اثر پرولین و اسید سالیسیلیک بر پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت سیلویی تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

الهام مددی[۱] و سیف‌اله فلاح[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۷)

چکیده

منابع آب کشور محدود است، از این‌رو یکی از راه‌های جلوگیری از کاهش عملکرد ذرت در شرایط محدودیت رطوبت، استفاده از تنظیم کننده‌های رشد است. در این آزمایش میزان تأثیر محلول‌پاشی با پرولین با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی (۷۵ درصد آبیاری مطلوب (تنش ملایم) و ۵۰ درصد آبیاری مطلوب (تنش شدید)) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای آب نسبی برگ، کلروفیل، کاروتنوئید، شاخص سطح برگ، وزن برگ‌ها، ساقه و بلال، عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب در مقایسه با آبیاری مطلوب شد. با این حال، کمترین تأثیر رژیم رطوبتی بر شاخص سطح برگ (۹/۶۶ درصد) و بیشترین آن بر کاروتنوئید (۷۸ درصد) مشاهده شد. اگرچه تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و صفات مرتبط با آن شد، لیکن استفاده از پرولین در تنش ملایم با افزایش محتوای آب نسبی برگ و محتوای پرولین برگ و جلوگیری از کاهش چشمگیر وزن برگ و ساقه، باعث افزایش عملکرد علوفه تر و کارایی مصرف آب شد. از سوی دیگر کاربرد تیمار پرولین به‌دلیل کاهش صدمه تنش در مورد عملکرد علوفه تر و کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری نسبت به اسید سالیسیلیک نشان داد. بنابراین، استفاده از محلول‌پاشی پرولین به‌عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش تحمل به شرایط تنش خشکی در گیاه ذرت سیلویی تحت شرایط محیطی مشابه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تنظیم کننده رشد، علوفه، شاخص سطح برگ، کلروفیل

۱ و ۲ . به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: falah1357@yahoo.com

مقدمه

امروزه نیاز بخش کشاورزی برای تأمین آب در حال افزایش است و در آینده نیز به‌واسطه افزایش جمعیت و همچنین تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان بارندگی‌ها و تبخیر در بسیاری از نواحی، ادامه خواهد یافت. بنابراین، در آینده بخش کشاورزی در رقابت شدید با مصارف دیگر همچون مصرف انسانی، صنعتی، خنک کننده‌ها و دیگر بخش‌ها با بحران جدی در تأمین آب روبه‌رو خواهد شد (۲۶). به‌طورکلی تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید (۲۷). گزارش‌ها حاکی از آن است که خشکی ۴۰ تا ۶۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این نوع تنش یک پدیده مهم و مؤثر بر عملکرد غلات از جمله ذرت است (۱۹) .

گیاه ذرت به‌دلیل توانایی تولید بالا و سازگاری در بیشتر مناطق کشور می‌تواند نقش مهمی در تأمین علوفه مورد نیاز دام به‌ویژه در فصل زمستان ایفا نماید (۴). گزارش شده است که در گیاه ذرت، اعمال تنش می‌تواند عملکرد دانه را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد. در واقع اثرات مستقیم شامل نمونه‌هایی از قبیل مرگ کامل گیاه، تداخل در عمل گرده‌افشانی، پوسیدگی بلال ناشی از خسارت آفات ذرت و اثرات غیر مستقیم خسارت ناشی از تنش، شامل آنهایی است که میزان عملکرد و قابلیت برداشت محصول را کاهش می‌دهند (۱۵).

استفاده از مواد تنظیم کننده رشد از قبیل اسید سالیسیلیک و پرولین یکی از روش‌های سریع در افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است (۵). اسید سالیسیلیک یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک یک ترکیب فنلی است که قابل حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی و از جمله هورمون‌های گیاهی است (۳۱) که نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیر زنده مانند خشکی، سرما، فلزات سنگین سمی، گرما و تنش اسمزی دارد. به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک در گیاهان مواجه با تنش‌های زنده و غیر زنده نیز نقش عمده‌ای در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در طی حیات گیاه داشته باشد (۲۴).

پرولین اسید آمینه آزادی است که در پاسخ به تنش در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد ونقش اساسی آن محافظت سلول‌ها از تأثیرات منفی انباشتگی نمک، تبادل اسمزی، پایداری ساختار سلول‌ها از قبیل غشا و پروتئین‌ها است (۷). این اسید آمینه نقش بسیار مؤثری در تطابق گیاه با شرایط خشکی دارد و به‌عنوان یک اسمولیت سازگار کننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کننده ساختار پروتئین‌ها و غشاء سلولی، جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species)، تنظیم pH سلولی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء ایفا می‌کند (۲۹).

ریاحی و همکاران (۲۱) به‌منظور ارزیابی اثر تیمارهای گلایسین بتائین، آسکوربیک اسید، اسید سالیسیلیک و پرولین در شرایط تنش خشکی روی گیاه سورگوم علوفه‌ای نشان دادند که پرولین در سطح خشکی ۷۵ درصد توانست تأثیر تنش را تخفیف دهد. اسید سالیسیلیک نیز در سطح ۷۵ درصد تنش، عملکردی مشابه سطح ۱۰۰ درصد آبیاری مطلوب را نشان داد. این در حالی است که در تنش خشکی ۵۰ درصد کلیه هورمون‌ها به‌جز پرولین موجب بهبود عملکرد شدند.

سطح زیر کشت ذرت در ایران هر ساله رو به گسترش است و به‌دلیل امکان کشت مکانیزه و عملکرد بالا همه ساله با استقبال مواجه می‌شود. حدود ۱۹/۹ درصد از سطح سطح زیرکشت نباتات علوفه‌ای به ذرت علوفه‌ای اختصاص دارد ولی تولید آن ۵۳/۲ درصد نباتات علوفه‌ای است.

با توجه به توسعه دامپروری صنعتی در اکثر مناطق کشور تولید سیلوی ذرت ضروری است. از طرفی، بخش عمده رشد گیاه ذرت طی فصل تابستان است و دوره گرده‌افشانی و پرشدن دانه آن هم‌زمان با اوج کمبود منابع آب است و بروز خشکی اجتناب‌ناپذیراست. با توجه به اینکه استفاده از ترکیبات یا تنظیم کننده‌های رشد به‌صورت برون‌زا، در بسیاری از موارد در کاهش تنش‌های محیطی مؤثر است و علاوه‌بر این دسترسی آسان، هزینه نسبتاً پائین و امکان کاربرد آنها در زمان وقوع تنش

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت خاک	اسیدیته	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
لومی- رسی	۸/۰	۰/۰۵	۱۹/۱	۳۳۱	۰/۴۹۹

خشکی از دیگر مزایای این ترکیبات است، بر این اساس در این تحقیق، اثر دو تنظیم کننده رشد بر پارامترهای فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت سیلویی تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد (با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۱۱۶ متر از سطح دریا) اجرا شد.

برای مشخص شدن خواص فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از عملیات اجرایی نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک انجام و تجزیه و تحلیل خاک صورت گرفت که نتایج حاصله در جدول (۱) مشاهده می‌شود. براساس نتایج آزمایش خاک، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (از منبع اوره) درنظر گرفته شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده براساس طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل رژیم رطوبتی در سه سطح (آبیاری کامل، ۷۵ درصد آبیاری کامل (تنش ملایم) و ۵۰ درصد آبیاری کامل (تنش شدید)) و کرت‌های فرعی، محلول‌پاشی شامل محلول‌پاشی با آب مقطر (شاهد)، محلول‌پاشی با پرولین با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار بودند.

در بهار پس از شخم بهاره عملیات تسطیح زمین و کودپاشی عناصر برحسب آزمون خاک انجام شد. سپس کرت‌هایی به ابعاد (پنج در سه متر) ایجاد شد و پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و قبل از کشت، بذور ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با سم ایمیداکلوپراید (گاچو) به‌میزان ۷۵ گرم در کیلوگرم بذر ضدعفونی شد. عملیات کاشت در پنج تیرماه زمانی که میانگین دمای شبانه‌روزی هوا ۱۵ درجه سانتی‌گراد بود، صورت گرفت و بذرها در رأس پشته در عمق پنج سانتی‌متری و به فاصله ۱۲ سانتی‌متر از هم کاشته شد. یک سوم کود نیتروژن هم‌زمان با کشت و دو سوم کود نیتروژن به‌صورت سرک (در مرحله پنج تا هفت برگی و دو هفته قبل از گل‌دهی) مورد استفاده قرار گرفت. تیمار تنش از مرحله پنج برگی گیاه و محلول‌پاشی با مواد مورد نظر قبل از گل‌دهی (قبل از ظهور گل‌تاجی در مرحله هشت تا ده برگی) به‌وسیله سم‌پاش پشتی با نازل مخروط‌پاش و به‌صورت مه‌پاش با میزان پاشش یک لیتر در دقیقه، پیش از غروب آفتاب اعمال شد.

برای تعیین مقدار آب مورد نیاز هر تیمار، رطوبت حجمی ظرفیت زراعی مزرعه (Field Capacity) و رطوبت حجمی نقطه پژمردگی دائم (Permanent Wilting Point) و وزن مخصوص ظاهری خاک که با (γ) نمایش داده می‌شود، عمق ریشه گیاه (قبل از هر بازه زمانی) برای آبیاری مشخص و با توجه به رابطه (۱) محاسبه و برای هر بار آبیاری، آب مورد نیاز هر تیمار توسط آبیاری نواری تأمین و توسط کنتور اندازه‌گیری شد. به‌منظور اعمال تنش خشکی، کل آب قابل استفاده گیاه (Total Available Water) از روش ردی و همکاران محاسبه شد (۱۸):

$$TAW = ۱۰۰۰ (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r \qquad (۱)$$

θ_{FC} = رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه (٪)، θ_{WP} = رطوبت نقطه پژمردگی دائم (٪)، Z_r = عمق ریشه (متر).

رطوبت سهل‌الوصول (Readily Available Water) از این

رابطه محاسبه شد:

$$RAW = P \times TAW \quad (۲)$$

RAW = رطوبت سهل‌الوصول. P = ضریب سهل‌الوصول بوده و کوچک‌تر از یک است. مقدار P به نوع گیاه و مرحله رشد گیاه بستگی دارد، که برای ذرت ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (۲۲).

محاسبات گفته شده برای تیمارهای آبیاری پیش از هر نوبت آبیاری مشخص شد. در مرحله ظهور گل‌آذین نر با انتخاب تصادفی از بوته‌های هر کرت نمونه لازم (سه بوته از هر کرت و با انتخاب سه نمونه از برگ‌های انتهای ساقه (برگ پرچم))، برای تعیین کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، محتوای آب نسبی برگ و محتوای پرولین برگ تهیه شد.

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a و b از روش آرنون (۱) و برای کاروتنوئید از روش لیختن‌تالر و ولبورن استفاده شد (۱۴).

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش بیتس و همکاران استفاده شد (۲). به‌منظور اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ (Relative Water Content) از روش ریتچی و همکاران استفاده شد (۲۳).

$$RWC = \frac{\text{وزن برگ خشک شده} - \text{وزن برگ تازه}}{\text{وزن برگ خشک شده} - \text{وزن برگ آماس شده}} \times ۱۰۰ \quad (۳)$$

RWC = محتوای آب نسبی برگ

وزن برگ تازه، وزن برگ آماس شده و وزن برگ خشک شده برحسب گرم لحاظ شده است.

محاسبه شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) از طریق تهیه تصاویر دیجیتالی و آنالیز آن با نرم‌افزار دیجی‌مایزر (Digimizer (v.4) Application MedCalc Software) انجام شد که بدین‌منظور با استفاده از عکس‌های تهیه شده به‌صورت عمودی با دوربین دیجیتال سونی مدل DSC-W ۳۵۰ با رزولوشن ۱۴/۱ مگاپیکسل از فاصله یک متری از برگ‌های هر تیمار و استفاده از نرم‌افزار فوق، سطح برگ‌های هر تیمار محاسبه و با تقسیم کردن آن بر مساحت مورد نظر، به‌دست آمد.

برداشت علوفه با ظهور خط شیری یک سوم تا دوسوم دانه (۱۳) در اواخر شهریورماه صورت گرفت. بوته‌های دو خط میانی هر کرت فرعی (خطوط عملکرد) با در نظر گرفتن حاشیه از سطح زمین، کف‌بر شدند. سپس وزن تر برگ، ساقه و بلال و عملکرد علوفه تر تعیین شد. با محاسبه میزان آب ورودی هر کرت، کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) از رابطه (۴) محاسبه شد (۲۸):

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{آب مصرفی}} \quad (۴)$$

در رابطه فوق کارایی مصرف آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب، عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار و مقدار آب مصرفی برحسب مترمکعب در هکتار می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزارهای SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به‌صورت برش‌دهی به کمک آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

محتوای آب نسبی برگ

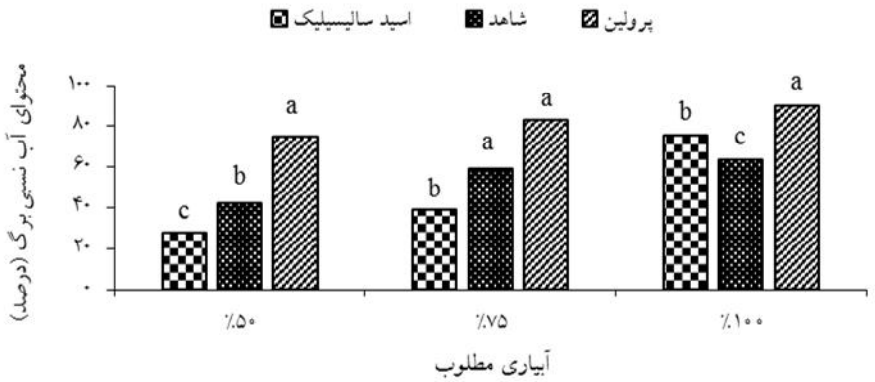
نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی بر محتوای آب نسبی برگ در زمان ظهور برگ پرچم در جدول (۲) نشان داده شده است. اثر رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و همچنین اثر متقابل آنها در سطح یک درصد معنی‌دار بود، میانگین محتوای آب نسبی برگ در سطوح مختلف تنش آبی به‌صورت معنی‌داری متفاوت بوده و این خصوصیت در تیمار آبیاری با ۵۰ درصد تنش خشکی ۴۳/۸ درصد کمتر از آبیاری مطلوب بود.

با توجه به مقایسه میانگین شکل (۱) برای صفت محتوای آب نسبی برگ با توجه به تفاوت معنی‌دار حاصله مشاهده شد که در شرایط آبیاری مطلوب تیمار پرولین برتری معنی‌داری داشت و پس از آن اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را نشان داد. در شرایط ۷۵ درصد آبیاری مطلوب، پرولین اثر معنی‌داری نداشته است و اسید سالیسیلیک تأثیر منفی از خود به‌جای گذاشت. این در حالی است که در شرایط تنش شدید باز هم

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) محتوای آب نسبی برگ، پرولین و رنگدانه‌های فتوسنتزی در ذرت سیلویی تحت محلول‌پاشی در رژیم‌های مختلف رطوبتی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		محتوای آب نسبی برگ	پرولین	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
بلوک	۲	۱/۶۹ ns	۵/۱۲ ns	۰/۱۰ ns	۰/۰۱ ns	۰/۰۵ ns
رژیم رطوبتی (W)	۲	۴۹۶۴**	۱۲۵۲**	۱۸/۳**	۱/۳۷**	۱/۵۶**
خطای (a)	۴	۱۴/۱	۲/۲۹	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۶
محلول‌پاشی (H)	۲	۱۲۳۲**	۰/۵۶ ns	۰/۳۷ ns	۰/۰۳ ns	۰/۱۸ ns
W × H	۴	۴۱۹۳**	۵۲/۹**	۰/۲۰ ns	۰/۰۱ ns	۰/۲۵**
خطای (b)	۱۲	۳۰/۸	۲/۴۸	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۷/۵۸	۵/۲۹	۵/۵۱	۵/۰۷	۱۷/۸

ns و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.



شکل ۱. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر محتوای آب نسبی برگ ذرت سیلویی. میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

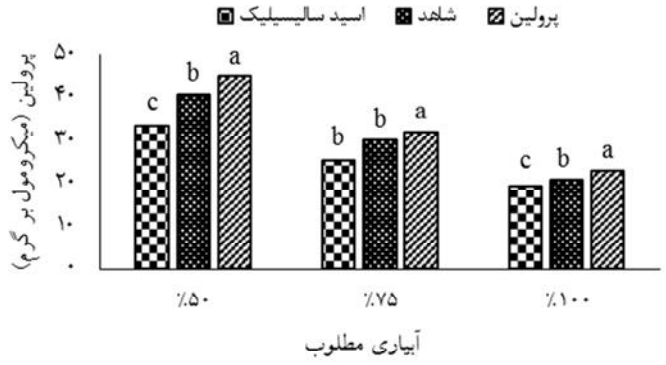
تیمار پرولین در محلول‌پاشی تأثیر مثبت و اسید سالیسیلیک تأثیر منفی از خود به‌جای گذاشت (شکل ۱).

بسیاری از محققان بر این عقیده‌اند که کاهش میزان محتوای آب نسبی برگ در اثر تنش کم‌آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسیزیک اسید می‌دانند. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی این هورمون در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد و همچنین به‌نظر می‌رسد بین میزان محتوای آب نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد. به‌طوری‌که کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش باعث کاهش میزان محتوای آب نسبی برگ می‌شوند (۹).

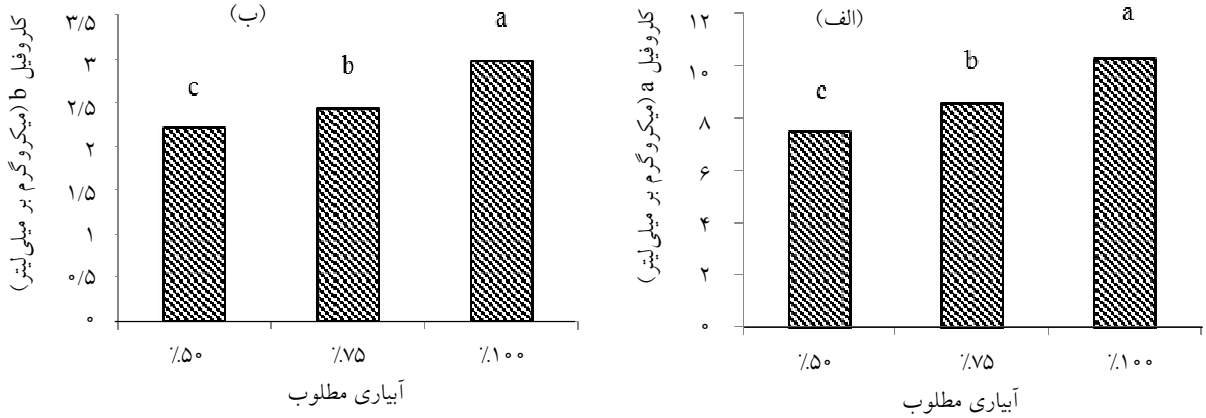
پرولین

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر اصلی تنش خشکی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر صفت پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

طبق یک قاعده کلی، همگام با کاهش پتانسیل آب، غلظت هورمون‌های گیاهی نیز تغییر می‌کند. بنا به نظر محققان در شرایط تنش خشکی ملایم یا شدید، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسیدهای آمینه در گیاهان افزایش یافته و این هورمون به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلولی که پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد، عمل نمی‌نماید و تحمل گیاه را به تنش افزایش می‌دهد (۲۵). میزان تجمع پرولین



شکل ۲. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر پرولین ذرت سیلویی. میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.



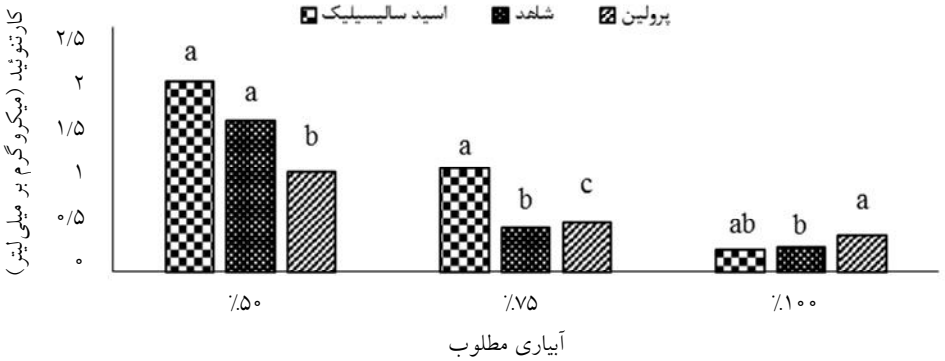
شکل ۳. اثر رژیم رطوبتی بر کلروفیل a (الف) و کلروفیل b (ب) ذرت سیلویی. میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

در بین تیمارهای محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری نداشت و به بیان دیگر محلول‌پاشی بی‌تأثیر بود. اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی در شکل (۲) بیانگر آن است که تجمع پرولین در شرایط آبیاری مطلوب و رژیم رطوبتی شدید، در تیمار پرولین نسبت به اسید سالیسیلیک اثر افزایشی را داشته و اسید سالیسیلیک تأثیر منفی بر این شاخص را نشان داده است. در شرایط تنش ملایم، تیمار پرولین با شش درصد افزایش نسبت به شاهد بیشترین محتوای پرولین را داشت و تیمار اسید سالیسیلیک در این شرایط خنثی عمل نمود، به بیان دیگر اختلاف آن با تیمار شاهد معنی‌دار نبود.

احتمالاً دلیل افزایش پرولین طی تنش خشکی این است که پرولین اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده که احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد. تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه برای گیاه را فراهم کند ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر است و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (۸ و ۱۶).

کلروفیل

اثر رژیم رطوبتی بر کلروفیل a و b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (شکل۳-الف و ب). اثر محلول‌پاشی و نیز اثر



شکل ۴. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر کاروتنوئید ذرت سیلویی.

میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی بر میزان کلروفیل a و b در گیاه ذرت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

با توجه به مقایسه میانگین‌ها، می‌توان اظهار نظر کرد که بیشترین میزان کلروفیل a و b در شرایط بدون تنش بوده است و این تفاوت به‌ترتیب برای موارد فوق نسبت به شرایط تنش شدید ۳۷/۸ درصد و ۳۴/۴ درصد افزایش داشته است.

کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب است (۱۱). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به‌شمار می‌آید. در این بین بسته به شدت، مدت و مرحله تأثیر خشکی بر هر کدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفاوت است. طی تنش خشکی افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این کلروفیل a می‌شود. علاوه‌بر این، تحت تأثیر خشکی کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئین محافظت کننده دستگاه فتوسنتزی، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها اتفاق می‌افتد.

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر رژیم رطوبتی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

گذشته از نوع تیمارهای محلول پاشی، به‌طورکلی غلظت کاروتنوئید با تشدید تنش رطوبتی، افزایش یافته است. با توجه به مقایسه میانگین‌ها می‌توان اظهار نمود که بیشترین میزان کاروتنوئید به تیمار اسید سالیسیلیک تحت شرایط تنش شدید اختصاص داشت، ولی اختلاف آن با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. علاوه‌بر این، اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی در شکل (۴) گویای آن است که در تنش شدید (۵۰ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) بیشترین میزان کاروتنوئید در تیمار اسید سالیسیلیک و کمترین آن در تیمار پرولین بوده است، هرچند این افزایش در میزان کاروتنوئید معنی‌دار نبود. کشاورز و همکاران (۱۰) نیز در آزمایش خود دریافتند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در غلظت‌های پایین باعث افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل a و b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، آنتوسیانین، فلاونوئید، پرولین و قندهای محلول در کلزا شد.

در آبیاری مطلوب علاوه‌بر پرولین، اسید سالیسیلیک تأثیر بیشتری در افزایش میزان کاروتنوئید نشان دادند ولیکن اسید سالیسیلیک نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. در تنش ملایم اسید سالیسیلیک با ۱۰/۹ درصد افزایش در میزان کاروتنوئید نسبت به شاهد، اثر تنش را نسبت به پرولین کمتر تعدیل نمود. با توجه به افزایش کلروفیل a و b در شرایط آبیاری مطلوب نسبت به تنش شدید می‌توان نتیجه گرفت که کاهش کاروتنوئید در این تیمار به‌دلیل تخریب کمتر کلروفیل بوده است.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن اجزای عملکرد علوفه، شاخص سطح برگ و راندمان مصرف آب در ذرت سیلویی تحت محلول‌پاشی در رژیم‌های مختلف رطوبتی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن برگ	وزن ساقه	وزن بلال	شاخص سطح برگ	عملکرد علوفه تر	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	۳۵۰۲۷۸^{ns}	۲۳۸۳۵۶۴۸^{ns}	۷۰۷۸۱۲۵^{ns}	۰/۳۵۳^{ns}	۷۵۶۹۰۶۴۸^{ns}	۰/۱۷۵^{ns}
رژیم رطوبتی (W)	۲	۱۰۸۸۱۴۵۸*	۹۵۰۰۹۲۵۹ ^{ns}	۶۳۷۸۶۴۵۸*	۰/۹۷۴*	۵۶۷۴۶۲۰۴*	۳۷/۲۹**
خطای (a)	۴	۱۱۴۷۱۵۳	۵۱۲۱۰۶۴۸	۸۳۵۹۳۷۵	۰/۰۶	۱۱۸۷۳۳۰۰۹	۰/۷۴۳
محلول‌پاشی (H)	۲	۱۲۰۵۳۷۷۰۸**	۲۵۱۶۱۳۴۲۶**	۷۶۶۱۴۵۸^{ns}	۲/۲۰**	۸۹۸۷۶۵۶۴۸**	۶/۱۲۴**
W × H	۴	۲۷۷۴۵۵۲۱**	۶۵۴۲۵۹۲۶*	۲۷۱۴۵۸۳۳۳**	۱/۷۴**	۲۷۵۶۸۳۰۰۹**	۲/۹۲۶**
خطای (b)	۱۲	۳۱۰۶۹۴	۱۲۵۸۵۶۴۸	۷۲۹۶۸۷۵	۰/۱۵۶	۱۷۸۰۷۷۷۸	۰/۱۰۵
ضریب تغییرات (٪)		۴/۲۶	۹/۹۲	۱۱/۱	۶/۶۵	۶/۰۲	۶/۲۱

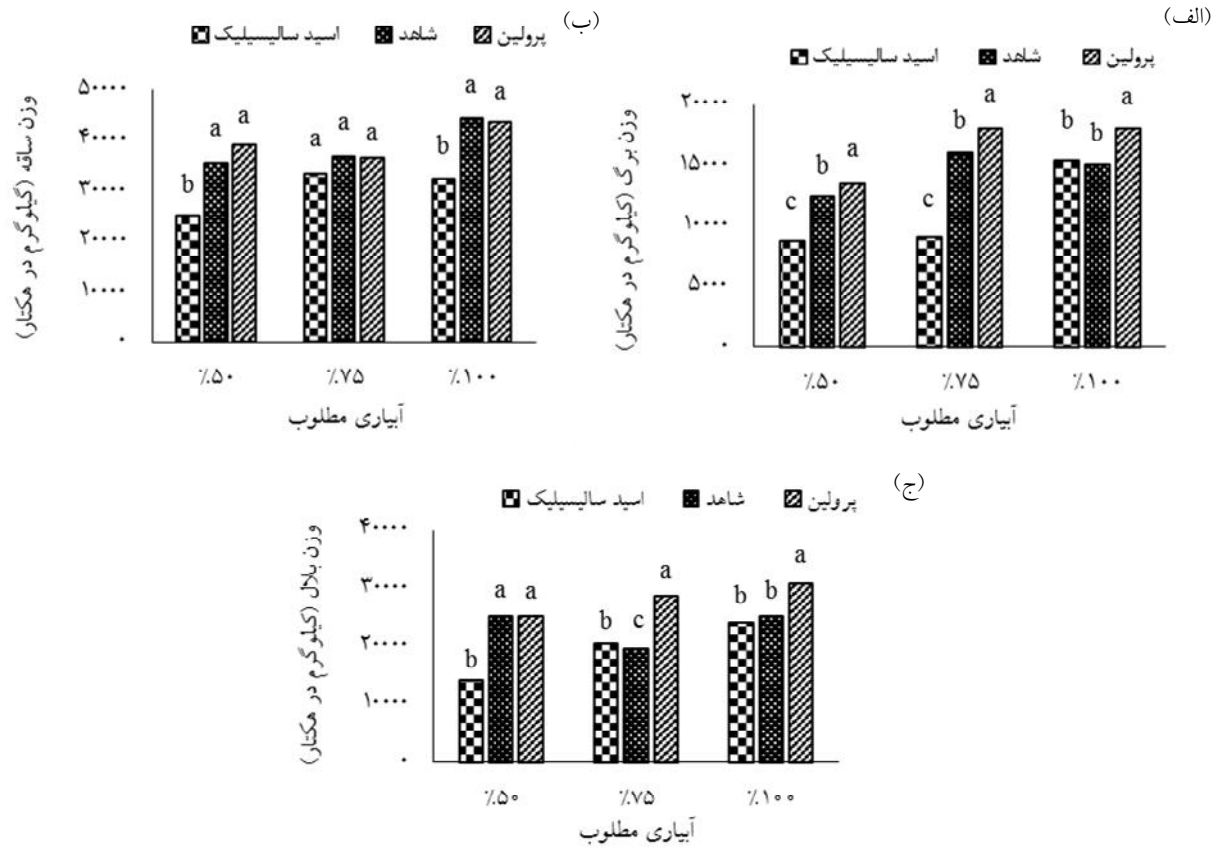
ns ، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

وزن برگ

وزن تر برگ نسبت به رژیم رطوبتی در سطح احتمال پنج درصد عکس‌العمل نشان داد، به‌گونه‌ای که کاهش این میزان در تنش شدید نسبت به آبیاری مطلوب به‌میزان ۱۳/۴ درصد بود. وزن تر برگ همچنین تحت تأثیر عامل محلول‌پاشی واقع شد و اثر متقابل این دو عامل نیز بر صفت مذکور در سطح یک درصد پاسخ معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). واکنش وزن تر برگ به مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی نیز متفاوت از هم بود. هرچند برای وزن تر برگ با اعمال تنش بیشتر، میزان افزایش وزن برگ‌ها کاهش یافته ولی در شرایط آبیاری مطلوب، تحت تنش ملایم (۷۵ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) و تنش شدید مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی تأثیر مطلوبی داشتند، به‌گونه‌ای که در هر سه شرایط رطوبتی، پرولین به‌ترتیب (با ۲۱/۴، ۸/۲ و ۱۲/۵ درصد افزایش) تأثیر مثبتی از خود به‌جای گذاشت (شکل ۵ الف). همان‌طورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود محتوای زیاد پرولین در تیمار مذکور ممکن است از کاهش وزن تر برگ در شرایط تنش خشکی ممانعت کرده باشد. یانگ و همکاران (۳۰) گزارش کردند که سه عامل مهم در محاسبه تولید ذرت در شرایط کمبود آب، سطح برگ، وزن برگ و وزن گیاه بود.

وزن ساقه

اثر تیمار رژیم رطوبتی بر وزن تر ساقه در زمان برداشت معنی‌دار نبود، وزن تر ساقه تحت تأثیر عامل محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد واقع شد و اثر متقابل این دو عامل نیز بر صفت مذکور در سطح پنج درصد پاسخ معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). مقایسه میانگین حاصله حاکی از آن است که بیشترین میزان وزن ساقه در تیمار پرولین (بدون تفاوت معنی‌دار با شاهد) است و اسید سالیسیلیک کمترین میزان تأثیرگذاری را روی افزایش وزن ساقه داشت. علاوه‌بر این، برای وزن تر ساقه، در مورد مواد به‌کار رفته در محلول‌پاشی تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید می‌توان گفت که پرولین بدون تأثیر معنی‌دار و اسید سالیسیلیک اثر منفی داشت و تحت تنش ملایم (۷۵ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) محلول‌پاشی مواد تأثیر معنی‌داری نشان نداد. (شکل ۵–ب). نیسانی و همکاران (۱۵) نیز ثابت کردند که وزن تر ساقه و بلال از لحاظ آماری تحت تأثیر قطع آب بوده است. رضایی استخروئیه و همکاران (۲۰) اظهار داشتند تنش خشکی بر وزن تر اندام هوایی ذرت معنی‌دار بود و بیشترین وزن تر در تیمار آبیاری در تمام فصل رشد گیاه و کمترین آن در تیمار سه بار آبیاری در طول فصل رشد مشاهده شد. معمولاً در شرایط تنش



شکل ۵. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر وزن تر برگ (الف)، ساقه (ب) و بلال (ج) ذرت سیلویی. میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

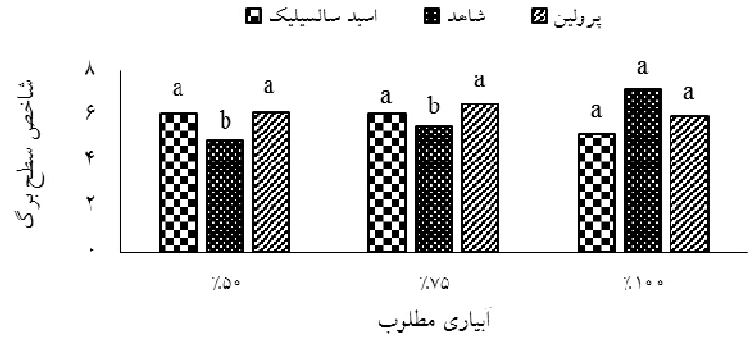
خشکی به‌دلیل کاهش توسعه برگ‌ها، ساقه و کاهش میزان تجمع مواد ذخیره‌ای در این اندام‌ها از وزن تر کاسته می‌شود (۱۲).

وزن بلال

اثر تیمار رژیم رطوبتی بر وزن تر بلال در زمان برداشت معنی‌دار بود و در شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری مطلوب ۱۸/۷ درصد کاهش نشان داد. وزن تر بلال تحت تأثیر اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی بر صفت مذکور در سطح احتمال یک درصد پاسخ معنی‌داری را نشان داد (جدول ۳). در مورد وزن بلال شاهد آن بودیم که در شرایط آبیاری مطلوب و همچنین تنش ملایم تیمار پرولین بیشترین میزان وزن را داشت. اسید سالیسیلیک فقط در شرایط تنش ملایم برتری معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت و در شرایط تنش شدید اثر منفی گذاشت (شکل ۵-ج). ازآنجا که افزایش وزن ساقه در انتهای مراحل رشد گیاه اتفاق می‌افتد، به‌نظر می‌رسد که تیمار پرولین با حفظ سطح بالایی از پرولین و محتوای آب نسبی برگ موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه کاهش اثرات تنش خشکی بر وزن بلال شده است.

شاخص سطح برگ

در این پژوهش تنش خشکی شدید موجب کاهش معنی‌دار (۹/۷ درصد) شاخص سطح برگ در مقایسه با آبیاری مطلوب شد (جدول ۳) و مشاهده شد که شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر رژیم رطوبتی و در سطح احتمال یک درصد متأثر از اثر اصلی محلول‌پاشی و اثر متقابل این دو



شکل ۶. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر شاخص سطح برگ ذرت سیلویی.
میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

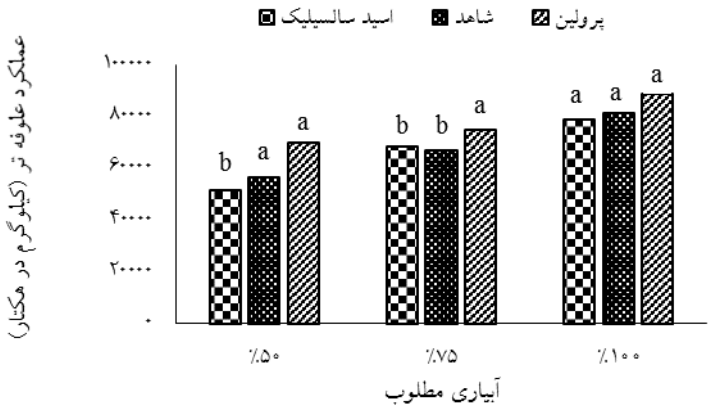
واقع شد (جدول ۳). یافته‌های کاکر (۳) نیز مؤید همین موضوع است و اظهار داشت که میان گسترش و توسعه سطح برگ و آب موجود در گیاه همبستگی مثبت وجود دارد، به‌طوری‌که در گیاه تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. نتایج آزمایشات صورت گرفته سایر محققان نیز بر کاهش سطح برگ به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش کلروپلاست و در نتیجه زرد و نکروزه شدن سریع برگ‌ها در شرایط کمبود رطوبت خاک دلالت می‌کنند که به‌عنوان مکانیسمی برای سازگاری به خشکی به‌شمار می‌آید (۶).

به‌نظر می‌رسد اثر تنش در طول دوره رویشی، منجر به کوچک شدن برگ‌ها شده و شاخص سطح برگ را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را کاهش می‌دهد و کلروفیل‌سازی در کمبودهای شدیدتر آب متوقف می‌شود.

با اعمال تیمار پرولین بیشترین سطح برگ حاصل شد (افزایش ۱۷/۱ درصد)، هرچند بین این ماده و اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. مطابق با شکل (۶) و با توجه به اثر متقابل تنش آبی و محلول‌پاشی، در شرایط آبیاری مطلوب اسید سالیسیلیک و پرولین اثر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشتند. در تنش ملایم (۷۵ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) اسید سالیسیلیک و پرولین بدون اختلاف معنی‌دار بیشترین اثر را داشتند. در تنش شدید (۵۰ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) پرولین و پس از آن اسید سالیسیلیک به‌ترتیب باعث افزایش شاخص سطح برگ (به‌ترتیب ۳۱/۳ و ۲۶ درصد) در آزمایش مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد بودند. اثر تنش خشکی در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردیده، کلروفیل‌سازی در کمبودهای شدید متوقف شده و شاخص سطح برگ را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد (۱۱).

عملکرد علوفه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که اثر اصلی رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و اثر متقابل آنها بر عملکرد علوفه تر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) که نظر اسبورن و همکاران (۱۷) را تأیید می‌نماید. شکل (۷) بیانگر این مطلب است که برای عملکرد علوفه تر در شرایط آبیاری مطلوب اثر اسید سالیسیلیک و پرولین بی‌تأثیر بودند. در شرایط ۷۵ درصد آبیاری مطلوب، پرولین برتری معنی‌داری را نشان داد (۱۱/۸ درصد افزایش) و اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد اثر معنی‌داری نداشت. در تنش شدید (۵۰ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) تیمار پرولین نسبت به شاهد اثر معنی‌داری بروز نداد و اسید سالیسیلیک اثر منفی داشت. همچنین میانگین عملکرد علوفه تر در سطوح مختلف تنش آبی متفاوت بوده و عملکرد علوفه تر در تیمار آبیاری مطلوب، ۴/۷ تن در هکتار نسبت به



شکل ۷. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر عملکرد علوفه تر ذرت سیلویی.
میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

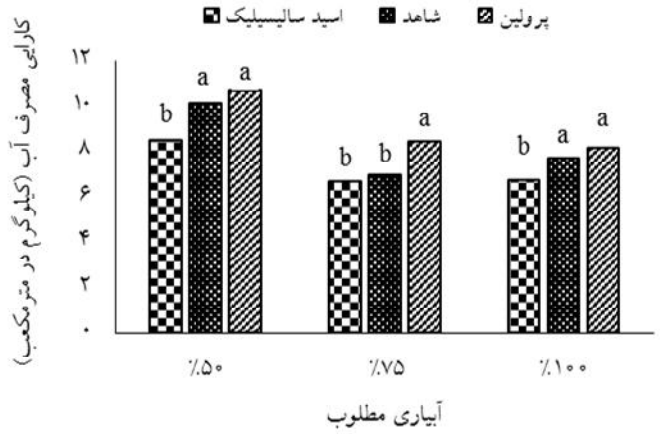
تیمار تنش شدید بیشتر بود. کاهش عملکرد علوفه تر در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش معنی‌دار وزن بلال و برگ‌ها باشد. در شرایط آبیاری مطلوب و تنش ملایم اعمال محلول‌پاشی پرولین موجب افزایش معنی‌دار علکرد ذرت شده است. این افزایش به‌دلیل افزایش معنی‌دار وزن برگ و عمدتاً وزن بلال است (شکل ۷). بنابراین نقش بیشتر بلال در عملکرد تولیدی تیمار پرولین می‌تواند بیانگر افزایش کیفیت پروتئینی علوفه باشد، زیرا میزان و کیفیت پروتئین دانه بیشتر از پروتئین برگ و ساقه است. البته این اثر با توجه به ساختار اسید آمینه‌ای پرولین می‌تواند قابل انتظار باشد. یانگ و همکاران (۳۰) نیز محدودیت کربوهیدراتی و سقط‌جنین، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه و بلال را از دلایل کاهش عملکرد ماده خشک بیان کردند.

کارایی مصرف آب

اثر رژیم رطوبتی، محلول‌پاشی و اثر متقابل رژیم رطوبتی و محلول‌پاشی کارایی مصرف آب در علوفه تر را در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. با توجه به کاهش میزان آب مورد نیاز گیاه و تولید ماده خشک حاصله بیشترین مقدار کارایی مصرف آب مشاهده شده در تیمار بدون تنش مشاهده شد. لازم به ذکر است در بین مواد محلول‌پاشی شده، پرولین بیشترین تأثیر را در بالا بردن کارایی مصرف آب داشته است. مقایسه بین عکس‌العمل تنش آبی و محلول‌پاشی در خصوص کارایی مصرف آب در علوفه تر شکل (۸) نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، پرولین نسبت به شاهد اثر معنی‌داری نداشت و اسید سالیسیلیک تأثیر منفی از خود نشان دادند. در شرایط ۷۵ درصد آبیاری مطلوب، پرولین با ۲۱/۶ درصد افزایش، تأثیر مطلوبی در تعدیل کردن تنش وارده به گیاه ذرت داشت و در شرایط تنش شدید پرولین اثر معنی‌داری نداشت و اسید سالیسیلیک تأثیر منفی نشان داد. هر عامل مدیریتی که بدون افزایش تبخیر و تعرق محدودیت‌های رشد گیاه را کاهش یا تعدیل دهد، مسلماً باعث افزایش عملکرد و بازده مصرف آب خواهد شد (۱۱). از این دسته می‌توان به کاربرد تنظیم کننده‌های رشد به‌صورت خارجی اشاره نمود. لذا در شرایط تنش شدید نسبت به آبیاری مطلوب، کاهش تعرق، کمتر بودن سطح برگ و عدم وجود پوشش و مالچ در برابر تبخیر بیشتر از سطح خاک و دریافت نور کمتر به‌منظور فتوسنتز، دسترسی کمتر به آب منجر به کارایی مصرف آب کمتر به‌طور قابل ملاحظه‌ای می‌شود (۱۱).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد



شکل ۸. اثر متقابل رژیم رطوبتی با محلول‌پاشی پرولین و اسید سالیسیلیک بر کارایی مصرف آب در علوفه تر ذرت سیلویی.
میانگین‌های دارای حروف مشابه، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

که اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد ذرت سیلویی دارد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد بروز تنش خشکی شدید (تأمین ۵۰ درصد رطوبت مورد نیاز گیاه) بر اثر کم‌آبیاری صورت گرفته، عملکرد علوفه تر را به‌دلیل کاهش وزن برگ و بلال کاهش داد. هر چند بیشترین نتایج مثبت کاربرد استفاده از تنظیم کننده‌های رشد بر عملکرد ذرت در شرایط مطلوب حاصل شد، لیکن تأثیر تعدیل کنندگی آنها در شرایط تنش خشکی بر اجزای عملکرد در این محصول عمدتاً در مورد پرولین مشاهده شد. در این تحقیق پارامترهای مختلف از جمله محتوای آب نسبی برگ، پرولین، شاخص سطح برگ و وزن تر ساقه، بلال و برگ پاسخ مناسبی نسبت به کاربرد پرولین به‌صورت خارجی و محلول‌پاشی از خود نشان دادند.

از سوی دیگر در این تحقیق، آثار مثبت کاربرد تیمار پرولین به‌صورت محلول‌پاشی پیرامون کاهش صدمه تنش در مورد افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در شرایط تنش ملایم با داشتن تفاوت معنی‌داری نسبت به اسید سالیسیلیک نشان داده شد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، کاربرد این هورمون می‌تواند در افزایش تولید و کیفیت علوفه سیلویی ذرت مفید باشد.

منابع مورد استفاده

1. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23:112-121.
2. Bates, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207.
3. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1-16.
4. Chougan, R. 1996. Review and compare the performance and yield components of hybrid varieties of maize silage. *Seed and Plant Journal* 12: 36-40. (In Farsi).
5. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45:215-225.
6. Flagella, Z., T. Rotunno, E. Tarantino, R. Di Caterina and A. De Caro. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy* 17:221-230.
7. Ghandian Zanjan, M., D. Eradatmand. and R. Movahedi Rad. 2011. The effect of proline and catalase canola germination indexes of salinity stress conditions. *In:* Proceeding of the 6th National Conference on New Ideas in

Agriculture. Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan). Khorasgan. pp. 1509-1513.
8. Good, A. G. and S. T. Zaplachiniski. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum* 90: 9-14.
9. Khan, H. U., W. Link, T. Hhocking and F. Stoddard. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in fababean (*viciafaba* L.). *Plant and Soil* 292: 205-217.
10. Keshavarz, H., S. A. M. Modares sanavi, F. Zarin kamar, A. Doolat abadian, M. Panahi and K. Sadat asilan. 2011. The effect of foliar application of salicylic acid on some biochemical characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.) under cold stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42(4): 723-734. (In Farsi).
11. Koocheki, A. and G. H. Sarmadnia. 1999. Crop Physiology (Translation). Academic Center for Education, Culture and Research Press. Mashhad, Iran.
12. Lamm, F. 2004. Corn production as related to sprinkler irrigation capacity. *In:* Proceeding of the 16th Annual Central Plains Irrigation Conference, Kearney. Nebraska.
13. Leoni, L., C. Ambrosia, A. Petrucca and P. Visca. 2002. Transcriptional regulation of pseudo actin synthesis in the plant growth promoting pseudomonas B10. *FEMS Microbiology Letter*s 208: 219-225.
14. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11(5): 591-592.
15. Neisani, S., S. Fallah and F. Raiesi. 2012. The Effect of Poultry manure and urea on agronomic characters of forage maize under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Scienc*es 21(4): 63-74. (In Farsi).
16. Niu, J., S. Zhang, S. L. Iu, H. Ma, J. Chen, Q. Shen, C. Ge, X. Zhang, C. Pang and X. Zhao. 2008. The compensation effects of physiology and yield in cotton after drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 224–225: 30-48
17. Osborne, S. L., J. S. Schepper, D. D. Francis and M. R. Schlemmer. 2002. Use of spectral radiance to in-seasen biomass and grain yield in nitrogen and water- stressed corn. *Crop Science* 42: 165-171.
18. Reddy, G. R. C. and S. S. Vittala. 2014. Water use efficiency through drip irrigation in water scarcity area-a case study. *In:* Proceedings of the 4th international Conference Hydrology and Watershed Management: Ecosystem Resilience-Rural and Urban Water Requirements. Hyderbad, Telangana, India. pp. 663-667.
19. Reynolds, M. P., M. I. Delgado, B. M. Gutiearrez-Rodroaguez and A. Larquea-Saavedra. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66: 37-50.
20. Rezaei estakhroee, A., S. Boroomandnasab, A. Hooshmand and M. Khangani. 2012. Effects of deficit irrigation and partial root zone drying on morphological and physiological characteristics of corn. *Iranian Journal of Irrigation & Water Engineering* 2(6): 67-76. (In Farsi).
21. Riahi, N., H. farahbakhsh and A. Pasandipoor. 2012. Influence of exogenous application of proline, glycine betaine, salicylic acid and ascorbic acid to reduce the effects of drought stress in sorghum. *In:* Proceeding of the 11th National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration. Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman.
22. Richard, G. A., S. Pereira, D. Rae s and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. NO 56. Rome, Italy.
23. Ritchie, S. W., H. T. Nguyun and A. S. Holaday. 1990. Leaf Water Content and Gas-Exchange Parameters of Two Wheat Genotypes Differing in Drought Resistance. *Crop Science* 30(1): 105-111.
24. Rivas-San Vicente, M. and J. Plasencia. 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany* 62(10): 3321-38.
25. Stewart, C. R. 1982. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. pp. 243-251, *In:* L. G. Paleg and D. Aspinall (Eds.), Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Academic Press, New York.
26. Tardieu, F. 2005. Plant tolerance to water deficit: Physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus Geoscience* 337: 57-67.
27. Turhan, H. and I. Baser. 2004. In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianthus annus* L.). *Helia* 27: 227-236.
28. Turner, N. C. 1987. Crop water deficits: a decade of progress. *Advances in Agronomy* 39:1-51.
29. Verbruggen, N. and C. Hermans. 2008. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids* 35(4): 753-759.
30. Yang, C. M., M. J. Fan and W. M. Hsiang. 1993. Growth and yield respones of maize (*Zea mays* L.) to soil water deficits. II. Effects of water deficit timing and strength. *Journal of Agricultural Research of China* 42(2):173-186.
31. Zaki, R. N. and T. E. Radwan. 2011. Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Applied Sciences Research* 7(1):42-55.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 8, No.1, Spring 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Proline and Salicylic Acid on the Physiological Parameters and Yield of Silage Maize under Different Moisture Regimes

E. Madadi[1] and S. Fallah[2*]

(Received: January. 31-2017; Accepted: June 16-2017)

Abstract

Water resources are limited. Thus, one of the ways to prevent the decline of maize yield under water shortage conditions is the use of growth regulators. In this study, the effects of proline (150 mg/L) and salicylic acid (0.5 mmol) on the yield and water use efficiency of maize were investigated under three irrigation regimes, including complete irrigation (control), 75% of complete irrigation (mild stress) and 50% of complete irrigation (severe stress). The experiment was performed as a split plot in a randomized complete block design with three replications in 2016. The results showed that drought stress significantly reduced the relative water content, chlorophyll and carotenoids concentrations, leaf area index, leaf weight, stem weight, ear weight, yield, and water use efficiency, as compared to complete irrigation. However, the extent of the drought-induced decreases in the latter traits varied, such that the smallest and greatest decreases were found in leaf area index (9.66%) and the carotenoids concentration (78%), respectively. According to our results, although drought stress suppressed maize yield and its components, the application of proline under mild drought stress led to the improvment in forage yield and water use efficiency by increasing the leaf relative water content and partial amelioration of the suppressions in leaf, stem and ear weights. Foliar-applied proline indicated a greater efficacy in ameliorating drought stress effects on forage yield and water use efficiency, compared to foliar-applied salicylic acid. Therefore, foliar application of proline is potent to be adopted as a suitable criterion to increase tolerance to drought stress in silage maize.

Keywords: Drought stress, growth regulators, forage, leaf area index, chlorophyll.

1, 2. MSc. Student and Professor, Respectively, Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
*. Corresponding Author, Email: falah1357@yahoo.com