

روند تغییرات صفات فیزیولوژیک ذرت متأثر از آبیاری تأخیری و سیدروفور باکتریایی

ساناز صراف^۱، آرمان آذری^{۲*}، روح‌الله صابری‌ریسه^۳ و علی‌اکبر محمدی‌میریک^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۴)

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد سیدروفور باکتریایی بر کشت دوم ذرت (SC645) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در تابستان سال ۹۳ در دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان به اجرا درآمد. زمان نمونه برداری به عنوان عامل اصلی، پنج سطح (در فاصله بین دو آبیاری) و عامل فرعی، شامل فاکتوریل دور آبیاری (دو سطح ۷۵ (شاهد) و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس آ) و کاربرد سیدروفور (در دو سطح عدم کاربرد (شاهد) و کاربرد سیدروفور) بود. کاربرد سیدروفور به صورت دوبار محلول‌پاشی (غلظت ۲ در هزار) و مصرف با آب آبیاری (۲۰ کیلوگرم در هکتار) صورت گرفت. تأخیر در آبیاری سبب کاهش و کاربرد سیدروفور سبب افزایش کلروفیل a, b و کارتنوئید شدند. فاصله گرفتن از زمان انجام آبیاری و نیز تأخیر در آبیاری و کاربرد سیدروفور سبب تجمع پرولین، قندهای محلول و ساکارز گردیدند. با فاصله گرفتن از زمان آبیاری، تأخیر در آبیاری و عدم کاربرد سیدروفور، میزان پراکسیداسیون چربی‌های غشائی افزایش یافت. در مجموع روند تغییرات صفات از میزان فراهمی رطوبت خاک تبعیت کامل داشت و با فاصله گرفتن از انجام آبیاری، نوسان‌ها در مقدار صفات بیشتر می‌شد. انجام آبیاری هیچگاه سبب یکسان شدن صفات در دو سطح آبیاری نشد که نشان می‌دهد در کوتاه مدت اثرات تنش خشکی با انجام آبیاری جبران نمی‌شود. سیدروفور باکتریایی سبب تقویت قابلیت تنظیم اسمزی و ظرفیت فتوسنتزی گیاه شده و در کاهش اثرات تنش خشکی مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: سیدروفور، تنش خشکی، ذرت

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

۳. دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: armanazari@vru.ac.ir

مقدمه

ذرت، با نام علمی *Zea mays L.* گیاهی یک‌ساله، چهار کربنه از خانواده گرامینه و ویژه مناطق گرم و فصول گرم سال در مناطق معتدل است. از بهترین گیاهان برای تولید علوفه سبز، سیلو و دانه می‌باشد که علوفه آن بسیار خوش‌خوراک بوده و دارای مقادیر خیلی زیادی مواد معدنی مخصوصاً نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم می‌باشد. ذرت احتیاج به گرما و نور زیاد خورشید داشته و مناسب‌ترین درجه حرارت در طول دوره رشد بین ۳۵ - ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. در صورتی که گرما بیش از ۴۰ درجه تجاوز نماید جذب آب مشکل خواهد گردید. چنانچه این شرایط در زمان گل‌دهی اتفاق افتد میزان تلقیح کاهش می‌یابد و با کاهش عملکرد مواجه می‌گردند (۱۴).

تنش رطوبتی هنگامی روی می‌دهد که تعرق از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک بیشتر شود (۸). تنش خشکی فتوسنتز را از طریق بسته شدن روزنه‌ها و نرسیدن CO_2 به کلروپلاست کاهش می‌دهد. در شرایط تنش شدید تنفس، جذب گازکربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال مواد خام در آوندهای چوبی به سرعت به حد بسیار کم نزول کرده و این در حالی است که فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده افزایش می‌یابد و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد و در نهایت کاهش فتوسنتز را در پی خواهد داشت (۱۵). شرایط تنش خشکی، باعث شکل‌گیری گونه‌های فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species) می‌شود که خود سبب بروز صدماتی مثل اکسید شدن لیپیدها و تغییر ساختار غشاء و از هم پاشیدگی یکپارچگی آن، تغییر ساختمان پروتئین‌ها، غیر فعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن یا از بین رفتن رنگدانه‌هایی مثل کلروفیل و حمله به فسفولیپیدهای غشائی سلول، پروتئین‌ها و مولکول‌هایی مثل DNA می‌گردد (۱۷). مالون دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص مناسبی برای ارزیابی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء، محسوب می‌شود (۴). از آنجا که گیاهان نمی‌توانند از تنش‌های محیطی مختلف فرار کنند، به سازوکارهایی نیاز دارند که تنش‌ها را شناسایی کرده و به آنها

پاسخ دهد، که از جمله این سازوکارها تنظیم اسمزی است. در اثر فرایندهای تنظیم اسمزی، مواد حل‌شونده‌ای نظیر اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه آزاد (به‌ویژه پرولین)، کربوهیدرات‌های محلول و ترکیبات آمونومی نظیر گلیسین بتائین و آلانین بتائین در سیتوپلاسم سلول‌ها تجمع پیدا کرده و از طریق کاهش پتانسیل اسمزی سلول، به جذب آب توسط ریشه‌ها و حفظ تورژسانس سلول‌ها که شرط لازم برای رشد آنهاست کمک می‌کند (۲). از جمله فواید باکتری‌های محرک رشد محیط ریشه، کاهش اثر تنش‌های محیطی بر گیاه از طریق: افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی مثل آهن (از طریق تولید سیدروفور)، و دیگر عناصر کم مصرف، تولید هورمون‌ها و ممانعت از سنتز اتیلن (از طریق تولید آنزیم ACC-دآمیناز) می‌باشد (۹). گروهی از باکتری‌های خاکری (غالباً باکتری‌های *Pseudomonas fluorescens*) به‌کمک ترکیباتی به نام سیدروفور (Siderophore)، تشکیل کمپلکس‌هایی با عناصر کم‌مصرف (نظیر آهن سه ظرفیتی، روی و مس) می‌دهند که قابل جذب به‌وسیله گیاهان می‌باشند (۲۲). سیدروفور یک ترکیب فعال کننده سیستم دفاعی منحصر به فردی هست که وقتی روی اندام‌های هوایی گیاه پاشیده شود و یا در خاک به‌کار رود جذب سیستمیک گیاه شده و باعث القای مقاومت علیه آفات، بیماری‌ها و همچنین تنش‌های خشکی و شوری می‌شود. در واقع بیان پروتئین‌های دفاعی از مهم‌ترین سازوکارهای القایی مقاومت توسط سیدروفورها می‌باشد (۱۲). تحقیقات انجام شده در ارتباط با کاربرد تیمارهای کلات کننده آهن و سیدروفور در شرایط آبیاری مطلوب، حاکی از افزایش رشد و وزن خشک بوته و افزایش جذب آهن در ذرت بوده که نشان از نقش مهم این عنصر در رشد گیاه دارد (۲۱ و ۲۳). اما کاربرد سیدروفور در شرایط کمبود رطوبت مورد بررسی قرار نگرفته است.

در سال زراعی ۹۳ - ۱۳۹۲ ذرت دانه‌ای با سطح زیر کشت ۲۳۳۶۲۰ هکتار حدود ۱/۹۷ درصد از سطح زیر کشت محصولات زراعی را در کشور به خود اختصاص داده و ۱۶۵۸۸۷۵ تن، معادل ۲/۲۴ درصد تولید در کشور داشته و

هفته پس از آغاز گره‌بندی (به ساقه رفتن) و هم زمان با دور آبیاری، مصرف سیدروفور در پای بوته (همراه با آب آبیاری) به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. کاشت به صورت جوی و پشته با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر آماده و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع، در نیمه دوم تیر ماه انجام گرفت. هر کرت شامل ۴ ردیف کاشت و به طول ۹ متر بود و فاصله بین سطوح آبیاری، دو پشته و بین سطوح به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. به منظور بررسی روند تغییرات صفات رنگیزه‌های فتوسنتز برگ، پرولین، قندهای محلول، ساکارز و پراکسیداسیون چربی‌های غشائی آن در فاصله بین دو آبیاری، ۵ نمونه برداری از جوان‌ترین برگ بالغ با فاصله زمانی یکسان دو روز بین نمونه برداری‌ها انجام گرفت. اعمال تیمارهای دور آبیاری پس از استقرار گیاه و رسیدن به مرحله چهار تا شش برگی اجرا و تا پایان دوره ادامه یافت.

میزان رنگدانه‌های برگ (شامل کلروفیل a، b و نسبت کلروفیل a به b و کارتنوئید) با استفاده از روش آرنون (۵)، پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (۶)، استخراج ساکارز برگ از روش ون‌هندل (۲۵)، قندهای محلول برگ از روش ایریگوین و همکاران (۱۱) و مالون دی‌آلدئید (MDA: Malone Dialdehyde) به عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون چربی‌های غشاء از روش دی ووس و همکاران (۷) انجام گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و ترسیم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel انجام گرفت. مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD: Least Significant Difference) در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

رنگیزه‌های برگ

اثر دور آبیاری، سیدروفور و زمان و بر همکنش سه‌جانبه آنها بر محتوای رنگیزه‌های برگ معنی‌دار شد (جدول ۱). از بررسی

عملکردی حدود ۷۱۰۰ کیلوگرم در هکتار را دارا بوده است. در همین سال میزان واردات ذرت ۶۱۶۱/۹۵ هزار تن بوده است (۱). کاشت دیرهنگام ذرت به دلیل سرمای دیررس در بهار به عنوان کشت اول و برداشت دیرهنگام این گیاه به عنوان کشت دوم، از مشکلات عمده تولید ذرت دانه‌ای هستند. همچنین با استفاده از ارقام متوسط‌رس می‌توان برداشت را زودتر انجام داده و از تأخیر در کشت پائیزه بعدی جلوگیری کرد (۱۹). برخی گیاهان زراعی نظیر ذرت، قابلیت کشت به دو صورت بهاره و تابستانه را دارند. انجام کشت تابستانه، امکان صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان دو سوم کشت بهاره را فراهم می‌آورد. با این حال، انجام آبیاری تأخیری در کشت تابستانه نیز قابل بررسی و توصیه می‌باشد و در این زمینه نیز تحقیقات انجام شده بسیار محدود است (۱۴).

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف بررسی اثر کاربرد بیولوگ سیدروفور (تهیه شده از شرکت پرشین بنیان آریا) بر کشت دوم ذرت (SC645) در شرایط تنش خشکی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان به صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، در تابستان سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. عامل اصلی، زمان نمونه برداری در فاصله بین دو آبیاری در پنج سطح (T1-T5) و با فاصله زمانی یکسان دو روز بین نمونه برداری‌ها انجام گرفت. عامل فرعی، شامل فاکتوریل دور آبیاری و کاربرد سیدروفور با کتریایی بود. تیمار آبیاری در دو سطح شامل انجام آبیاری پس از ۷۵ I₁: به عنوان شاهد) و ۱۲۰ میلی‌متر (I₂: آبیاری تأخیری) تبخیر از تشتک تبخیر کلاس آ و تیمار سیدروفور در دو سطح کاربرد (S₁) و عدم کاربرد سیدروفور (S₂: به عنوان شاهد) بود. کاربرد سیدروفور به دو صورت محلول‌پاشی و مصرف با آب آبیاری صورت گرفت. بدین صورت که در دو مرحله آغاز گره‌بندی و تاسل‌دهی محلول‌پاشی سیدروفور با غلظت ۲ در هزار (در تیمار شاهد سیدروفور، محلول‌پاشی با آب) انجام شد. همچنین یک

جدول ۱. تجزیه واریانس رنگیزه‌های برگ - اعداد میانگین مربعات می‌باشد.

| منابع تغییر | درجه آزادی | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل a/b | کارتونئید |
|------------------|------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| بلوک | ۲ | ۰/۱۲۵** | ۰/۰۱۴** | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۴۴۶/۱** |
| دور آبیاری (I) | ۱ | ۳/۳۱۳** | ۰/۱۹۲** | ۱/۰۶۱** | ۵۵۴۱** |
| سیدروفور (S) | ۱ | ۱/۷۵۴** | ۰/۱۲۳** | ۰/۴۲۶** | ۴۸۳۴** |
| I × S | ۱ | ۰/۰۱۲ ^{ns} | ۰/۰۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۱۱ ^{ns} | ۱۱۳/۱* |
| خطای a | ۶ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۱ | ۱۸/۲۲ |
| زمان (T) | ۴ | ۰/۱۶۴** | ۰/۰۳۵** | ۰/۴۶۸** | ۳۰۸۱** |
| T × I | ۴ | ۰/۰۰۴ ^{ns} | ۰/۰۰۳* | ۰/۰۲۴ ^{ns} | ۲۲۷/۷** |
| T × S | ۴ | ۰/۰۰۲ ^{ns} | ۰/۰۰۳* | ۰/۰۱۵ ^{ns} | ۳۹۷/۱** |
| T × I × S | ۴ | ۰/۰۱۷** | ۰/۰۰۳* | ۰/۰۲۸* | ۲۲۲/۲** |
| خطای b | ۳۲ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۹ | ۳۶/۲۵ |
| ضریب تغییرات (%) | | ۳/۴ | ۵/۰ | ۳/۷ | ۶/۱ |

ns, * و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

حفاظتی) دارند و به همین دلیل تغییرات آنها از شدت و نوسانات کمتری نسبت به کلروفیل a برخوردار می‌باشد. نقش حفاظتی کلروفیل b با افزایش تأخیر در آبیاری و اعمال تنش خشکی در گیاه بیشتر نمود پیدا می‌کند و باعث شد که در دور آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر (I₂)، در زمان T₄ این افزایش مشاهده گردد. با تداوم کاهش میزان کلروفیل a، کاهش در کلروفیل b در مرحله T₅ نیز انجام شد (شکل ۱ و ۲). تحت تأثیر خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a ممکن است ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمپلکس پروتئینی محافظت‌کننده رنگدانه‌های a و b، صدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست و رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (۲۴).

بیشترین میزان نسبت کلروفیل a/b در تیمار T₁I₁S₁ و T₄I₁S₁ و کمترین آن در تیمار T₄I₂S₂ مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۳). روند تغییرات نسبت کلروفیل a/b در سطوح مختلف آبیاری، متفاوت از همدیگر بوده و تغییرات متفاوتی نشان دادند. در تیمار آبیاری I₁، در قبل از انجام آبیاری، بیشترین میزان نسبت کلروفیل a/b به دست آمد که با توجه به کاهش ظرفیت

هم‌زمان جدول مقایسه میانگین‌ها و همچنین نمودارهای روند تغییرات رنگیزه‌های برگ (شکل‌های ۱ الی ۴) مطالب زیر برداشت می‌شود:

میزان کلروفیل a و b در دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر تبخیر (I₁)، همواره بیشتر از دور آبیاری تأخیری (I₂) بود. در هر دور آبیاری نیز بیشترین میزان کلروفیل a و b، مربوط به تیمار کاربرد سیدروفور (S₁) بود. انجام آبیاری نیز باعث افزایش مقدار این دو رنگیزه نسبت به زمان‌های قبل و بعد از آبیاری گردید. به نحوی که بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار یک روز بعد از آبیاری، در T₂I₁S₁ و T₄I₁S₁ و کمترین میزان آن نیز از تیمار T₁I₂S₂ حاصل شد (جدول ۲ و شکل ۱).

در رابطه با کلروفیل b نیز بیشترین مقدار آن از تیمارهای T₅I₁S₁ و T₃I₁S₁، T₂I₁S₁ و T₁I₂S₂ به دست آمد (شکل ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود، واکنش تغییرات میزان کلروفیل a نسبت به انجام آبیاری بیشتر از کلروفیل b صورت گرفت و این تفاوت مربوط به وظیفه این دو رنگیزه در سیستم فتوسنتزی می‌باشد. از آنجا که تمامی رنگیزه‌های برگ به غیر از کلروفیل a، نقش کمکی (آنتن و

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان × دور آبیاری × سیدروفور رنگیزه‌های برگ و پرولین و مالون‌دی آلدئید

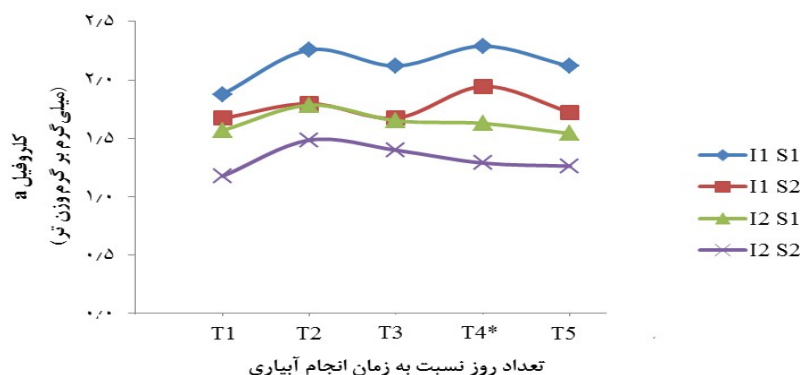
| زمان | دور آبیاری | سیدروفور | کلروفیل a | کلروفیل b | کلروفیل a/b | کارتنوئید | پرولین | مالون‌دی آلدئید |
|-----------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| | | | mg/g FW | | | | μg/g FW | mmol/g |
| T ₁ | I ₁ | S ₁ | ۱/۸۸ ^{cd} | ۰/۶۱۶ ^{efgh} | ۳/۰۴ ^a | ۱۰۴ ^{def} | ۱۲/۵ ^{fghi} | ۲/۸۰ ^g |
| | I ₁ | S ₂ | ۱/۶۷ ^{fg} | ۰/۵۹۰ ^{ghi} | ۲/۸۵ ^b | ۸۸ ^h | ۱۰/۹ ^{hi} | ۴/۰۳ ^e |
| | I ₂ | S ₁ | ۱/۵۷ ^{ghi} | ۰/۵۶۳ ^{hi} | ۲/۷۸ ^{bc} | ۸۵ ^{hi} | ۲۷/۸ ^a | ۴/۹۰ ^{bc} |
| | I ₂ | S ₂ | ۱/۱۷ ^l | ۰/۴۶۳ ^j | ۲/۵۴ ^{def} | ۷۱ ^j | ۱۸/۵ ^{cd} | ۵/۶۰ ^a |
| T ₂ | I ₁ | S ₁ | ۲/۲۶ ^a | ۰/۸۴۰ ^a | ۲/۶۹ ^{bcd} | ۱۴۳ ^a | ۱۰/۷ ⁱ | ۱/۹۱ ^h |
| | I ₁ | S ₂ | ۱/۸۰ ^{de} | ۰/۶۹۰ ^{bcd} | ۲/۶۱ ^{cde} | ۱۲۹ ^{bc} | ۷/۵ ^j | ۳/۳۲ ^f |
| | I ₂ | S ₁ | ۱/۷۸ ^{de} | ۰/۶۴۰ ^{defg} | ۲/۷۷ ^{bc} | ۱۲۱ ^c | ۱۶/۳ ^{de} | ۴/۵۵ ^{cd} |
| | I ₂ | S ₂ | ۱/۴۸ ^{ij} | ۰/۵۵۰ ⁱ | ۲/۷۰ ^{bcd} | ۷۸ ^{ij} | ۱۴/۷ ^{ef} | ۵/۰۱ ^b |
| T ₃ | I ₁ | S ₁ | ۲/۱۲ ^b | ۰/۸۰۰ ^a | ۲/۶۶ ^{cd} | ۱۰۷ ^{de} | ۱۴/۱ ^{efg} | ۲/۴۷ ^g |
| | I ₁ | S ₂ | ۱/۶۷ ^{fg} | ۰/۶۸۰ ^{bcd} | ۲/۴۶ ^{efg} | ۷۰ ^j | ۱۲/۶ ^{fghi} | ۴/۱۲ ^e |
| | I ₂ | S ₁ | ۱/۶۵ ^{fg} | ۰/۶۵۳ ^{cdef} | ۲/۵۴ ^{def} | ۱۰۸ ^d | ۱۸/۵ ^{cd} | ۴/۲۴ ^{de} |
| | I ₂ | S ₂ | ۱/۴۰ ^j | ۰/۵۶۶ ^{hi} | ۲/۴۶ ^{efg} | ۹۸ ^{efg} | ۱۳/۷ ^{efgh} | ۴/۹۷ ^b |
| *T ₄ | I ₁ | S ₁ | ۲/۲۹ ^a | ۰/۷۱۳ ^b | ۳/۲۰ ^a | ۱۳۳ ^b | ۱۱/۵ ^{ghi} | ۰/۸۵ ^j |
| | I ₁ | S ₂ | ۱/۹۴ ^c | ۰/۷۰۶ ^{bc} | ۲/۷۵ ^{bc} | ۱۰۳ ^{def} | ۱۲/۱ ^{fghi} | ۱/۰۷ ^{ij} |
| | I ₂ | S ₁ | ۱/۶۳ ^{fgh} | ۰/۷۰۰ ^{bc} | ۲/۳۳ ^{gh} | ۹۵ ^{fgh} | ۲۸/۴ ^a | ۳/۵۱ ^f |
| | I ₂ | S ₂ | ۱/۲۹ ^k | ۰/۶۰۰ ^{fghi} | ۲/۱۵ ⁱ | ۸۹ ^{gh} | ۲۰/۱ ^{bc} | ۳/۹۷ ^c |
| T ₅ | I ₁ | S ₁ | ۲/۱۲ ^b | ۰/۷۹۰ ^a | ۲/۶۸ ^{bcd} | ۱۰۴ ^{def} | ۱۴/۳ ^{efg} | ۱/۲۴ ⁱ |
| | I ₁ | S ₂ | ۱/۷۳ ^{ef} | ۰/۶۵۶ ^{cde} | ۲/۶۱ ^{cde} | ۹۸ ^{efg} | ۱۲/۷ ^{fghi} | ۲/۰۸ ^h |
| | I ₂ | S ₁ | ۱/۵۴ ^{hi} | ۰/۶۵۳ ^{cdef} | ۲/۳۸ ^{fgh} | ۷۲ ^j | ۲۹/۶ ^a | ۵/۱۳ ^b |
| | I ₂ | S ₂ | ۱/۲۶ ^k | ۰/۵۶۰ ⁱ | ۲/۲۵ ^{hi} | ۷۰ ^j | ۲۱/۷ ^b | ۵/۸۷ ^a |
| | | | ۰/۱۰ | ۰/۰۵۶ | ۰/۱۷ | ۹/۰ | ۲/۹۸ | ۰/۰۸ |

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک در هرستون، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر، آبیاری صورت گرفته است.

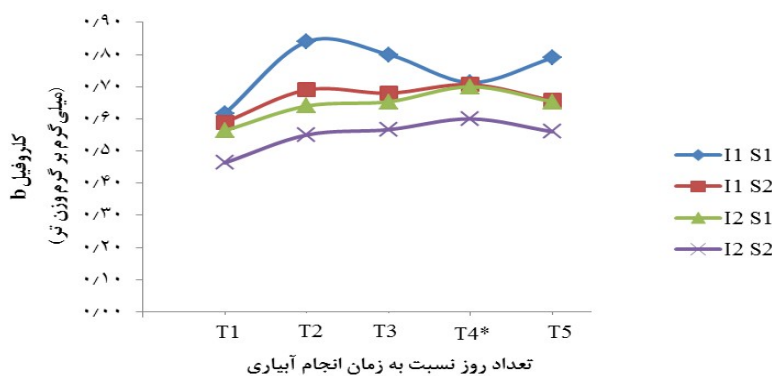
I₁ و I₂: به ترتیب دور آبیاری پس از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S₁ و S₂: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T₁, T₂, T₃, T₄ و T₅: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.

گردیده این نسبت کاهش یابد. روند کاهش تا روز سوم بعد از آبیاری ادامه داشته و پس از آن، مجدداً با کاهش رطوبت به دلیل کاهش بیشتر کلروفیل b، این نسبت روند افزایشی پیدا می‌کند. پس از انجام آبیاری، از روز ششم، این روند مجدداً کاهش می‌شود (شکل ۳). اما در دور آبیاری I₂، به دلیل شدت تنش

فتوسنتزی به دلیل کاهش رطوبت قابل استفاده خاک، نیاز به کلروفیل b (به‌عنوان گیرنده یا آنتن) کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان این نسبت زیاد است (شکل ۳). پس از انجام آبیاری و افزایش ظرفیت فتوسنتزی، هر دو رنگیزه افزایش یافتند (شکل ۱ و ۲)، با این حال افزایش کلروفیل b بیشتر بوده و باعث



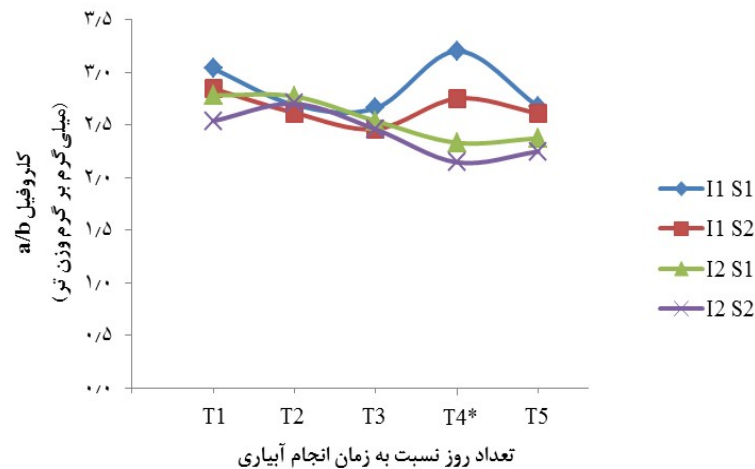
شکل ۱. تأثیر برهمکنش دور آبیاری، زمان و سیدروفور بر میزان کلروفیل a برگ ذرت دانه‌ای. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر، آبیاری صورت گرفته است. I₁ و I₂: به ترتیب دور آبیاری بعد از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S₁ و S₂: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T₁, T₂, T₃, T₄ و T₅: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.



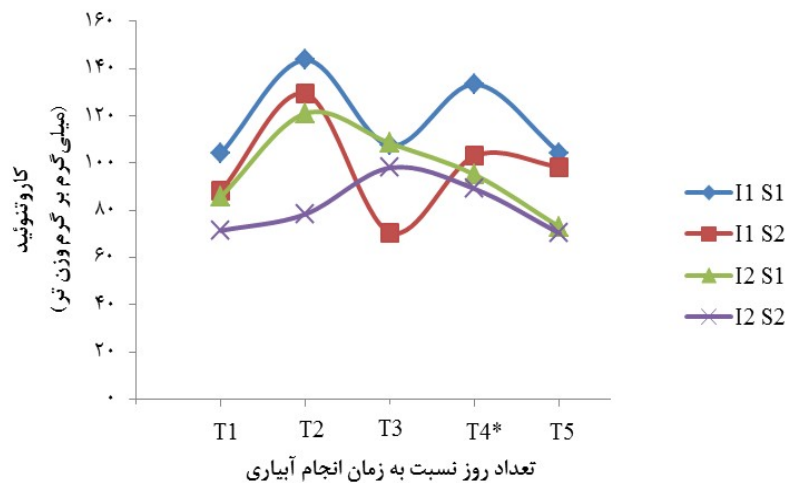
شکل ۲. تأثیر برهمکنش دور آبیاری، زمان و سیدروفور بر میزان کلروفیل b برگ ذرت دانه‌ای. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر، آبیاری صورت گرفته است. I₁ و I₂: به ترتیب دور آبیاری بعد از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S₁ و S₂: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T₁, T₂, T₃, T₄ و T₅: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.

پنجم پس از آبیاری روند تغییرات نزولی است. اما در فاصله روز پنجم تا هفتم پس از آبیاری، به دنبال کاهش میزان کلروفیل b، این روند به صورت غیرمعنی دار، افزایش می‌یابد (شکل‌های ۲ و ۳). همگی این موارد در تأیید نقش کمکی کلروفیل b می‌باشد. در کل با توجه به روند تغییرات به نظر می‌رسد که وظیفه کلروفیل b بسته به دور آبیاری متفاوت می‌باشد و در تیمار I₁ بیشتر از جنبه کمک به ظرفیت فتوسنتزی اهمیت دارد،

وارد شده بیشتر، این نسبت کمتر از دور آبیاری I₁ می‌باشد. بعد از آبیاری به دلیل فراهمی رطوبت قابل استفاده، میزان افزایش کلروفیل a بیشتر از کلروفیل b بوده و این روند صعودی می‌شود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). در ادامه و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و نیز سازگاری گیاه با این دور آبیاری، تغییرات تا سه روز بعد به صورت کاهشی است. سپس، به دلیل افزایش نیاز به نقش محافظت‌کنندگی کلروفیل b و افزایش آن، همچنان تا روز



شکل ۳. تأثیر برهمکنش دور آبیاری، زمان و سیدروفور بر میزان کلروفیل a/b برگ ذرت دانه‌ای. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر، آبیاری صورت گرفته است. I1 و I2: به ترتیب دور آبیاری بعد از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S1 و S2: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T1، T2، T3، T4 و T5: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.



شکل ۴. تأثیر برهمکنش دور آبیاری، زمان و سیدروفور بر میزان کارتنوئید برگ ذرت دانه‌ای. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر، آبیاری صورت گرفته است. I1 و I2: به ترتیب دور آبیاری بعد از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S1 و S2: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T1، T2، T3، T4 و T5: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.

می‌باشد. کاهش نسبت کلروفیل a به b تحت تنش خشکی در بعضی گیاهان مانند آفتابگردان و گندم نیز گزارش شده است (۱۶).

اما در تیمار آبیاری I2، وظیفه اصلی این رنگیزه، نقش حفاظتی می‌باشد. با این حال، روند تغییرات حاکی از نقش مثبت کاربرد سیدروفور در افزایش میزان هر دو کلروفیل و نسبت آنها

استفاده در خاک، ارتباط داشته و در دور آبیاری I_2 مقدار پرولین بیشتری در برگ تجمع یافت. همچنین روند تغییرات آن نشان می‌دهد که انجام آبیاری به‌ویژه در تیمار آبیاری تأخیری (I_2)، به نحو قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش میزان پرولین گردید، اما با فاصله گرفتن از زمان انجام آبیاری و کاهش رطوبت خاک، میزان پرولین برگ، روند صعودی پیدا کرده است. سیدروفور نیز باعث افزایش تجمع پرولین در برگ گردیده است. این مورد می‌تواند مربوط به تشابه ساختار شیمیایی سیدروفور مصرفی با پرولین باشد. همچنین عواملی نظیر کمک به بهبود جذب عناصر غذایی احتمالاً در بهبود روند سنتز پرولین می‌تواند مؤثر بوده باشد.

قندهای محلول برگ

اثر اصلی عوامل آزمایشی و نیز برهمکنش دو جانبه دور آبیاری و سیدروفور و همچنین زمان و دور آبیاری بر میزان قندهای محلول برگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان قند محلول از I_2S_1 کمترین مقدار آن نیز از تیمارهای I_1S_1 و I_1S_2 به‌دست آمد (جدول ۴). از طرف دیگر مقایسه میانگین برهمکنش زمان و دور آبیاری نشان داد که بیشترین و کمترین میزان قندهای محلول به‌ترتیب در تیمارهای T_3I_2 و T_2I_1 مشاهده شد (جدول ۵). روند تغییرات قندهای محلول در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطوح مختلف آبیاری نیز نشان داد که کاهش رطوبت در محیط خاک (نمونه‌برداری قبل از آبیاری) باعث افزایش میزان قندهای محلول برگ می‌شود. با توجه به این که در دور آبیاری I_1 ، گیاه تنش خشکی خاصی را تحمل نمی‌کند، تغییرات قندهای محلول برگ، مختصر می‌باشد. اما تغییرات آن در دور آبیاری I_2 قابل توجه می‌باشد. محدودیت رشد ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی و تداوم فتوسنتز و همچنین نیاز به انجام تنظیم اسمزی و شکسته شدن کربوهیدرات‌های نامحلول از دلایل تجمع کربوهیدرات در برگ می‌باشد. انجام آبیاری و فراهمی رطوبت در خاک، زمینه شروع رشد و مصرف قندهای تجمع کرده در برگ و همچنین عدم

کارتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه‌های گیرنده (آنتن) پرتوهای نوری بوده و وظیفه کمک به افزایش ظرفیت فتوسنتزی را دارند. بعد از انجام آبیاری، به‌دلیل فراهم شدن زمینه برای انجام فتوسنتز و افزایش میزان کلروفیل، میزان کارتنوئیدها نیز افزایش یافت. سپس با کاهش میزان فراهمی رطوبت در خاک، به‌تدریج میزان آن کاهش می‌یابد تا به دور آبیاری بعد نزدیک شود (شکل ۴). با توجه به روند افزایش کلروفیل b پس از انجام آبیاری (شکل ۲)، به‌نظر می‌رسد که کاهش کارتنوئیدها به این دلیل باشد که حضور بیشتر کلروفیل b ، ضرورت حضور کارتنوئیدها را کاهش داده است.

نکته قابل تأمل مربوط به نقش استفاده از سیدروفور می‌باشد که در هر دو دور آبیاری شاهد و تأخیری، سبب افزایش میزان کارتنوئیدها گردیده است (شکل ۴). همچنین در دور آبیاری I_1 ، میزان نوسان کارتنوئیدها را نسبت به زمان آبیاری کاهش داده است. در آبیاری I_2 ، افزایش میزان کارتنوئیدها در تیمار عدم کاربرد سیدروفور، با تأخیر زمانی (۴ روز بعد از آبیاری) مشاهده می‌شود که می‌تواند به‌دلیل نیاز زمان برای ترمیم خسارت‌های تنش خشکی وارده به سیستم فتوسنتزی باشد. اولیویرا- نتو و همکاران (۲۰) تغییرات متابولیک را عامل کاهش سطوح رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت خوشه‌ای در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. این محققان گزارش کردند که کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات سبب کاهش سنتز کارتنوئیدها می‌شود.

پرولین برگ

اثر اصلی عوامل آزمایشی و برهمکنش سه جانبه آنها بر میزان پرولین برگ معنی‌دار گردید (جدول ۳). در تیمار $T_1I_2S_1$ و نیز تیمارهای $T_4I_2S_1$ و $T_5I_2S_1$ بیشترین میزان پرولین مشاهده شد. کمترین مقدار پرولین نیز از تیمار $T_2I_1S_2$ به‌دست آمد (جدول ۲ و شکل ۵). همان‌طور که مشخص است، میزان پرولین با سطح تنش خشکی وارده به گیاه و فراهمی رطوبت قابل

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات غلظت پرولین، قند محلول، ساکارز و مالون دی آلدئید برگ - اعداد میانگین مربعات می باشد.

| منابع تغییر | درجه آزادی | پرولین | قندهای محلول | ساکارز | مالون دی آلدئید |
|------------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| بلوک | ۲ | ۱۷/۳۳** | ۰/۸۵۴** | ۰/۰۱۳** | ۰/۰۶۳** |
| دور آبیاری (I) | ۱ | ۱۲۱۷** | ۲۵/۳** | ۰/۲۶۳** | ۳/۴۱۴** |
| سیدروفور (S) | ۱ | ۲۲۹/۳** | ۶/۲۰۱** | ۰/۰۸۸** | ۰/۴۲۶** |
| I × S | ۱ | ۹۱/۰۲** | ۲/۰۴۲* | ۰/۰۱۱** | ۰/۰۳۰* |
| خطای a | ۶ | ۳/۸۱۵ | ۰/۱۵۴ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۰۰۲ |
| زمان (T) | ۴ | ۱۱۸/۸** | ۲/۶۱۱** | ۰/۰۴۶** | ۰/۳۳۶** |
| T × I | ۴ | ۳۵/۵۲** | ۰/۸۶۶** | ۰/۰۰۵** | ۰/۰۳۲** |
| T × S | ۴ | ۷/۸۴۴ ^{ns} | ۰/۰۹۹ ^{ns} | ۰/۰۰۱* | ۰/۰۲۱** |
| T × I × S | ۴ | ۱۱/۲۸* | ۰/۰۶۵ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۰/۰۱۲** |
| خطای b | ۳۲ | ۳/۱۳۸ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۱ |
| ضریب تغییرات (%) | | ۱۰/۷ | ۶/۷ | ۷/۶ | ۶/۲ |

ns, * و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل دور آبیاری × سیدروفور بر غلظت قندهای محلول و ساکارز برگ ذرت دانه‌ای

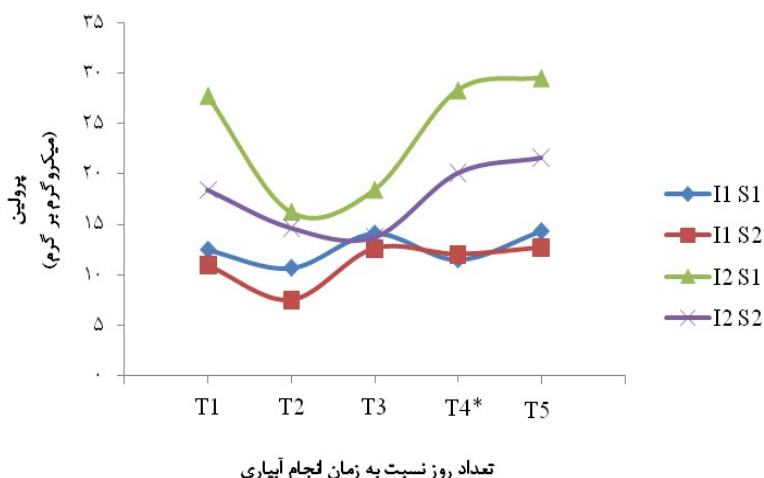
| دور آبیاری | سیدروفور | قندهای محلول mg/g FW | ساکارز |
|----------------|----------------|-------------------------|--------|
| I ₁ | S ₁ | ۲/۶۱۵ | c |
| I ₂ | S ₁ | ۴/۲۸۴ | a |
| I ₁ | S ₂ | ۲/۳۴۱ | d |
| I ₂ | S ₂ | ۳/۲۷۲ | b |
| | | ۰/۳۵۰ | ۰/۰۱۷ |
| | | LSD5% | |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت آماری معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می باشند.

ساکارز برگ

اثر اصلی عوامل آزمایشی و برهمکنش دو جانبه دور آبیاری و سیدروفور، زمان و دور آبیاری و نیز زمان و سیدروفور بر میزان ساکارز برگ معنی دار گردید (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و سیدروفور بیشترین و کمترین میزان ساکارز به ترتیب مربوط به تیمارهای I2S1 و I1S2 بود (جدول ۵). مقایسه میانگین زمان و دور آبیاری نیز نشان داد که در تیمارهای T4I2 و T5I2 بیشترین میزان ساکارز و در تیمار

نیاز به کاهش پتانسیل اسمزی سلول برای جذب آب، زمینه کاهش قندهای محلول در برگ را فراهم می‌سازد. حضور سیدروفور، باعث تجمع بیشتر قندهای محلول نسبت به وضعیت عدم کاربرد آن می‌باشد که می‌تواند مربوط به اثرات بیولوژیک آن نظیر بهبود فعالیت آنزیم‌های سلولی (مؤثر در سنتز کربوهیدرات یا تجزیه نشاسته) ناشی از بهبود تغذیه گیاه باشد.



شکل ۵. تأثیر برهمکنش دور آبیاری، زمان و سیدروفور بر میزان پرولین برگ ذرت دانه‌ای. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر آبیاری صورت گرفته است. I1 و I2: به ترتیب دور آبیاری بعد از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S1 و S2: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T1، T2، T3، T4، T5: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.

مالون دی‌آلدئید برگ (MDA)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی عوامل آزمایشی و نیز برهمکنش سه جانبه زمان، دور آبیاری و سیدروفور بر میزان MDA برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش زمان، دور آبیاری و سیدروفور نشان داد که در تیمارهای I2S2 و T1I2S2 بیشترین و در تیمار T4I1S1 کمترین مقدار مالون دی‌آلدئید مشاهده شد (جدول ۲ و شکل ۶). بر این اساس می‌توان گفت که سطح MDA در مجموع در دور آبیاری I2، به دلیل بروز تنش خشکی و ایجاد رادیکال‌های آزاد، بیشتر از دور آبیاری شاهد می‌باشد. چرا که انجام آبیاری و تأمین رطوبت خاک در هر دو تیمار آبیاری باعث کاهش چشمگیر میزان پراکسیداسیون چربی‌ها می‌شود. کاربرد سیدروفور نیز باعث کاهش MDA شده که می‌تواند از طریق تقویت راه‌کار آنتی‌اکسیدان سلول و یا تداوم فتوسنتز و ممانعت از کاهش پذیرنده نهایی الکترون و در نتیجه کاهش رادیکال‌های آزاد تولیدی باشد. دلیل افت چشمگیر این صفت در مرحله چهارم در آبیاری تأخیری مشخص نیست. ممکن است به دلیل عوامل محیطی (نظیر کاهش دمای محیط) و در نتیجه کاهش شدت

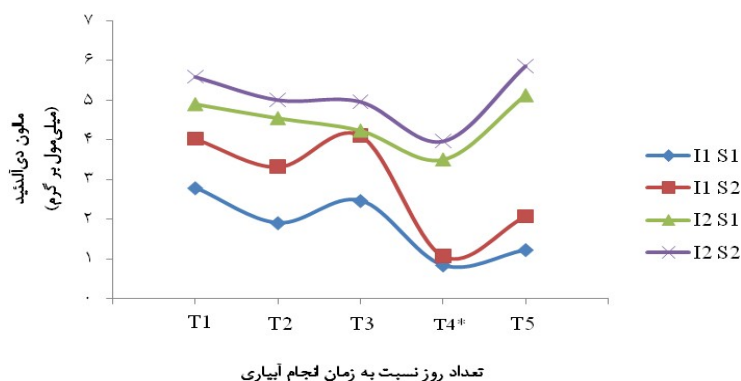
T2I1 کمترین میزان ساکارز مشاهده شد (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش زمان و سیدروفور نیز نشان داد که در تیمار T3S1 و T5S1 بیشترین میزان ساکاروز و در تیمار T2S2 کمترین میزان ساکارز به دست آمد (جدول ۶). دلایل توجیهی این تغییرات مشابه فندهای محلول برگ می‌باشد و عوامل تحریک کننده رشد (فراهمی رطوبت در خاک) و میزان ساکارز برگ، کاهش فتوسنتز و کاهش رشد گیاه می‌باشد. از آنجایی که در کمبود رطوبت، رشد سریع‌تر از فتوسنتز متوقف می‌شود، تجمع ساکارز در برگ و افزایش میزان آن اتفاق می‌افتد.

برخی از محققان دریافتند که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفاتاز (سنتز ساکارز نقش مهمی ایفا می‌کند) در گیاه سیب‌زمینی شده است. همچنین تنش خشکی اثر منفی بر فعالیت آنزیم اینورتاز گذاشته که نقش مهمی در هیدرولیز ساکارز دارد (۱۰). برخی از محققین علت افزایش قند محلول و ساکارز با افزایش تنش خشکی را کاهش میزان فتوسنتز، تبدیل نشاسته به قند و یا مصرف کمتر کربوهیدرات توسط گیاه در شرایط خشکی می‌دانند (۱۳).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان × دور آبیاری بر غلظت قندهای محلول و ساکارز برگ ذرت دانه‌ای

| زمان | دور آبیاری | قندهای محلول mg/g FW | ساکارز mg/g FW | سیدروفور | ساکارز mg/g FW |
|-----------------|----------------|-------------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| T ₁ | I ₁ | ۲/۶۹۳ ^{de} | ۰/۲۱۳ ^e | S ₁ | ۰/۳۳۶ ^b |
| | I ₂ | ۴/۱۷۵ ^b | ۰/۳۷۱ ^b | S ₂ | ۰/۲۴۸ ^{cd} |
| T ₂ | I ₁ | ۲/۴۵۳ ^{ef} | ۰/۱۸۰ ^f | S ₁ | ۰/۲۳۲ ^d |
| | I ₂ | ۲/۸۳۳ ^d | ۰/۲۴۵ ^d | S ₂ | ۰/۱۹۳ ^e |
| T ₃ | I ₁ | ۲/۶۹۳ ^{de} | ۰/۲۸۰ ^c | S ₁ | ۰/۴۱۰ ^a |
| | I ₂ | ۳/۱۸۱ ^c | ۰/۳۵۹ ^b | S ₂ | ۰/۲۷۱ ^c |
| *T ₄ | I ₁ | ۲/۱۰۶ ^g | ۰/۲۴۴ ^d | S ₁ | ۰/۳۳۳ ^b |
| | I ₂ | ۴/۲۴۶ ^{ab} | ۰/۴۴۳ ^a | S ₂ | ۰/۳۱۴ ^b |
| T ₅ | I ₁ | ۲/۴۴۵ ^{ef} | ۰/۲۸۵ ^c | S ₁ | ۰/۴۱۴ ^a |
| | I ₂ | ۴/۴۵۶ ^a | ۰/۴۴۶ ^a | S ₂ | ۰/۳۱۶ ^b |
| | | ۰/۲۴۷ | ۰/۰۲۷ | LSD5% | |

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر آبیاری صورت گرفته است.



شکل ۶. تأثیر برهمکنش زمان، دور آبیاری و سیدروفور بر میزان مالون دی‌آلدئید برگ ذرت دانه‌ای. * برای دور آبیاری ۷۵ میلی‌متر آبیاری صورت گرفته است. I₁ و I₂: به ترتیب دور آبیاری بعد از ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر. S₁ و S₂: به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد سیدروفور. T₁, T₂, T₃, T₄ و T₅: به ترتیب یک روز قبل، دو روز بعد، چهار روز بعد، شش روز بعد و هشت روز بعد از آبیاری.

و خسارات وارده به سیستم غشائی سلول همراه بود. کاربرد سیدروفور نیز از طریق تقویت تولید اسمولیت‌ها، سبب بهبود قابلیت تنظیم اسمزی گردید که افزایش میزان تحمل به خشکی در گیاه را به دنبال دارد. ضمن اینکه مصرف سیدروفور، با تقویت توانایی‌های بیولوژیک حفاظتی سلول، منجر به کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها و خسارت وارده به غشاءهای سلول شد که افزایش پایداری غشاهای سلول و سیستم فتوسنتزی و در نتیجه، تداوم حیات سلول و انجام فتوسنتز را به دنبال دارد. به‌طورکلی، کاربرد سیدروفور، افزایش چشمگیری در توانایی تنظیم اسمزی سلول و تحمل به خشکی گیاه را به همراه داشت.

تنش خشکی وارده باشد. کمبود آب، با تولید گونه‌های فعال اکسیژن، سلول گیاهی را با تنش ثانویه ناشی از حضور رادیکال‌های آزاد اکسیژنی مواجه می‌کند که به بسیاری از ترکیبات نظیر لیپیدها صدمه می‌زند. افزایش MDA در تنش‌های کم‌آبی در یونجه (۳) و گندم (۱۸) گزارش شده است و نتایج این تحقیق را تکمیل می‌کند.

نتیجه‌گیری

تاخیر در آبیاری و بروز تنش خشکی، با کاهش رنگیزه‌های برگی و افزایش اسمولیت‌ها (پرولین، قندهای محلول و ساکارز)

منابع مورد استفاده

1. Anonymous. 2015. Statistical yearbook of Iran ministry of jihad-e-agriculture. Available online at: <http://agri-jahad.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=95a8e7d0-e5f0-4f2d-a241-792106c74dcc>. Accessed 1 January 2017.
2. Ahmad, P. and S. Sharma. 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO₃ stress. *International Journal of Plant Production* 4: 79-86.
3. Antolín, M. C., I. Muro and M. Sánchez-Díaz. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. *Environmental and Experimental Botany* 68: 75-82.
4. Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373-399.
5. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
6. Bates, L. S., R. D. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
7. De Vos, C. H. and H. Schat. 1991. Increased resistance to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant *Silene cucubalus*. *Physiologiae Plantarum* 82: 523-528.
8. Edmeades, G. O., J. Bolanos, H. R. Lafitte, S. Rajaram, W. Pfeiffer and R. A. Fischer. 1989. Traditional approaches to breeding for drought Resistance in Cereals. pp. 27-52. In: F. W. G. Baker (Ed.), *Drought Resistance in Cereals*. ICSU, Paris and C. A. B. International, Wallingford, England.
9. Fuentes-Ramirez, L. E. and J. Caballero-Mellado. 2006. Bacterial biofertilizers. pp. 143- 172. In: Z. A. Siddiqui (Ed.). *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*. Springer, Netherlands.
10. Geigenberger, P., R. Reimholz, M. Geiger, L. Merlo, V. Canale and M. Stitt. 1997. Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta* 201 (4): 502-518.
11. Irigoyen, J. J., D. W. Emerich and M. Sanchez Diaz. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Plant Physiology* 84: 55-60.
12. Justyna, P. G. and K. Ewa. 2013. Induction of resistance against pathogens by β -aminobutyric acid. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 1735-1748.
13. Karimi, H. R., Z. Zamani, A. Ebadi and R. Fatahi. 2011. Effects of water salinity on growth indices and physiological parameters in some pistachio rootstocks. *Journal of Plant Nutrition* 34: 935-944.
14. Khajepur, M. 2013. Cereals. Publications of Isfahan Agricultural Jihad. Isfahan.
15. Kuchaki, A. and A. Alizadeh. 1986. Principle of Agriculture in Dry Regions. Astan-e Qods-e Razavi Press. Mashhad.
16. Kukavica, B. and S. V. Jovanovic. 2004. Senescence-related changes in the antioxidant status of ginkgo and birch leaves during autumn yellowing. *Physiologiae Plantarum* 122 (3): 321- 327.
17. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 405-410.

18. Moaveni, P. 2011. Effect of water deficit stress on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum*) *Agricultural Science Research Journal* 1(1): 64 – 68.
19. Naghashzadeh, M. R., H. Heidari Sharifabad, E. Majidi Heravan, M. Rafiee, F. Rejali and N. Imantalab. 2014. Evaluation of maize leaf gas exchanges with application of mycorrhizal biofertilizer under drought stress conditions. *Seed and Plant Production Journal* 30-2 (1): 47-59.
20. Oliviera-Neto, C. F., A. K. Silva-Lobato, M. C. Goncalves-Vidigal, R. C. L. Costa, B. G. Santos Filho, G. A. R. Alves, W. J. M. Silva-Maia, F. J. R. Cruz, H. K. B. Neres and M. J. Santos Lopes. 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 588-593.
21. Sharma, A. and B. N. Johri. 2003. Growth promoting influence of siderophore-producing *Pseudomonas* strains GRP3A and PRS9 in maize (*Zea mays* L.) under iron limiting conditions. *Microbiological Research* 158: 243–248.
22. Sharma, S., N. Grandvaux, G. P. Zhou, R. Lin and J. Hiscott. 2003. Triggering the interferon antiviral response through an IKK-related pathway. *Science* 300: 1148-1151.
23. Tahmasbi, F., A. Lakzian, K. Khavazi and A. Pakdin Parizi. 2014. Isolation, identification and evaluation of siderophore production in *Pseudomonas* bacteria and its effect on hydroponically grown corn. *Journal of Cellular and Molecular Researches* 27 (1): 75-86. (In Farsi)
24. Tambussi, E. A., C. G. Bartoli, J. Bettran, J. J. Guiamet and J. C. Araus. 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology* 108: 398-404.
25. Van Handel, E. 1968. Direct microdetermination of sucrose. *Analytical Biochemistry* 22 (2): 280-283.

Modification of Physiological Characteristics in Maize as Influenced by Delayed Irrigation and Bacterial Siderophore

S. Sarrafi¹, A. Azari*², R. Saberi Riseh³ and A. A. Mohammadi Mirik²

(Received: October 8-2016; Accepted: February 22-2017)

Abstract

To study the effect of bacterial siderophore on the second crop of maize (SC645) under drought stress conditions, a split-factorial experiment, arranged in a randomized complete block design with three replications was conducted in Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan at summer 2014. Sampling time was considered as main factor. Five samplings were performed after imposing the irrigation treatments. The factorial combination of two irrigation intervals (75 (unstressed control) and 120 mm evaporation from Class-A pan) and two siderophore application treatments (with and without application) were considered as sub factors. The foliar application of siderophore (2000 mg l⁻¹) was applied two times. In addition, 20 kg siderophore ha⁻¹ was applied with irrigation. The chl a, b and carotenoids decreased with delay in irrigation while increased with siderophore application in each irrigation. Also, proline, soluble sugars and sucrose accumulated with increasing irrigation intervals and delay in irrigation. Increase in intervals and delay in irrigation without siderophore application resulted in an increase in membrane lipid peroxidation. The trend of changes in traits was significantly influenced by the availability of soil moisture, and modifications in the above-mentioned trait values were observed with delays in irrigation. Irrigating (rewatering) of plants subjected to water deficit stress did not improve their traits values compared with the unstressed control, indicating that short-term effects of drought would not recover by irrigation. Bacterial siderophore enhances the ability of osmotic adjustment and photosynthetic capacity and is effective in ameliorating the harmful effects of drought.

Keywords: Delayed irrigation, Maize, Osmotic adjustment, Siderophore

1, 2. MSc. Student and Assistant Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

3. Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

*. Corresponding Author, Email: armanazari@vru.ac.ir