاک، اندازه‌گیری شد. سپس مقدار آب مصرفی با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت کرت و عمق توسعه ریشه بر حسب مترمکعب از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Sanchez et al., 1998). آبیاری هر تیمار تا رسیدن به ظرفیت زراعی انجام شد. میزان آب مصرفی توسط هر کرت آزمایشی به وسیله کنتور نصب شده در مزرعه اندازه‌گیری شد.

$$I_g = \frac{(\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times \tau \times \rho \times D \times A \times 100}{Ea} \quad (1)$$

در این رابطه، θ_{fc} میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی خاک، θ_{pwp} میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی، τ درصد تخلیه رطوبت از خاک (۲۵، ۴۰ و ۶۰ درصد)، ρ وزن مخصوص ظاهری خاک، D عمق توسعه ریشه (متر)، A مساحت کرت (مترمربع)، I_g میزان آب آبیاری (مترمکعب)، Ea راندمان آبیاری می‌باشد که به‌طور متوسط ۹۰ درصد در نظر گرفته شد.

جهت برداشت نهایی در زمان رسیدگی محصول، بلال‌های دو متر مربع از وسط کرت‌ها با رعایت حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف، برداشت و سپس توزین شد. کارایی مصرف آب از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (Farre and Faci, 2006):

$$WUE \text{ fresh ear} = \frac{GY}{Wap} \quad (2)$$

که در آن، GY (Grain Yield) کیلوگرم دانه تولید شده، Wap (Water Applied) مترمکعب آب مصرفی و $WUE \text{ fresh ear}$ (Water Use Efficiency fresh ear) کارایی مصرف آب است. دمای برگ به‌وسیله دماسنج اندازه‌گیری شد. صفات فیزیولوژیک شامل محتوای کلروفیل a، b و کل (Arnon, 1949)، محتوای رطوبت نسبی برگ (Mishra and Choudhuri, 1999) و میزان پروتئین محلول برگ از روش کار و میشر (Kar and Liu and Huang, 1976) و لیو و هانگ (Mishra, 2000) در مرحله R_1 از برگ‌ها اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین آثار اصلی به‌روش توکی و در صورت معنی‌دار بودن آثار متقابل، برش‌دهی انجام و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSMeans مقایسه شدند.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در ذرت رنگین تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و تیمارهای خاک پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق

Table 2. Analysis of rainbow corn traits as affected by irrigation regimes, plastic mulch and anti-transpiration materials

Source of variations	df	Ear yield	Water consumption	Water use efficiency	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Leaf temperature	Leaf relative water content	Leaf solution protein
Year (Y)	1	27921.95 ^{ns}	2187.00 ^{ns}	0.10022 ^{ns}	0.0075*	0.00108**	0.01444**	4.881 ^{ns}	36.1227 ^{ns}	10.1139**
Replication / Y	4	184855.43	12095.22	0.59629	0.024	0.00025	0.02854	20.518	365.4400	8.4033
Irrigation (A)	2	1084296.75**	5901.78 ^{ns}	4.82843**	0.356**	0.19164**	0.03478**	19.345**	7835.7407**	8.9226**
Y×A	2	236.76 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00087 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.00020 ^{ns}	0.00128 ^{ns}	0.083 ^{ns}	0 ^{ns} .7719	0.0775 ^{ns}
Replication×A / Y	8	12734.29	4790.94	0.04781	0.0008	0.00013	0.00109	1.031	9.4198	0.1675
Mulch (B)	1	2168457.77**	24119235.59**	0.32560*	0.4032**	0.01080**	0.54485**	8.036 ^{ns}	1507.5208**	26.0387**
Y×B	1	473.59 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00026 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.00085 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.1466 ^{ns}	0.2790 ^{ns}
A×B	2	180245.45**	16508.59 ^{ns}	0.45793**	0.1871**	0.0170**	0.09517**	4.865 ^{ns}	389.8998**	2.0089**
Y×A×B	2	39.41 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00012 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.00020 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0370 ^{ns}	0.0221 ^{ns}
Replication×B / (A×Y)	12	7896.28	348159.35	0.04052	0.0025	0.00007	0.00259	5.037	36.3657	0.9298
Anti-transpiration materials (C)	2	796163.18**	11383759.00**	0.01588 ^{ns}	0.0075*	0.0077**	0.02536**	106.987**	440.6805**	0.0612 ^{ns}
A×C	4	95266.34**	10360.78 ^{ns}	0.57155**	0.0007 ^{ns}	0.0007**	0.00189 ^{ns}	9.846*	9.3094 ^{ns}	0.0490 ^{ns}
B×C	2	41952.14*	821955.81**	0.00372 ^{ns}	0.0035 ^{ns}	0.0040**	0.00002 ^{ns}	2.985 ^{ns}	0.6745 ^{ns}	0.0750 ^{ns}
Y×C	2	173.81 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.000007 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.062 ^{ns}	0.0410 ^{ns}	0.0006 ^{ns}
A×B×C	4	67134.96**	7363.48 ^{ns}	0.30319**	0.0011 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.00099 ^{ns}	10.906*	3.9699 ^{ns}	0.0441 ^{ns}
Y×A×B×C	10	16.02 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00010 ^{ns}	0.000002 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0006 ^{ns}
Error	48	11888.54	13781.67	0.05849	0.0015	0.00009	0.00161	3.664	22.7514	0.4786
CV (%)	-	8.92	2.41	9.64	7.91	6.31	6.15	8.69	6.93	8.07

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

که رطوبت مورد نیاز گیاه تامین شود و نیاز به مصرف آب کاهش یابد. استفاده از مواد ضدتعرق یکی از روش‌های بسیار کارآمد در کاهش میزان هد رفت آب از طریق جریان تعرق است. این مواد با افزایش مقاومت برگ در برابر از دست دادن آب، آثار مخرب تنش خشکی را در گیاه بهبود می‌بخشند. مواد ضد تعرق با کاهش تلفات آب از سطح برگ، سرعت انتشار بخار آب از گیاه را کاهش می‌دهند. این مواد به‌صورت لایه‌ای روی برگ‌های گیاه قرار می‌گیرند و تا اندازه‌ای از خروج بخار آب حاصل از بافت‌های درونی گیاه جلوگیری می‌کنند، ولی مانع تبادلات گازی گیاه نمی‌شوند. از آن جایی که تولید ماده خشک به مصرف آب در گیاه وابسته است، با استفاده از مواد ضد تعرق و کاهنده‌های تنش، تعرق کاهش و پتانسیل آب برگ حفظ می‌شود. با بهبود شرایط آبی گیاه، تقسیم سلولی و تولید مواد فتوسنتزی در کانوپی کل و به تبع آن تجمع ماده خشک، عملکرد گیاه زیاد می‌شود و در نهایت منجر به کاهش مصرف آب می‌شود. دارلینگتون و همکاران (Darlington *et al.*, 2008) نشان دادند که کاربرد ماده ضد تعرق ۵-هیدروکسی بنزیمیدازول (آمیپول) موجب کاهش حدود ۲۵ درصدی ضریب تعرق در اواسط روز و مصرف روزانه آب در سویا شد.

کارایی مصرف آب

نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری، خاک‌پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، بیش‌ترین کارایی مصرف آب معادل ۳/۱ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار خاک‌پوشه پلاستیک و استفاده از کائولین به‌دست آمد که البته اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت و کم‌ترین آن معادل ۲/۳ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار بدون خاک‌پوشه پلاستیک و استفاده از آترزین به‌دست آمد (جدول ۳).

با توجه به مخرج کسر کارایی مصرف آب که میزان آب مصرفی می‌باشد، رابطه بین میزان مصرف آب و کارایی مصرف آب معکوس است و بنابراین با کاهش میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب گیاه افزایش می‌یابد. اگرچه صورت کسر کارایی مصرف آب همان عملکرد دانه می‌باشد، اما افزایش میزان کارایی مصرف آب، به‌علت کاهش مخرج کسر یعنی میزان آب مصرفی است.

استفاده از آترزین نسبت به کائولین، باعث افزایش عملکرد بلال شد (جدول ۳). آترزین با تأثیر بر سلول‌های محافظ روزنه اجازه نمی‌دهد که آن‌ها به‌طور کامل باز شوند، بنابراین در طول روز، زمانی که گیاه با دمای بالا و گرمای هوا مواجه شود، با کاهش فعالیت سلول‌های محافظ روزنه باعث حفظ دستگاه فتوسنتزی می‌شود. کائولین با انعکاس نور و کاهش تشعشع خالص (کاهش تشعشع ورودی و افزایش تشعشع خروجی) باعث کاهش تعرق و تولید مواد فتوسنتزی می‌شود (Del Amor *et al.*, 2010). کاهش یک الی شش درجه سلسیوس دمای برگ و افزایش فتوسنتز تحت شرایط تنش رطوبتی با استفاده از مواد ضد تعرق گزارش شده است (Patil *et al.*, 2009).

استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک، به‌علت عدم تماس هوای خشک با سطح خاک، همچون گلخانه عمل کرده و از تبخیر جلوگیری می‌کند. همچنین در صورت تبخیر آب از سطح خاک، بخار آب در زیر خاک‌پوشه پلاستیک دوباره تبدیل به قطرات آب می‌شود و به سطح خاک بازخواهد گشت. این چرخه همواره ادامه دارد و به مقدار قابل توجهی از تبخیر آب جلوگیری می‌کند. گزارش شده است که تیمار خاک‌پوشه پلاستیک در مقایسه با تیمار عدم استفاده از خاک‌پوشه، به‌دلیل افزایش تجمع ماده خشک قبل از مرحله تولید ابریشم، باعث افزایش عملکرد دانه ذرت شد (Xu *et al.*, 2015). ولی محمدی و همکاران (Valimohamadi *et al.*, 2014) گزارش دادند که در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی مواد ضد تعرق، باعث افزایش عملکرد گیاه شد.

میزان آب مصرفی

نتایج نشان داد که برهمکنش خاک‌پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر میزان آب مصرفی معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که در تیمار بدون خاک‌پوشه پلاستیک، بیش‌ترین میزان آب مصرفی (۶۰۲۶/۷ متر مکعب) در سطح آترزین و کم‌ترین میزان آب مصرفی (۴۶۵۵/۷ متر مکعب) در سطح کائولین به‌دست آمد که با تیمار بدون ماده ضد تعرق اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). در تیمار خاک‌پوشه پلاستیک نیز بیش‌ترین میزان آب مصرفی (۴۹۱۱/۱ متر مکعب) در سطح آترزین و کم‌ترین میزان آب مصرفی (۴۰۵۹/۵ متر مکعب) در سطح کائولین به‌دست آمد (جدول ۵).

خاکپوشه پلاستیک مانع هدررفت آب از طریق فرایند تبخیر می‌شود. رطوبت زیر خاک‌پوشه پلاستیک باعث شد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبیاری، خاک پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر برخی صفات اندازه گیری شده در ذرت رنگین

Table 3. Mean comparisons of irrigation, plastic mulch and anti- transpiration materials interaction on some evaluated traits in rainbow corn

Irrigation regimes	Plastic mulch	Anti-transpiration materials	Fresh ear yield (g.m ⁻²)	Water use efficiency (kg.m ⁻³)	Leaf temperature (°C)
25% water depletion of soil usable water (A ₁)	No-plastic mulch (B ₁)	Kaolin (C ₁)	1249.26a	3.04a	20.77 b
		Atrazine (C ₂)	1165.79a	2.36 b	23.26 a
		No-anti transpiration materials (C ₃)	1165.78a	2.77 ab	20.51 b
	Plastic mulch (B ₂)	Kaolin (C ₁)	1479.35 b	3.18 a	20.14 b
		Atrazine (C ₂)	1759.84 a	2.97 a	23.44 a
		No-anti transpiration materials (C ₃)	1633.99 ab	3.08 a	20.12 b
40% water depletion of soil usable water (A ₂)	No-plastic mulch (B ₁)	Kaolin (C ₁)	970.34 ab	2.38 ab	20.55 b
		Atrazine (C ₂)	1243.64 a	2.54 a	23.27 a
		No-anti transpiration materials (C ₃)	945.04 b	2.23 b	20.51 b
	Plastic mulch (B ₂)	Kaolin (C ₁)	1108.70 b	2.38 a	21.57 b
		Atrazine (C ₂)	1514.55 a	2.50 a	24.76 a
		No-anti transpiration materials (C ₃)	1348.18 ab	2.53 a	20.36 b
60% water depletion of soil usable water (A ₃)	No-plastic mulch (B ₁)	Kaolin (C ₁)	749.92 b	1.85 b	21.23 b
		Atrazine (C ₂)	1256.44 a	2.25 a	24.52 a
		No-anti transpiration materials (C ₃)	970.62 ab	2.00 ab	20.98 b
	Plastic mulch (B ₂)	Kaolin (C ₁)	995.17 b	2.13 c	24.44 a
		Atrazine (C ₂)	1363.11 a	2.54 a	25.47 a
		No-anti transpiration materials (C ₃)	1064.49 ab	2.29 b	20.22 b

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

بیشترین محتوای کلروفیل a (۰/۶۰۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار خاکپوشه پلاستیک و کمترین مقدار آن (۰/۵۷۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار بدون خاکپوشه به دست آمد (جدول ۶). استفاده از خاکپوشه پلاستیک باعث افزایش محتوای کلروفیل a شد (جدول ۶). سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در مقایسه با سایر سطوح آبیاری به دلیل کمبود رطوبت خاک، باعث کاهش محتوای کلروفیل a شد. تیمارهایی که در طول مراحل رشدی با محدودیت کم آبی مواجه نبودند، دارای بیشترین محتوای کلروفیل a بودند. به نظر می رسد که در شرایط تنش ملایم، کاهش میزان فتوسنتز خالص گیاه در درجه اول، ناشی از بسته شدن روزنهها باشد، اما در شرایط کم آبی، اثر روزنه‌ای ممکن است با افزایش مقاومت مزوفیل و تأثیر زیان باری که تنش بر غشای تیلاکوئیدها می گذارد، تشدید شود. کاهش محتوای کلروفیل a و کاهش سبز بودن گیاه، می تواند در نتیجه تخریب کلروفیل به خاطر محدودیت شدید کم آبی باشد که به کاهش فتوسنتز خالص منجر شد. از نشانه‌های وجود تنش اکسیداتیو، محتوای کم کلروفیل تحت شرایط تنش رطوبتی است که ممکن است باعث اکسیداسیون نوری رنگدانه و تخریب کلروفیل شود (Giancarla et al., 2013).

تأثیر مواد ضد تعرق بر میزان محتوای کلروفیل a معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین محتوای کلروفیل a (۰/۵۵۱ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار آترازین و کمترین مقدار آن در تیمار کائولین (۰/۴۸۳ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد (جدول ۷). پایین بودن دمای برگ و بالا بودن میزان آب و پتانسیل آب برگ در تیمارهای آترازین، علت افزایش تشکیل کلروفیل و بالا بودن غلظت کلروفیل a در برگ است. با توجه به این امر که تحت شرایط کم آبی، پتانسیل آب گیاه کاهش می یابد، بنابراین گیاه با بسته نگاه داشتن روزنهها طی روز، همانند استفاده از آترازین تا حدی محتوای رطوبت نسبی را کنترل می کند و مسدود شدن روزنهها، باعث افزایش شدت خسارت تنش اکسیداتیو، تخریب کلروفیل و کاهش محتوای کلروفیل می شود (Silva et al., 2007).

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاکپوشه پلاستیک بر محتوای کلروفیل b معنی دار بود (جدول ۲). در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، بیشترین محتوای کلروفیل b (۰/۲۵۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار خاکپوشه و کمترین مقدار

یاقی و همکاران (Yaghi et al., 2013) با بررسی عملکرد ذرت زیر خاکپوشه پلاستیک گزارش کردند که بیشترین کارایی مصرف آب زیر خاکپوشه پلاستیک معادل ۲/۷ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی به دست آمد و در تیمار بدون خاکپوشه پلاستیک، کارایی مصرف آب کاهش یافت. همچنین استفاده از خاکپوشه پلاستیک احتمالاً به دلیل حفظ رطوبت خاک و کاهش تبخیر آب از سطح خاک، منجر به افزایش کارایی مصرف آب شد. احتمال می رود که تحت شرایط تنش رطوبتی، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق گیاه کاهش یابد و در نتیجه باعث کاهش عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در گیاه شود (Shasha et al., 2017).

نتایج نشان داد که با کاهش مصرف آب زیر خاکپوشه پلاستیک، می توان به حداکثر کارایی مصرف آب دست یافت. با کاهش تبخیر آب از سطح خاک، به دلیل وجود خاکپوشه پلاستیک، مصرف آب نیز کاهش یافت. با افزایش تبخیر آب از سطح خاک، نقش آترازین بیش تر از کائولین نمایان تر شد. کائولین با انعکاس نور و کاهش تشعشع خالص (کاهش تشعشع ورودی و افزایش تشعشع خروجی) باعث کاهش تعرق و کاهش مصرف آب می شود. گانگ و همکاران (Gang et al., 2010) گزارش کردند که محلول پاشی مواد ضد تعرق میزان فتوسنتز را در گیاه افزایش داد، ولی هدایت روزنه‌ای را کاهش داد. همچنین، این محلول پاشی شدت تعرق و تلفات آب را کاهش داد.

کاهش مصرف آب سبب افزایش کارایی مصرف آب شد (Mohawesh, 2016). تحت شرایط تنش خشکی، گیاهان الگوهای استخراج آب از خاک را تغییر می دهند و تلفات آب را با بسته نگاه داشتن روزنهها همانند نقش آترازین، کاهش توسعه و سطح برگ از طریق ریزش و یا پیری، جهت زنده ماندن و تکثیر به حداقل می رسانند. بنابراین، کاهش ظرفیت فتوسنتزی کائوبی به دلیل محدودیت انتشار دی اکسید کربن به درون محفظه زیر روزنه برگ به دنبال بسته شدن شدن روزنه، کاهش جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی و کاهش سطح برگ، ممکن است به کاهش کارایی مصرف نور، تولید ماده خشک و تولیدات گیاه منجر شود.

محتوای کلروفیل a, b و کل

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاکپوشه پلاستیک بر محتوای کلروفیل a معنی دار شد (جدول ۲). در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی،

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و مواد ضد تعرق بر محتوای کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای کلروفیل b به ترتیب (۰/۱۱۰ و ۰/۰۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر برگ) در تیمار آترازین و تیمار بدون مواد ضد تعرق به دست آمد که با تیمار کائولین اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۸). بنابراین با کاهش رطوبت خاک، محتوای کلروفیل برگ کاهش یافت. آترازین همانند کم‌آبی در مراحل مختلف رشد، باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی و بازسازی روبیسکو می‌شود و در نهایت با عدم فعالیت کلروپلاست بر اثر عدم تأمین آب کافی، پیری برگ‌ها اتفاق می‌افتد و سطح برگ کاهش می‌یابد. از آنجا که کلروفیل‌ها، ملکول‌های ضروری جهت دریافت انرژی خورشیدی در سیستم‌های فتوسنتزی هستند و غلظت آن‌ها به‌عنوان یک شاخص جهت ارزیابی قدرت منبع شناخته شده است، از این‌رو کاهش آن‌ها در شرایط کم‌آبی به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای به حساب می‌آید و با کاهش توان فتوسنتزی گیاه، عملکرد اقتصادی گیاه نیز کاهش می‌یابد (Ghazian Tafirishi *et al.*, 2014).

واکنش ذرت رنگین به مواد ضد تعرق تحت خاک‌پوشه پلاستیک آن (۰/۲۲۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار بدون خاک‌پوشه به‌دست آمد (جدول ۶). استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک به‌دلیل حفظ رطوبت خاک و افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ، باعث ساخت و تولید محتوای کلروفیل b در مقایسه با تیمار عدم استفاده از خاک‌پوشه شد. یکی از دلایل کاهش مقدار کلروفیل در شرایط کم‌آبی، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از است که این آنزیم در ساخت مجدد پروتئین در گیاهان نقش دارد و پروتئین‌هایی که با کلروفیل کمپلکس تشکیل داده‌اند را جهت ساخت پروتئین‌های جدید مورد نیاز گیاه جدا می‌کند و باعث تخریب کلروفیل می‌شود (Oukarroum *et al.*, 2009). از عوامل دیگر می‌توان به حمله رادیکال‌های آزاد، ناشی از کم‌آبی که سبب هیدرولیز پروتئین‌های تیلاکوئیدی و کاهش مقدار کلروفیل a و b و در نتیجه کاهش مقدار کل کلروفیل و شاخص پایداری آن می‌شوند، اشاره کرد. کاهش ماده خشک تحت شرایط تنش رطوبتی، می‌تواند به‌دلیل فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و نیز کاهش فتوسنتز به‌دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از برخی عوامل از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش خاک‌پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر برخی صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رنگین

Table 4. Mean comparisons of plastic mulch and anti-transpiration materials interaction effect on some measured traits in rainbow corn

Plastic mulch treatment	Anti-transpiration material	Water consumption (m ³)	Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)
No-plastic mulch (B ₁)	Kaolin (C ₁)	4655.72 b	0.135 ab
	Atrazine (C ₂)	6026.72 a	0.173 a
	No-anti transpiration material (C ₃)	532.61ab	0.129 b
Plastic mulch (B ₂)	Kaolin (C ₁)	4059.50b	0.173 a
	Atrazine (C ₂)	4911.17a	0.169 a
	No-anti transpiration material (C ₃)	4201.94ab	0.155 a

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی خاک‌پوشه بر میزان آب مصرفی ذرت رنگین

Table 5. Mean Comparison of the mulch main effects for water consumption of rainbow corn

Plastic mulch treatment	Water consumption (m ³)
No-plastic mulch (B ₁)	5336 a
Plastic mulch (B ₂)	4390.9 b

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

کلروفیل‌های a و b برگ افزایش یابند. منصوری فر و همکاران (Mansouri-Far *et al.*, 2016) گزارش کردند که کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ از جمله عوامل مؤثر در تخریب و کاهش محتوای کلروفیل a و نهایتاً کاهش فرایند فتوسنتز است. تاثیر مواد ضد تعرق نیز بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار شد (جدول ۲). در اثر استفاده از ماده ضد تعرق آترازین، محتوای کلروفیل کل گیاه افزایش یافت (جدول ۷) که دلیل اصلی افزایش محتوای کلروفیل در اثر محلول‌پاشی آترازین را افزایش فعالیت آلفاآمینولولونیک اسید دهیدراتاز که در سنتز کلروفیل موثر است، نسبت داده‌اند (Wu *et al.*, 1971).

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاک‌پوشه پلاستیک بر محتوای کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۲). با کاهش مقدار رطوبت خاک، محتوای کلروفیل کل نیز کاهش یافت (جدول ۶). خاک‌پوشه پلاستیک به علت عدم تماس هوای خشک با سطح خاک و تابش خورشیدی به سطح آن، از تبخیر جلوگیری می‌کند. همچنین در صورت تبخیر آب از سطح خاک، بخار آب در زیر خاک‌پوشه پلاستیک دوباره تبدیل به قطرات آب می‌شود و به سطح خاک بازمی‌گردد. این چرخه همواره ادامه دارد و به مقدار قابل توجهی از تبخیر آب جلوگیری می‌کند. بنابراین حفظ رطوبت زیر خاک‌پوشه پلاستیک باعث شد که میزان

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاک‌پوشه پلاستیک بر برخی صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رنگین
Table 6. Mean comparisons of different Irrigation level and plastic mulch interaction effect on some measured traits in rainbow corn

Irrigation level	Plastic mulch treatment	Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)	Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)	Total chlorophyll (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)	Leaf relative water content (%)	Leaf solution protein (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)
25% water depletion of soil usable water (A ₁)	No-plastic mulch (B ₁)	0.574 b	0.220 b	0.795 b	80.51 b	8.47 b
	Plastic mulch (B ₂)	0.607 a	0.255 a	0.863 a	90.68 a	9.63 a
40% water depletion of soil usable water (A ₂)	No-plastic mulch (B ₁)	0.483 b	0.105 b	0.588 b	62.47 a	7.92 b
	Plastic mulch (B ₂)	0.528 a	0.159 a	0.687 a	62.44 a	9.26 a
60% water depletion of soil usable water (A ₃)	No-plastic mulch (B ₁)	0.248 b	0.083 b	0.361 b	52.04 b	7.83 b
	Plastic mulch (B ₂)	0.537 a	0.112 a	0.621 a	64.32 a	8.38 a

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

دمای برگ (۲۴/۵ سلسیوس) در تیمار آترازین به‌دست آمد (جدول ۳). با کاهش میزان سطح آبیاری، دمای سطح برگ گیاه افزایش یافت (جدول ۳). در مواقعی که گیاه با تنش رطوبتی مواجه می‌شود، به‌دنبال آن تنش دمایی نیز ایجاد می‌شود. با ایجاد تنش دمایی، دمای اطراف گیاه افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل، با کاهش رطوبت خاک، دمای سطح برگ در این تحقیق افزایش یافت. استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک به‌دلیل اثر گلخانه‌ای در زیر خاک‌پوشه، باعث افزایش دمای محیط و اطراف گیاه می‌شود (Hamzei *et al.*, 2016). آترازین باعث بسته نگه‌داشتن روزه‌ها و کائولین باعث انعکاس نور از سطح گیاه شد و به‌همین دلیل در تیمار کائولین نسبت به آترازین، دمای برگ بیش‌تر کاهش یافت (جدول ۳).

دمای برگ

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاک‌پوشه پلاستیک و مواد ضد تعرق بر میزان دمای برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی و تیمار خاک‌پوشه پلاستیک، بیش‌ترین میزان دمای برگ (۲۳/۴ درجه سلسیوس) در تیمار آترازین و در تیمار بدون خاک‌پوشه پلاستیک معادل ۲۳/۲ سلسیوس در تیمار آترازین به‌دست آمد (جدول ۳).

در سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در تیمار خاک‌پوشه پلاستیک، بیش‌ترین دمای برگ (۲۵/۴ درجه سلسیوس) در تیمار خاک‌پوشه پلاستیک و آترازین به‌دست آمد که با تیمار کائولین اختلاف معنی‌داری نداشت و در تیمار بدون خاک‌پوشه پلاستیک، بیش‌ترین میزان

کائولین باعث انعکاس نور خورشید می شود و به دلیل پوشش نازکی که روی برگها ایجاد می کند، دمای برگ را کاهش می دهد (Tururian et al., 2017).

با کاهش سطح آبیاری، دمای سطح برگ افزایش یافت. بین دمای سطح برگ و تعرق صورت گرفته از سطح برگ ارتباط مستقیمی وجود دارد. هرچه میزان تبادلات گازی صورت گرفته از سطح برگ افزایش یابد، میزان دمای سطح برگ کاهش بیش تری پیدا می کند و به این دلیل، تغییرات دمای سطح برگ به طور نسبتاً شدیدی وابسته به وضعیت آبی گیاه و میزان باز بودن روزنهها می باشد (Bajons et al., 2005). قرارگیری گیاه در شرایط رطوبتی ۶۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، دمای سطح برگ را به سبب کاهش گشودگی روزنه‌ای و کاهش میزان تبادلات گازی افزایش می دهد. استفاده از کائولین باعث کاهش دمای سطح برگ نسبت به تیمار آترازین شد. احتمالاً این اختلاف دمایی را می توان به افزایش میزان رطوبت نسبی برگ و کاهش جذب انرژی خورشید به سبب افزایش بازتاب آن نسبت داد. ترکیبات ضد تعرق با ایجاد هماهنگی بین میزان گشودگی روزنه‌ای و میزان تبادلات گازی به ویژه در سطوح مختلف آبیاری بر میزان دمای سطح برگ تاثیر می گذارند (Ludwig et al., 2010).

محتوای رطوبت نسبی برگ

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاک پوشه پلاستیک بر محتوای رطوبت نسبی برگ معنی دار شد (جدول ۲). در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، بیش ترین محتوای رطوبت نسبی برگ (۹۰/۶ درصد) در تیمار خاک پوشه پلاستیک و کم ترین مقدار آن (۸۰/۵ درصد) در تیمار بدون خاک پوشه به دست آمد (جدول ۶). به همین ترتیب، در سطح آبیاری ۶۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی نیز بیش ترین محتوای رطوبت نسبی برگ (۶۴/۳ درصد) در تیمار خاک پوشه پلاستیک و کم ترین مقدار آن (۵۲/۰ درصد) در تیمار بدون خاک پوشه به دست آمد (جدول ۶). با کاهش مقدار رطوبت خاک، محتوای رطوبت نسبی برگ نیز کاهش یافت (جدول ۶). به نظر می رسد که استفاده از تیمارهای خاک پوشه پلاستیک به دلیل حفظ رطوبت بیش تر در خاک به خاطر کاهش تبخیر آب از سطح خاک، باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ می شوند.

کم آبی، موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد. هنگامی که تعرق گیاه افزایش می یابد، محتوای نسبی آب کاهش می یابد و جذب آب تحت شرایط کم آبی منجر به کاهش تورژسانس سلول می شود. کاهش محتوای نسبی آب برگ به تدریج هدایت روزنه‌ای را کاهش داد و جذب دی اکسید کربن و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافت.

اثر مواد ضد تعرق نیز بر محتوای رطوبت نسبی برگ معنی دار شد (جدول ۲). بیش ترین محتوای رطوبت نسبی (۷۱/۹ درصد) در تیمار آترازین و کم ترین مقدار آن (۶۴/۹ درصد) در تیمار بدون ماده ضد تعرق به دست آمد (جدول ۷). احتمالاً بسته شدن روزنه‌ها به وسیله آترازین باعث کاهش هدررفت رطوبت سلول می شود که به دنبال آن محتوای رطوبت سلول حفظ می شود. دل‌آمر و همکاران (Del Amor et al., 2010) گزارش کردند که استفاده از آترازین باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش رطوبتی شد.

میزان پروتئین محلول برگ

نتایج نشان داد که برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و خاک پوشه پلاستیک بر میزان پروتئین محلول برگ معنی دار شد (جدول ۲). با کاهش میزان آب خاک، میزان پروتئین محلول برگ کاهش یافت (جدول ۶). یکی از دلایل کاهش میزان پروتئین محلول برگ، افزایش محتوای پرولین بود (جدول ۶). جباسینگ و سراوانا بابو (Jabasingh and Saravana Babu, 2014) در هند بیان کردند که در شرایط کم آبی، میزان پروتئین محلول برگ کاهش یافت. بنابراین، کاهش رطوبت خاک در تیمارهای بدون خاک پوشه پلاستیک، منجر به کاهش میزان پروتئین محلول برگ شد (جدول ۶). همچنین، در تیمارهایی که از خاک پوشه پلاستیک استفاده شد، حفظ آب خاک زیر خاک پوشه پلاستیک، باعث افزایش میزان پروتئین محلول برگ شد (جدول ۶). بنابراین، کاهش رطوبت خاک در تیمارهای بدون خاک پوشه پلاستیک، منجر به کاهش میزان پروتئین محلول برگ شد (جدول ۶). پری و همکاران (Parry et al., 2002) گزارش کردند که در شرایط کم آبی، پروتئین‌های استرومای کلروپلاست به ویژه آنزیم رابیسکو به وسیله رادیکال‌های فعال اکسیژن به صورت غیر آنزیمی تخریب می شوند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی مواد ضد تعرق بر برخی صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رنگین

Table 7. Mean comparison of anti-transpiration material main effects on some evaluated traits in rainbow corn

Anti-transpiration material	Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)	Total chlorophyll (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)	Leaf relative water content (%)
Kaolin (C ₁)	0.483 b	0.617 b	69.35 b
Atrazine (C ₂)	0.511 a	0.637 a	71.90 a
No-anti-transpiration material (C ₃)	0.495 ab	0.617 b	64.98 c

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهمکنش سطوح مختلف آبیاری و مواد ضد تعرق بر برخی صفات اندازه‌گیری شده در ذرت رنگین

Table 8. Mean comparison of different irrigation levels and anti-transpiration materials effect on some measured physiological traits in rainbow corn

Irrigation regime	Anti-transpiration material	Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ fresh leaf weight)
25% water depletion of soil usable water (A ₁)	Kaolin (C ₁)	0.227 b
	Atrazine (C ₂)	0.259 a
	No-anti-transpiration material (C ₃)	0.226 b
40% water depletion of soil usable water (A ₂)	Kaolin (C ₁)	0.139 ab
	Atrazine (C ₂)	0.144 a
	No-anti transpiration material (C ₃)	0.112 b
60% water depletion of soil usable water (A ₃)	Kaolin (C ₁)	0.095 ab
	Atrazine (C ₂)	0.110 a
	No-anti transpiration material (C ₃)	0.088 b

Means followed by the similar letters in each column are not significantly different by Tukey's test at 5% probability level.

در ذرت رنگین شد. این روش باعث می‌شود که با کاهش تبخیر آب از سطح خاک، مصرف آب کم‌تر شود. با افزایش تبخیر آب از سطح خاک، بیش‌ترین عملکرد بلال در تیمار استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک و آترازین مشاهده شد. در سطح آبیاری ۲۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، بیش‌ترین عملکرد بلال معادل ۱۷۵۹/۸ گرم بر متر مربع در تیمار خاک‌پوشه پلاستیک و استفاده از آترازین به‌دست آمد. با افزایش تبخیر آب از سطح خاک نیز بیش‌ترین عملکرد بلال تر در تیمار استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک و آترازین مشاهده شد. در مجموع، استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک به‌دلیل حفظ رطوبت خاک، افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ و فتوسنتز، باعث افزایش عملکرد بلال و کارایی مصرف آب در ذرت رنگین شد.

گودرزبان قهفرخی و همکاران (Goodarziyan- Ghahfarokhi *et al.*, 2016) با بررسی سطوح مختلف آبیاری بر صفات فیزیولوژیک ذرت در ایران بیان کردند که در شرایط کم‌آبی، غلظت پروتئین محلول برگ کاهش یافت. در شرایط کم‌آبی، ممکن است تجمع پرولین به‌علت هیدرولیز پروتئین یا مهار سنتز پروتئین توسط تنش اکسیداتیو و کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II باشد. بنابراین، کاهش پروتئین ممکن است ناشی از تاخیر سنتز پروتئین و تسریع روند تخریب پروتئین برگ باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از خاک‌پوشه پلاستیک، باعث به‌دست آمدن بیش‌ترین عملکرد و تولید

References

- Abdullah, A., Mohammed Azize, M., Siddique, K. and Flower, K. 2015.** Film antitranspirants increase yield in drought stressed wheat plants by maintaining high grain number. **Journal of Agricultural Water Management** 159: 11-18.
- Akcaay, S. and Dagdelen, N. 2016.** Water use efficiency, yield and yield component of second crop sunflower under deficit irrigation. **Turkish Journal of Field Crops** 21 (2): 190-199.
- Arnon, D. I. 1949.** Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology** 24 (1): 1-15.
- Bajons P., Klinger, G. and Schlosser, V. 2005.** Determination of stomatal conductance by means of infrared thermography. **Journal of Infrared Physics and Technology** 46: 429-439
- Bavi, H., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A. and Koochakzadeh, A. 2016.** Effects of plant density on sweet and baby corn (Hybrid KSC 403) yield and yield components. **Iranian Journal of Field Crops Research** 14 (1): 100-108. (In Persian with English Abstract).
- Bayat, S. and Sepehri, A. 2012.** Paclobutrazol and salicylic acid application ameliorates the negative effect of water stress on growth and yield of maize plants. **Journal of Research in Agricultural Science** 8 (2): 127-139.
- Cantore, V. and Albrizio, R. 2009.** Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. **Environmental and Experimental Botany** 66: 279-288.
- Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. 2009.** Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany-London** 103: 551-560.
- Cheng, L. I., Sun, B. C., Tang, H. J., Wang, T. Y., Yu, L. I., Zhang, D. F., Xie, X. Q., Shi, Y. S., Song, Y. C., Yang, X. H. and Li, J. S. 2017.** Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. **Journal of Integrative Agriculture** 30 (16): 858-66.
- Darlington, A., Vishnevestkaia, K. and Blake, T. 2008.** Growth enhancement and antitranspirant activity following seed treatment with a derivative of 5-hydroxybenzimidazole (Ambiol) in four drought-stressed agricultural species. **Physiologia Plantarum** 97 (2): 217-222.
- Davari, A. 2016.** The role of mulching on soil characteristics. **International Journal of Agriculture and Biosciences** 5 (5): 250-256.
- Del Amor, F. M., Cuadra-Crespo, P., Walker, D. J., Camara, J. M. and Madrid, R. 2010.** Effect of foliar application of antitranspirant on photosynthesis and water relations of pepper plants under different levels of CO₂ and water stress. **Plant Physiology** 167: 1232-1238.
- Erwin, A. T. 1949.** The origin and history of pop corn, *Zea mays* L. var. *indurata* (Sturt.) Bailey mut. *Everta* (sturt.) Erwin. **Agronomy Journal** 41 (2): 53-59.
- Farre, I. and Faci, J. M. 2006.** Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management** 83: 135-143.
- Gang, B., Hui, Z., Lin, L., Fei, L. and Ping, D. 2010.** Effect of anti-transpiration on vineyard in the extreme arid area. **Journal of Northern Horticulture** 16: 44-49.
- Ghazian Tafrihi, S., Ayeneband, A., Tavakoli, H., Khavari Khorasani, S. and Joleini, M. 2014.** Investigation on yield, yield components and secondary traits of sweet corn as affected by different irrigation levels and planting method. **Indian Journal of Fundamental and Applied Life Science** 22: 316-325.
- Giancarla, V., Madosa, E., Ciulca, S., Coradini, R., Iuliana, C., Mihaela, M. and Lazar, A. 2013.** Influence of water stress on the chlorophyll content in barley. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology** 17: 223-228.
- Goodarzian-Ghahfarokhi, M., Mansouri-Far, C., Saeidi, M. and Abdoli, M. 2016.** Different physiological and biochemical responses in corn hybrids subjected to drought stress at vegetative and reproductive stages. **Journal of Biological** 60 (1): 27-37.
- Goreta, S., Leskovar, D. I. and Jifon, J. L. 2007.** Gas exchange, water status, and growth of pepper seedlings exposed to transient water deficit stress are differentially altered by anti-transpirants. **American Society of Horticulture Science** 132: 603-610.
- Greaves, G. and Wang, Y. M. 2017.** The effect of water stress on radiation interception, radiation use efficiency and water use efficiency of maize in a tropical climate. **Turkish Journal of Field Crops** 22 (1): 114-125.

- Hamzei, J., Abasi, H. and Vaziri Amjad, Z. 2016.** Effect of different mulches on yield, yield components of grain maize and weeds dry weight. **Journal of crops Improvement (Journal of Agriculture)** 19 (1): 105-117. (In Persian with English Abstract).
- Houmayouni, H. and Khazarian, V. 2014.** Effect of different irrigation levels on soluble sugars, starch and proline in three corn hybrids. **Indian Journal of Scientific Research** 7 (1): 910-917.
- Jabasingh, C. and Saravana Babu, S. 2014.** Impact of water stress on protein content of corn (*Zea mays* L.). **Journal of Academic and Industrial Research** 2 (12): 2278-5213.
- Kar, M. and Mishra, D. 1976.** Catalase, peroxides and poly-phenoloxides activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology** 57: 315-319.
- Kattlewell, P. S., Heath, W. L. and Haigh, I. M. 2010.** Yield enhancement of droughted wheat by film antitranspirant application. **Agricultural Science** 3: 143-147.
- Kazempour, S. and Tajbakhsh, M. 2002.** Effect of some antitranspirants on vegetative characteristics, yield and yield parameters of corn under limited irrigation. **Iranian Journal of Agricultural Science** 33 (2): 205-211. (In Persian with English Abstract).
- Kumar, P., Lakshmi, N. J. and Mani, V. P. 2002.** Interactive effects of salicylic acid and phytohormones on photosynthesis and grain yield of soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Physiology and Molecular Biology of Plants** 6: 179-176.
- Liu, C. A. and Kadambot, H. M. S. 2015.** Does plastic mulch improve crop yield in semiarid farmland at high altitude? **Crop Economics Production and Management** 107 (5): 1724-1732.
- Liu, X. and Huang, B. 2000.** Heat stress injury in relation to membrane lipid peroxidation in creeping. **Crop Science** 40: 503-510.
- Ludwig N., Cabrini, R., Faoro, F., Gargano, M., Gomarasca, S., Iriti, M., Picchi, V. and Soave, C. 2010.** Reduction of evaporative flux in bean leaves due to chitosan treatment assessed by infrared thermography. **Journal of Infrared Physics and Technology** 53: 65-70.
- Mishra, A. and Choudhuri, M. A. 1999.** Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. **Journal of Plant Biology** 42: 409-415.
- Mohawesh, O. 2016.** Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water-use efficiency of eggplant in arid environments. **Journal of Agriculture Science and Technology** 18: 265-276.
- Oukarroum, A., Schansker, G. and Strasser, R. J. 2009.** Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using Chlorophyll a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. **Physiology Plant** 137: 188-199.
- Parry, M. A. J., Andralojc, P. J., Khan, S., Lea, P. J. and Keys, A. J. 2002.** Rubisco activity: Effects of drought stress. **Annals of Botany** 89: 833-839.
- Patil, R. P., Chetti, M. B. and Hiremath, S. M. 2009.** Influence of agrochemicals on morphophysiological characters, yield and yield components of sugarcane under moisture stress. **Karnataka Journal of Agriculture and Science** 22 (4): 759-761.
- Sakenian Dehkordi, N. and Farhadi, R. 2016.** Mulch treatment with mulch planter its effects on maize production. **Agricultural Science** 80 (4): 247-252.
- Sanches, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. 1998.** Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. **Field Crops Research** 59: 451-455.
- Shasha, J. I., Ling, T., Fusheng, L., Hongna, L., Sien, L., Taisheng, D. and Youjie, W. 2017.** Effect of a new antitranspirant on the physiology and water use efficiency of soybean under different irrigation rates in an arid region. **Frontiers of Agriculture Science and Engineering** 4 (2): 155-164.
- Silva, M. D. A., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. G. and Sharma, V. 2007.** Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugar cane. **Plant Physiology** 19 (3): 193- 201.
- Sun, S. J., Fan, Y. M., Xu, Z. H., Zhang, X. D. and Chi, D. C. 2014.** Effects of planting density on soil moisture and corn yield under plastic film mulching in a rain-fed region of northeast China. **Chinese Journal of Ecology** 33: 2650-2655.
- Tururian, Sh., Pasari, B. and Mohamadi, Kh. 2017.** The effect of deposition of kaolin and irrigation cut on the characteristics of safflower. **Physiology Plant** 7 (37): 49-63. (In Persian with English Abstract).
- Valimohamadi, F., Tagbaksh shishvan, M. and Shekari, F. 2014.** Effect of anti-stress and anti-transpirant materials on yield, yield components and seed quality of soybean under different irrigation regimes. **Advances in Environmental Biology** 8 (24): 371-378.

- Weerasinghe, M., Kettlewell, P., Grove, I. and Hare, M. 2016.** Evidence for improved pollen viability as the mechanism for film antitranspirant mitigation of drought damage to wheat yield. **Journal of Crop and Pasture Science** 67 (2): 137-146.
- Wu, M. T., Singh, B. and Salunkhe, D. K. 1971.** Influence of foliar application of seedling. Igran and GS-14254 on delta-aminolevulinic acid dehydratase of pea seedling. **Phytochemistry** 10: 2025-2027.
- Xu, J., Li, C., Liu, H., Zhou, P., Tao, Z. and Wang, P. 2015.** The effect of plastic film mulching on maize growth and water use in dry and rainy years northeast China. **Journal of National Basic Research Program of China** 1-14.
- Yaghi, T., Arsalan, A. and Naoum, F. 2013.** Cucumber (*Cucumis sativus* L.) water use efficiency under plastic mulch and drip irrigation. **Agricultural Water Management** 128: 149-157.
- Yaseen, R., Shafi, J., Ahmad, W., Rana, M. S., Salim, M. and Qaisrani, S. A. 2014.** Effect of deficit irrigation and mulch on soil physical properties, growth and yield of maize. **Environment and Ecology Research** 2 (3): 122-137.



University of Guilan
Faculty of Agricultural
Sciences

Cereal Research
Vol. 9, No. 1, Spring 2019 (55-70)

Response of yield and some physiological traits of rainbow maize to plastic mulch, anti-transpiration materials and irrigation regimes

Davoud Adelian¹, Hooshang Farajee^{2*}, Amin Salehi³ and Ali Moradi⁴

Received: October 13, 2018

Accepted: February 3, 2019

Abstract

The effects of plastic mulch, anti-transpiration materials and irrigation regimes were evaluated on ear yield and some physiological traits of rainbow maize. The experiment was carried out in Borazjan located in Bushehr Province, Iran, during 2016 and 2017 growing seasons. The experimental design was split-split plots in randomized complete block design with three replications. The main factor of the experiment was irrigation regimes at three levels including: 1) Irrigation after 25% water depletion of field capacity (no water deficit stress), 2) Irrigation after 40% water depletion of field capacity (mild water deficit stress) and 3) Irrigation after 60% water depletion of field capacity (severe water deficit stress), sub-factor at two levels including plastic mulch and without mulch and sub-sub-factor at three levels including kaolin and atrazine anti-transpiration materials and control treatment (without anti-transpiration materials). The results showed that the interaction of irrigation regimes, plastic mulch and anti-transpiration materials was significant on ear yield. At irrigation regime of 25% water depletion, the highest ear yield (1759.8 g.m⁻²) was found when soil surface was covered with plastic mulch and plants were sprayed with atrazine. On the other hand, the minimum ear yield (1165.7 g.m⁻²) was obtained when soil surface uncovered and no anti-transpiration materials were applied. With decreasing soil water, atrazine application increased fresh ear yield more than kaolin. Under severe water deficit stress condition (60% water depletion), chlorophyll and protein contents of leaves decreased. In total, the results of this research showed that application of plastic mulch and atrazine anti-transpiration are recommended to produce the highest quantitative and qualitative yield in rainbow maize in regions where water is the main limiting factor.

Keywords: Carotenoids, Ear yield, Leaf chlorophyll content, Rainbow maize, Water consumption

1. Ph. D. Candidate, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Yasouj, Iran

2. Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Yasouj, Iran

3. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Yasouj, Iran

4. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran

* Corresponding author: hooshangfarajee.yu.ac.ir@gmail.com