مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی
جلد ششم، شماره دوم، تابستان ۹۲
۳۵-۵۶
http://ejcp.gau.ac.ir

ارزیابی پارامترهای فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ تحت تنش شوری

زهرا جوادی‌پور[۱]، *محسن موحدی‌دهنوی[۲] و حمیدرضا بلوچی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج، [۲]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۱۴

چکیده

به‌منظور مقایسه مؤلفه‌های فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش شوری، آزمایشی در گل‌خانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در تابستان ۱۳۹۰ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. عامل اول ۴ سطح شوری صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار و عامل دوم ۶ رقم گلرنگ بهاره محلی اصفهان، سینا خاردار، اصفهان ۱۴، گلدشت، پدیده و سینا ۴۱۱ بودند. مؤلفه‌های فتوسنتز خالص، تعرق، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی، محتوا و فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری شدند. برهم‌کنش رقم و شوری برای تمامی صفات به‌جز حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) معنی‌دار بود. روند کاهشی کلروفیل و مؤلفه‌های فتوسنتزی با افزایش سطوح شوری در ارقام مختلف متفاوت بود. مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل، F_m (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی) و F_o (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی) با افزایش سطوح شوری در ارقام مختلف روند افزایشی داشتند. در سطح بدون تنش، رقم پدیده برتری نسبی از نظر کلروفیل a و b، میزان تعرق، سرعت فتوسنتزی و کارایی مصرف آب داشت. در شوری ۷۵ میلی‌مولار، رقم سینا خاردار از نظر کلروفیل b، مجموع کلروفیل، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز برتری نسبی در مقایسه با سایر ارقام نشان داد. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، رقم پدیده از نظر صفات کلروفیل a، کلروفیل b، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری داشت و در شوری ۲۲۵ میلی‌مولار، رقم اصفهان ۱۴ از نظر کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تعرق، سرعت فتوسنتز، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای.

* مسئول مکاتبه: movahhedi54@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی مقاوم به شوری است و در بسیاری از شرایط سخت محیطی رشد می‌کند. مقاومت گلرنگ به شوری از گندم بیش‌تر و از جو کم‌تر است و این گیاه شوری به‌دست آمده از یون سدیم را به‌خوبی تحمل می‌کند، اما در برابر نمک‌های دو یا سه ظرفیتی که شامل کلسیم و منیزیم می‌باشد، مقاومت کم‌تری دارد (دمیر و ازترک، ۲۰۰۳). شوری خاک یکی از عمده‌ترین مشکلات کشاورزی در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیاست. در این نواحی کافی نبودن آب، وجود گرما و اقلیم بسیار خشک، غالباً علت اصلی افزایش شوری می‌باشد که تولید گیاهان را در این نواحی محدود می‌کند (میرمحمدی‌میبدی و قره‌یاضی، ۲۰۰۲).

شوری با کلرید سدیم باعث کاهش کربوهیدرات‌هایی می‌شود که برای رشد سلول‌ها و مراحل اصلی فرآیند فتوسنتز و سرعت آن ضروری است. کربوهیدرات‌ها مراحل اصلی فرآیند فتوسنتز و سرعت فتوسنتز را حمایت می‌کنند و معمولاً پایین‌ترین سرعت‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش شوری مخصوصاً شوری با کلرید سدیم مشاهده شده است (پریدا و داس، ۲۰۰۵).

فتوسنتز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به‌واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به‌منظور کاهش هدررفت آب صورت می‌گیرد، اما به واسطه جلوگیری از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کم‌تر از نقطه جبرانی کاهش دهد (اشرف و هریس، ۲۰۰۴). توران و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی روی گیاه ذرت تحت شوری، ارتباط منفی بین مقاومت روزنه‌ای و کلرید سدیم را گزارش دادند. همچنین آن‌ها اظهار داشتند که کل محتوای کلروفیل تحت تیمار شوری، کاهش و مقاومت روزنه‌ای آن افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش‌ها همچنین نشان می‌دهد که تنش شوری موجب تخریب کلروپلاست و تغییر تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها می‌شود. کل محتوای کلروفیل برگ‌های ذرت به‌وسیله افزایش سطوح تیمارهای شوری کاهش می‌یابد. یکی از اثرات شوری در گیاه کاهش فعالیت فتوسنتزی در آن است که موجب کاهش مقدار کلروفیل و کاهش جذب CO_2 و ظرفیت فتوسنتزی می‌گردد (فرانسیس و همکاران، ۲۰۰۲). کاهش شدت فتوسنتز ناشی از تنش شوری به‌دلیل عوامل متعددی مانند دهیدراسیون غشاء سلول و در نتیجه کاهش نفوذپذیری CO_2، سمیت ناشی از نمک، کاهش میزان CO_2 به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها، تسریع در فرآیند پیری در

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه نمک، تغییر فعالیت آنزیم‌ها به‌دلیل تغییرات ساختاری در سیتوپلاسم و بازخورد منفی به‌دلیل کاهش فعالیت منبع می‌باشد. همچنین تنش شوری باعث جلوگیری انتقال الکترون فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش تولید انواع اکسیژن فعال شده که باعث آسیب اکسیداسیونی به فتوسیستم‌ها می‌گردد (مانس، ۲۰۰۲).

با توجه به گزارش چا–اوم و کردمانی (۲۰۰۹)، شوری غلظت کل کلروفیل ذرت را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد کوانتوم در گیاهچه‌های تحت تنش شوری گیاه ذرت، میزان فتوسنتز خالص را کاهش می‌دهد که در ادامه، منجر به کاهش قابل ملاحظه رشد می‌شود (توران و همکاران، ۲۰۰۹).

بررسی شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌ها در گیاه ذرت نشان می‌دهد که کاهش مقدار کلروفیل a در طی تیمار شوری دلیل عمده کاهش ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II بوده است؛ مقدار کلروفیل a در مراکز واکنش، یکی از عوامل تعیین‌کننده کارایی عملی یا ظرفیت برانگیختگی فتوسیستم II است (اکسپروگ، ۲۰۰۴). میزان فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی و میزان خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به‌خوبی نشان دهد. تنش شوری موجب افزایش فلورسانس متغیر (F_v)، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس اولیه (F_o) و کاهش حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (F_v/F_m) می‌شود (ژاو و همکاران، ۲۰۰۷). گزارش‌های به‌دست آمده درباره تأثیر شوری بر فلورسانس کلروفیل متناقض می‌باشند. برای مثال برخی از پژوهش‌گران (بروگنولی و لاوتری، ۱۹۹۱ در پنبه؛ میشرا و همکاران، ۱۹۹۱ در لوبیا؛ جیمنز و همکاران، ۱۹۹۷ در رُز) گزارش دادند که تغییرات حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) در سطوح مختلف شوری معنی‌دار نمی‌باشد. این پژوهش‌گران نتیجه گرفتند که حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) نمی‌تواند به‌عنوان یک شاخص، در تنش شوری مطرح باشد. در مقابل، بونجی و لورتو (۱۹۸۹) در خانواده چلیپائیان و میسرا و همکاران (۲۰۰۱) در زیتون، بیان کردند که حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) می‌تواند یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تنش شوری باشد. نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (F_v/F_m)، نشان‌دهنده پتانسیل یا بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (PS_{II}) می‌باشد و مقدار آن برای گیاهانی که در شرایط تنش قرار ندارند، در دامنه‌ای بین ۰/۸۵–۰/۶۵ می‌باشد. چنان‌چه گیاهان در شرایط تنش خشکی، شوری، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرند، مقدار آن کم‌تر خواهد شد (ژاو و همکاران، ۲۰۰۷).

Archive of SID

www.SID.ir

تنش شوری با ایجاد تنش ثانویه خشکی، منجر به بسته شدن روزنه‌ها در گیاه تحت تنش می‌گردد (فرانکبود و لیپنر، ۲۰۰۳). بسته شدن روزنه‌ها در شرایط شوری به‌دلیل مقابله با اتلاف بیش‌تر آب و کاهش پتانسیل آب بافت‌های تحت‌تأثیر شوری است و در بسیاری دیگر از گونه‌ها نیز دیده شده است (تاتینی و همکاران، ۱۹۹۹). پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که بین رقم‌های مختلف گلرنگ از نظر تحمل به سطوح مختلف شوری در مراحل مختلف رشد تفاوت‌هایی وجود دارد (دمیر و ازترک، ۲۰۰۳). کومر و همکاران (۲۰۰۳) دریافتند که در ارقام مقاوم‌تر، کلروفیل کم‌تر تجزیه می‌شود. واریته‌های خاردار مقاومت بیش‌تری به شوری دارند و اگر قرار بر کشت گلرنگ در زمین‌های شور است بهتر است از واریته‌های خاردار استفاده شود.

در این پژوهش سعی شده است تا صفات محتوای کلروفیل، پارامترهای فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل برگ ارقام گلرنگ در سطوح مختلف شوری به‌دست آمده از کلرید سدیم و کلرید کلسیم مورد بررسی قرار گیرد تا واکنش ارقام شناسایی گردند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی مؤلفه‌های فتوسنتزی، محتوا و فلورسانس کلروفیل ارقام بهاره گلرنگ تحت تنش شوری، آزمایشی در گل‌خانه تحقیقاتی دانشگاه یاسوج به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار به اجرا درآمد. عامل اول شامل ۴ سطح شوری صفر (شاهد)، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار با نسبت مولی ۲۰ به ۱ به‌دست آمده از اضافه نمودن کلرید سدیم و کلرید کلسیم به محلول هوگلند[1]، (۱۹۵۰) (به‌ترتیب معادل ۱/۲۰، ۲/۹۰، ۶/۵۰ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) و عامل دوم ۶ رقم گلرنگ شامل رقم محلی اصفهان، سینا خاردار، اصفهان ۱۴، گلدشت، پدیده و سینا ۴۱۱ بودند. واحدهای آزمایشی شامل گلدان‌هایی با ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و شامل ماسه نرم و کاملاً شسته شده بود. تعداد ۱۰ عدد بذر ارقام در عمق ۳ سانتی‌متر در گلدان‌ها کشت شدند. از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی آبیاری با آب صورت گرفت و پس از ثبت تاریخ دقیق سبزشدن (زمانی که ۵۰ درصد سبزشدن صورت گرفت)، گلدان‌ها با محلول شامل نصف غلظت عناصر غذایی محلول هوگلند، آبیاری شدند. در مرحله ۴ برگی، با افزودن تدریجی کلرید سدیم و کلرید کلسیم به نسبت مولی ۲۰ به ۱ در محلول هوگلند، اعمال شوری آغاز گردید (رشید و همکاران، ۱۹۹۹)، به‌نحوی‌که همه گلدان‌ها به‌جز سطح

1- Hogland

Archive of SID

www.SID.ir

شاهد با اضافه کردن تدریجی شوری به‌میزان ۲۵ میلی‌مولار در هر سطح (برای سازگار شدن گیاهان) آبیاری شدند. بعد از یک هفته کل تیمار شوری مربوط به هر سطح اعمال گردید. اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رویشی با نسبت‌های ذکر شده و هم‌زمان با نیاز آبی گیاه ادامه داشت و در زمان مشاهده شوره در سطح گلدان‌ها، به‌منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک، علاوه‌بر زه‌کشی گلدانی، آب‌شویی با آب معمولی به‌طور یکنواخت برای تمامی تیمارها صورت گرفت.

میزان کلروفیل موجود در برگ قبل از مرحله زایشی و از جوان‌ترین برگ بالغ به روش پیشنهادی آرنون (۱۹۴۹) و کارتنوئید به روش لیچتندر (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه فلورمتر[1] مدل (OS1-FL)[2] با توانایی اندازه‌گیری فلورسانس در دو حالت روشنایی و تاریکی، استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها تنها یک‌بار در مرحله رویشی (یک ماه بعد از اعمال سطوح شوری)، در ساعت اولیه صبح انجام شد. در هر گلدان از هر بوته دو برگ کاملاً باز شده جوان انتخاب گردید و مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل F_m (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار شده با تاریکی)، F_o (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (حداکثر عملکرد کوآنتومی در شرایط سازگار شده با تاریکی) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر وضعیت فتوسنتز جاری در مرحله رویشی گلرنگ طی دوره تنش‌های مختلف شوری، شاخص‌های مربوط به تبادلات گازی شامل سرعت فتوسنتز، میزان تعرق، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی ظاهری یا نسبت فتوسنتز به CO_2 زیرروزنه (فیشر و همکاران، ۱۹۹۸) و کارایی مصرف آب لحظه‌ای یا نسبت فتوسنتز به تعرق (ساین و سینگ، ۲۰۰۱) با استفاده از دستگاه IRGA[3] اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در مرحله رویشی (یک ماه بعد از اعمال سطوح شوری)، در ساعت ۱۰ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر انجام شد. در هر گلدان از هر بوته دو برگ کاملاً باز شده جوان انتخاب گردید و پارامترها اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری تعداد روزنه لاک شفاف (برق ناخن) به اندازه تقریبی ۱ سانتی‌متر در وسط سطح رویی جوان‌ترین برگ قرار داده شد و بعد از خشک شدن لاک، لایه لاک چسبیده به برگ به‌صورت یک لایه پیوسته جدا گردید. پس از این جداسازی، تعداد روزنه برگ انعکاس‌یافته روی لاک در محدوده دید عدسی ۲۰، شمارش گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل برش‌دهی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون Lsmeans در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

1- Florimeter
2- Model (OS1-FL), USA
3- Model (LCA4), USA

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل برگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که برهم‌کنش شوری و رقم بر مقدار کلروفیل a، b و مجموع کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. نتایج برش‌دهی (جدول ۲) نشان داد که در همه سطوح مختلف شوری، اثر ارقام بر کلروفیل a، b و مجموع کلروفیل a و b معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم (در جدول ۳) نشان داده است.

جدول ۱- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و فلورسانس کلروفیل در ارقام گلرنگ تحت تنش شوری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کاروتنوئید	F_o	F_m	F_v/F_m
رقم	۵	۰/۱۵۲**	۰/۴۵**	۱/۸۲**	۰/۰۰۰۱۲**	۳۱۸/۲۵*	۹۹۳/۷۸**	۰/۰۰۰۴۰۳^{ns}
شوری	۳	۱/۵۹**	۵/۴۲**	۶/۱۷**	۰/۰۰۳۳**	۳۰۵۸/۳۸**	۲۳۸۴۳۱/۱۹**	۰/۰۳۷**
شوری × رقم	۱۵	۰/۱۴۲**	۰/۹۱**	۱/۰۵۳**	۰/۰۰۱۲**	۳۷۸/۳۵**	۴۵۸/۶۹*	۰/۰۰۱۱۶^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۰۲۳	۱۱۰/۲۵	۱۹۲/۰۶۹	۰/۰۰۰۹۴۹
درصد ضریب تغییرات		۳/۱۸	۲/۹۴	۲/۵۴	۹/۲۲	۱۳/۰۱	۳/۳۵	۳/۹۲

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

در هر ۳ سطح شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار، رقم پدیده بیش‌ترین میزان کلروفیل a را به خود اختصاص داد. ولی در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار، رقم پدیده دارای کم‌ترین میزان کلروفیل a (۰/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) و رقم سینا ۴۱۱ دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۰/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ) بود. در سطح شوری صفر و ۷۵ میلی‌مولار، رقم گلدشت دارای کم‌ترین میزان کلروفیل a بود (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری میزان کلروفیل a کاهش یافت که این میزان کاهش برای ارقام مختلف و در سطوح شوری مختلف متفاوت بود و این نشان‌دهنده تأثیر متفاوت شوری در ارقام است. بین صفات کلروفیل a با سرعت فتوسنتز، میزان CO_2 زیرروزنه‌ای و کارایی مصرف آب لحظه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌دار و با میانگین تعداد روزنه و F_m همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷).

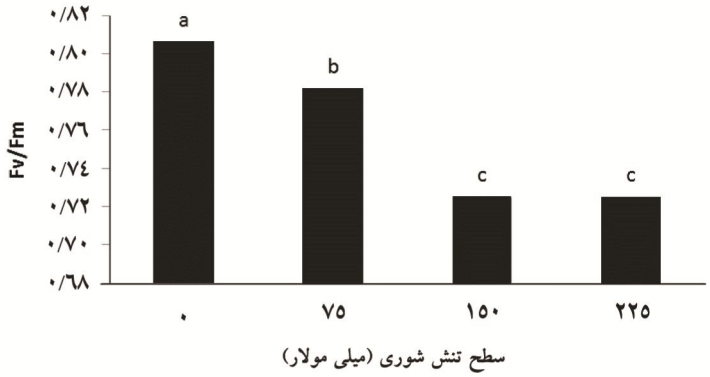
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح شوری بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید ارقام گلرنگ.

شوری	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کاروتنوئید	F_o	F_m	F_v/F_m
صفر	۵	۰/۲۰۳**	۱/۲۷۰**	۱/۴۳**	۰/۰۰۱۶۰**	۳۴۰/۴۰*	۱۹۹/۳۰^{ns}	۰/۰۰۱۱۸^{ns}
۷۵	۵	۰/۱۷۱**	۱/۶۲۰**	۲/۹۹**	۰/۰۰۰۷۶**	۴۸۷/۸۲**	۴۲۸/۴۰^{ns}	۰/۰۰۱۱۰^{ns}
۱۵۰	۵	۰/۰۸۱**	۰/۱۰۹**	۰/۴۳**	۰/۰۰۱۱۰**	۴۰۰/۹۸**	۱۳۴/۲۲^{ns}	۰/۰۰۰۲۱^{ns}
۲۲۵	۵	۰/۱۳۰**	۰/۲۰۹**	۰/۱۲**	۰/۰۰۰۲۵**	۲۲۴/۰۸^{ns}	۱۶۰۷/۹۵**	۰/۰۰۱۳۰^{ns}

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سطوح شوری برای حداکثر کارایی کوانتوم فتوسیستم ۲ (F_v/F_m) برگ گلرنگ.

مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم برای کلروفیل b (جدول ۳) نشان داد که در کم‌ترین سطح شوری، بالاترین میزان کلروفیل b در رقم سینا ۴۱۱ (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین میزان آن در رقم گلدشت (۰/۷۴ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. رقم سینا خاردار در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل b (معادل ۲/۸۶ میلی‌گرم بر گرم) بود. رقم محلی اصفهان و گلدشت در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کم‌ترین میزان کلروفیل b را دارا بودند (جدول ۳). در بیش‌ترین سطح تنش شوری (۲۲۵ میلی‌مولار)، رقم محلی اصفهان بیش‌ترین میزان کلروفیل b معادل ۱/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ را دارا بود و کم‌ترین میزان کلروفیل b در این سطح مربوط به رقم گلدشت با میزان کلروفیل ۰/۷۵ میلی‌گرم بر گرم بود.

جدول (۳) نشان داد که در سطح شوری صفر بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در رقم سینا ۴۱۱ (۳/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و کم‌ترین میزان آن در رقم گلدشت مشاهده شد. در سطح

Archive of SID

www.SID.ir

شوری ۷۵ میلی‌مولار رقم محلی اصفهان کم‌ترین کلروفیل کل (۱/۱۹ میلی‌گرم بر گرم) و بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در رقم سینا خاردار (۳/۵۹ میلی‌گرم بر گرم) بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و شوری برای محتوای کلروفیل و مؤلفه‌های فلورسانس اندازه‌گیری شده در گلرنگ.

سطوح شوری (میلی‌مولار)	رقم	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کاروتنوئیدها	F_o	F_m
		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)					
صفر	پدیده	۱/۴۱^{a}	۱/۷۳^{b}	۳/۱۴^{a}	۰/۰۵۶^{b}	۴۹/۶۶^{b}	۲۷۱/۶۶^{a}
	محلی اصفهان	۱/۲۱^{c}	۱/۰۴^{d}	۲/۲۵^{c}	۰/۰۴۹^{b}	۵۳/۰۰^{b}	۲۷۶/۶۶^{a}
	اصفهان ۱۴	۱/۰۷^{d}	۱/۱۴^{c}	۲/۲۱^{c}	۰/۰۸۱^{a}	۶۱/۶۶^{ab}	۲۸۷/۰۰^{a}
	گلدشت	۰/۷۳^{f}	۰/۷۴^{e}	۱/۴۶^{d}	۰/۰۴۹^{b}	۷۰/۶۶^{a}	۲۶۵/۰۰^{a}
	سینا خاردار	۱/۳۶^{b}	۱/۷۳^{b}	۳/۰۹^{b}	۰/۰۲۴^{c}	۶۵/۰۰^{ab}	۲۸۴/۶۶^{a}
	سینا ۴۱۱	۰/۹۳^{e}	۲/۵۵^{a}	۳/۴۸^{a}	۰/۰۱۷^{c}	۷۸/۰۰^{a}	۲۷۶/۰۰^{a}
۷۵	پدیده	۱/۲۴^{a}	۲/۱۸^{c}	۱/۴۲^{c}	۰/۰۴۲^{c}	۸۰/۳۳^{a}	۳۶۸/۰۰^{a}
	محلی اصفهان	۰/۶۵^{c}	۲/۰۴^{d}	۲/۶۹^{b}	۰/۰۱۴^{e}	۸۰/۰۰^{a}	۳۶۷/۳۳^{a}
	اصفهان ۱۴	۰/۶۷^{c}	۲/۶۸^{b}	۳/۳۵^{a}	۰/۰۳۰^{d}	۸۱/۶۶^{a}	۳۸۲/۳۳^{a}
	گلدشت	۰/۶۰^{d}	۲/۲۴^{c}	۲/۸۴^{b}	۰/۰۴۸^{bc}	۹۵/۰۰^{a}	۳۵۷/۰۰^{a}
	سینا خاردار	۰/۶۵^{c}	۲/۸۴^{a}	۳/۴۹^{a}	۰/۰۵۳^{ab}	۵۵/۶۶^{b}	۳۸۴/۳۳^{a}
	سینا ۴۱۱	۰/۷۱^{b}	۰/۷۶^{e}	۱/۴۷^{c}	۰/۰۵۷^{a}	۸۰/۶۶^{a}	۳۸۷/۰۰^{a}
۱۵۰	پدیده	۰/۷۶^{a}	۱/۰۸^{a}	۱/۸۴^{a}	۰/۰۵۴^{d}	۹۱/۳۳^{ab}	۴۵۳/۰۰^{a}
	محلی اصفهان	۰/۷۱^{b}	۰/۶۴^{c}	۱/۳۵^{b}	۰/۰۶۳^{c}	۱۰۲/۳۳^{a}	۴۴۷/۳۳^{a}
	اصفهان ۱۴	۰/۵۰^{d}	۰/۸۵^{b}	۱/۳۵^{b}	۰/۰۶۱^{cd}	۱۰۲/۳۳^{a}	۴۵۶/۰۰^{a}
	گلدشت	۰/۵۵^{c}	۰/۶۵^{c}	۱/۲۰^{b}	۰/۰۶۲^{c}	۷۶/۳۳^{b}	۴۵۸/۰۰^{a}
	سینا خاردار	۰/۳۵^{f}	۰/۸۶^{b}	۱/۲۱^{b}	۰/۱۰۰^{a}	۸۲/۶۶^{b}	۴۶۴/۶۶^{a}
	سینا ۴۱۱	۰/۳۹^{e}	۱/۰۶^{a}	۱/۴۵^{b}	۰/۰۸۰^{b}	۷۸/۶۶^{b}	۴۶۴/۳۳^{a}
۲۲۵	پدیده	۰/۱۸^{e}	۱/۲۲^{b}	۱/۴۰^{c}	۰/۰۶۳^{a}	۷۸/۳۳^{c}	۵۱۸/۳۳^{b}
	محلی اصفهان	۰/۵۲^{b}	۱/۵۴^{a}	۲/۰۶^{a}	۰/۰۶۰^{a}	۸۶/۰۰^{bc}	۵۶۲/۶۶^{a}
	اصفهان ۱۴	۰/۷۴^{a}	۱/۰۲^{c}	۱/۷۶^{b}	۰/۰۴۳^{c}	۱۰۳/۳۳^{a}	۵۶۰/۳۳^{a}
	گلدشت	۰/۴۶^{c}	۰/۷۵^{d}	۱/۲۱^{c}	۰/۰۵۲^{b}	۹۵/۶۶^{ab}	۵۳۶/۶۶^{b}
	سینا خاردار	۰/۲۳^{d}	۱/۱۷^{b}	۱/۴۰^{b}	۰/۰۴۳^{c}	۹۴/۶۶^{abc}	۵۲۴/۰۰^{b}
	سینا ۴۱۱	۰/۵۴^{b}	۱/۰۲^{c}	۱/۵۶^{b}	۰/۰۴۳^{c}	۹۳/۳۳^{abc}	۵۷۵/۳۳^{a}

در هر ستون و هر سطح شوری حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار سینا خاردار بیش‌ترین (۲/۲۶) و محلی اصفهان کم‌ترین میزان کلروفیل کل (۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) را به خود اختصاص دادند. در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار کم‌ترین میزان آن در رقم اصفهان ۱۴ (۱/۱۷ میلی‌گرم بر گرم) و بیش‌ترین در رقم سینا خاردار (۱/۷۴) مشاهده گردید به‌طوری‌که نسبت به بیش‌ترین میزان کلروفیل کل حدود ۲/۴۲ میلی‌گرم بر گرم کاهش نشان داد. بین ارقام اصفهان ۱۴، سینا خاردار و سینا ۴۱۱؛ همچنین گلدشت و پدیده، تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. علت افزایش محتوای کلروفیل از سطح شوری صفر به ۷۵ میلی‌مولار شاید به این دلیل باشد که در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار، سطح برگ بیش‌تر تحت‌تأثیر تنش شوری قرار گرفته و کاهش یافته ولی در سطوح بالای شوری، با افزایش شوری و کاهش بیش‌تر سطح برگ، محتوای کلروفیل بیش‌تر تحت‌تأثیر قرار گرفت و به‌شدت در ارقام مختلف کاهش یافت. از دیگر دلایل، گمان می‌رود که کاهش غلظت کلروفیل برخی ارقام تحت‌تأثیر تنش شوری، به‌علت مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفا توکوفرول باشد که گیاه در این شرایط (تنش شوری) می‌تواند با توقف بیوسنتز کلروفیل، مسیر بیوسنتزی آنتی‌اکسیدان آلفا توکوفرول را فعال نماید و همچنین به‌دلیل تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی مانند پرولین باشد که برای تنظیم اسمزی به‌کار می‌روند (کایا و همکاران، ۲۰۰۱). پس می‌توان بیان نمود که گیاهانی که تحت شرایط شوری قرار می‌گیرند، محتوای کلروفیل آن‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد و در بیش‌تر آن‌ها محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد. در این میان، آن دسته از گیاهانی که به شوری متحمل هستند، می‌توانند این کاهش محتوای کلروفیل را تعدیل کنند. پیری برگ نیز در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل، تحت‌تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد. کایا و همکاران (۲۰۰۱) و کایا و همکاران (۲۰۰۲) با مقایسه ارقام توت‌فرنگی و اسفناج دریافتند که شوری غلظت کلروفیل را کاهش می‌دهد.

محتوای کاروتنوئید برگ: با بررسی جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که برهم‌کنش تنش شوری و رقم برای محتوای کاروتنوئید در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). جدول برش‌دهی (جدول ۲) نیز نشان داد که بین ارقام در تمامی سطوح شوری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در سطح شوری شاهد (صفر) بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید در رقم اصفهان ۱۴ (۰/۰۸۱ میلی‌گرم بر گرم) و کم‌ترین آن در رقم سینا ۴۱۱ (۰/۰۱۷) مشاهده شد. بین ارقام سینا خاردار و سینا ۴۱۱ تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. در تیمار ۷۵ میلی‌مولار بیش‌ترین میزان کاروتنوئید در رقم سینا ۴۱۱ (۰/۰۵۷) بود که نسبت به رقم شاهد ۰/۰۲۴ میلی‌گرم بر گرم اختلاف داشت و کم‌ترین میزان در رقم محلی

Archive of SID

www.SID.ir

اصفهان معادل ۰/۰۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (جدول ۳). بین ارقام پدیده، محلی اصفهان و گلدشت تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. کم‌ترین میزان کاروتنوئید در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار متعلق به رقم پدیده با میزان ۰/۰۵۴ میلی‌گرم بر گرم و بیش‌ترین آن در رقم سینا خاردار (۰/۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ) بود. کم‌ترین میزان کاروتنوئید در بیش‌ترین سطح شوری، در ارقام سینا ۴۱۱، سینا خاردار و اصفهان ۱۴ مشاهده گردید که این ارقام از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری میزان کاروتنوئید در برخی از ارقام روند کاهشی داشته است. کاهش میزان محتوای کاروتنوئید با افزایش تنش شوری به‌دلیل تخریب بتاکاروتن در جو و سورگوم گزارش شده است (شارما و هال، ۱۹۹۱). کاروتنوئیدها نقش حفاظتی در مقابل تنش اکسیداتیو القاء شده دارند و در سمیت‌زدایی از کلروفیل نیز مؤثرند و باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند (سانیتاتا و گابریلا، ۱۹۹۹).

پارامترهای فلورسانس کلروفیل: اثر سطوح مختلف شوری و رقم و همچنین برهم‌کنش شوری و رقم بر مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل به‌جز F_v/F_m معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین به روش برش‌دهی برای F_o نشان داد که در تمامی سطوح به‌جز سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار تفاوت بین ارقام معنی‌دار بود. برای F_m فقط در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار تفاوت بین ارقام معنی‌دار بود و بقیه سطوح شوری تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نداشتند (جدول ۲). در سطح شوری صفر کم‌ترین F_o مربوط به رقم پدیده (۴۹/۶۶) و بیش‌ترین مربوط به رقم سینا ۴۱۱ (۷۸) بود و بین ارقام سینا ۴۱۱ و گلدشت با ارقام پدیده و محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در سطح شوری ۷۵ میلی‌مولار کم‌ترین F_o به رقم سینا خاردار (۵۵/۶۶) و بین سایر ارقام نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کم‌ترین مقدار به رقم F_o گلدشت با میانگین ۷۶/۳۳ و بیش‌ترین آن مربوط به رقم محلی اصفهان و اصفهان ۱۴ با میانگین ۱۰۲/۳۳ بود و رقم‌های پدیده، محلی اصفهان و اصفهان ۱۴ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار کم‌ترین F_o متعلق به رقم پدیده با ۷۸/۳۳ و بیش‌ترین متعلق به رقم اصفهان ۱۴ با ۱۰۳/۳۳ بود و بین ارقام اصفهان ۱۴، گلدشت، سینا خاردار و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش F_o در اثر تنش شوری ناشی از افزایش بازدارندگی نوری فتوسیستم ۲ می‌باشد (ماکسول و جانسون، ۲۰۰۰). بنابراین به‌نظر می‌رسد ارقامی که بتوانند در شرایط تنش از افزایش F_o جلوگیری کنند تحمل بیش‌تری به تنش نشان خواهند داد.

Archive of SID

www.SID.ir

در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار، کم‌ترین F_m در رقم پدیده با میانگین ۵۱۸/۳ و بیش‌ترین در رقم سینا ۴۱۱ با میانگین ۵۷۵/۳ مشاهده گردید و بین ارقام محلی اصفهان، اصفهان ۱۴ و سینا ۴۱۱ از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

اثر اصلی شوری بر F_v/F_m معنی‌دار گردید (جدول ۱) و این نشان‌دهنده این است که با افزایش شوری میزان آن کاهش داشته است (شکل ۱). براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های انجام شده، شوری باعث کاهش عملکرد فتوسیستم II و ماکزیمم عملکرد فتوسیستم II در برگ‌های ذرت گردیده است. کاهش عملکرد فتوسیستم II و ماکزیمم عملکرد فتوسیستم II در نتیجه یک اثر ساختمانی بر فتوسیستم II و یکی از فاکتورهای اصلی مسئول برای کاهش تدریجی در سرعت فتوسنتز از طریق تأثیر برکاهش در سرعت انتقال الکترون می‌باشد (پاک‌نژاد و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج مشابه در گیاه سورگوم (لوتوس، ۱۹۹۶) و کلزا گزارش شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که با افزایش شوری میزان حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم (PS_{II}) در شرایط سازگار با تاریکی (F_v/F_m)، که نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون در فتوسیستم II می‌باشد (دمیگ- آدامز، ۱۹۸۹)، در مرحله رویشی کاهش یافت اما این کاهش در سطح تنش شوری ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار معنی‌دار نمی‌باشد (شکل ۱). این موارد با نتایج ژائو و همکاران (۲۰۰۷) در گندم مبنی بر کاهش F_v/F_m، در اثر افزایش شوری تطابق دارد. پس با توجه به مطالب ذکر شده چنین می‌توان استنتاج نمود که کاهش F_v/F_m در این آزمایش، به‌طور عمده به‌خاطر وجود آشفتگی در کلروپلاست بوده و کاهش میزان محتوای کلروفیل نیز این موضوع را تأیید می‌کند. نتوندو و همکاران (۲۰۰۴) گزارش دادند که شوری باعث کاهش ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) می‌شود. مقدار F_v/F_m نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون PS_{II} می‌باشد. روند کاهشی F_v/F_m مربوط به افزایش F_m می‌باشد که با عملکرد کوانتوم فتوسنتز خالص همبستگی بالایی دارد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل نیز به‌واسطه این‌که دارای یک تطبیق خوبی با ارقام با عملکرد بالا در شرایط تنش بودند می‌توانند برای گزینش ارقام قبل از رسیدگی و برای صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مراکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط دارد و وجود هر گونه آشفتگی، مانند جلوگیری از تولید تعدادی از پروتئین‌های تیلاکوئید رمز شده توسط کلروپلاست، در مقایسه با پروتئین‌های رمز شده توسط هسته سلول و یا دگرگونی ساختار و تغییر در رنگ‌دانه‌های فتوسیستم II، منجر به کاهش حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم در شرایط سازگار با

Archive of SID

www.SID.ir

تاریکی (F_v/F_m) می‌گردد (فرانکبود و لیپنر، ۲۰۰۳).

پارامترهای فتوسنتزی: در خصوص عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای محدودکننده فتوسنتز در سطوح مختلف تنش شوری، نتایج تجزیه واریانس صفات بیانگر معنی‌دار بودن برهم‌کنش رقم و سطوح تنش شوری برای تمامی صفات در سطح ۱ درصد بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهم‌کنش با روش برش‌دهی‌نیز نشان داد که در تمامی سطوح شوری برای صفات تعرق، هدایت روزنه‌ای (g_s)، سرعت فتوسنتز، میزان CO_2 زیرروزنه (C_i) و هدایت مزوفیلی (A/C_i) تفاوت بین ارقام در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵).

جدول ۴- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس پارامترهای فتوسنتزی ارقام گلرنگ تحت‌تأثیر سطوح مختلف تنش شوری.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعرق	هدایت روزنه‌ای	سرعت فتوسنتز	میزان CO_2 زیر روزنه	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب لحظه‌ای	تعداد روزنه
رقم	۵	۰/۳۰۷**	۰/۰۰۷۰**	۱۷/۰۲۰**	۲۹۰۶۸/۲۴**	۰/۰۰۰۰۵۱**	۱۴۷/۲۹**	۹/۵۸**
شوری	۳	۳/۶۶۰**	۰/۰۲۳۰**	۱۱۸/۳۰۰**	۱۸۷۰۴۹/۶۱**	۰/۰۰۰۳۴۰**	۷۲۵/۱۰**	۶۱۲۵/۴۰**
شوری × رقم	۱۵	۰/۵۹۰**	۰/۰۰۶۹**	۱۶/۱۸۰**	۳۴۷۱۸/۲۷**	۰/۰۰۰۰۳۳**	۵۵/۷۶**	۱۰/۹۰**
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۵۸	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۹	۳۰۲/۵۱	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۸۶۸	۱/۳۴
درصد ضریب تغییرات		۲/۰۳	۱۴/۷۳	۱/۳۷	۳/۲۵	۱۲/۹۵	۱۰/۲۰	۲/۸۱

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۵- میانگین مربعات به‌دست آمده از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف شوری بر پارامترهای فتوسنتزی ارقام گلرنگ مورد مطالعه.

شوری	درجه آزادی	تعرق	هدایت روزنه‌ای	سرعت فتوسنتز	میزان CO_2 زیر روزنه	هدایت مزوفیلی	کارایی مصرف آب لحظه‌ای	تعداد روزنه
۰	۵	۰/۴۲**	۰/۰۱۵**	۵۶/۱۹**	۱۲۱۰۵۱/۰۰**	۰/۰۰۰۰۴۸**	۶۴/۷۴**	۵/۲۸**
۷۵	۵	۰/۱۹**	۰/۰۰۴۵**	۳/۴۸**	۱۵۷۲/۶۷**	۰/۰۰۰۰۴۸**	۲۳۲/۹۲**	۸/۱۳**
۱۵۰	۵	۰/۵۸**	۰/۰۰۸^{ns}	۴/۷۶**	۷۰۳۴/۰۲**	۰/۰۰۰۰۰۵۵**	۱۱/۱۹**	۹/۲**
۲۲۵	۵	۰/۸۸**	۰/۰۰۰۳*	۱/۱۳**	۳۵۶۵/۲۴**	۰/۰۰۰۰۴۸**	۵/۷۲**	۱۹/۶۸**

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش شوری و رقم (جدول ۶) نشان داد که در سطح شوری صفر بیش‌ترین تعرق در رقم پدیده (۱/۹ مول بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین میزان تعرق در رقم سینا خاردار

Archive of SID

www.SID.ir

(۰/۸۶ مول بر مترمربع بر ثانیه) وجود داشت. بین ارقام در این سطح تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار کم‌ترین تعرق را رقم محلی اصفهان (۰/۵۹ مول بر مترمربع بر ثانیه) و بیش‌ترین تعرق را رقم اصفهان ۱۴ و گلدشت به خود اختصاص دادند. در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار رقم پدیده کم‌ترین میزان تعرق (۱/۱۵ مول بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد و بیش‌ترین میزان تعرق در رقم محلی اصفهان (۲/۲۷ مول بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد. بین تمامی ارقام تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت. در سطح تنش شوری ۲۲۵ میلی‌مولار رقم پدیده بیش‌ترین میزان تعرق (۱/۶۱ مول بر مترمربع بر ثانیه) را دارا بود. کم‌ترین میزان تعرق در رقم سینا خاردار (۰/۳۲ مول بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده شد. بین ارقام اصفهان ۱۴ و سینا ۴۱۱ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم برای هدایت روزنه‌ای (جدول ۶) نشان داد که در سطح تنش شوری صفر، رقم سینا خاردار (۰/۲۱) بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای را دارا بود و کم‌ترین میزان آن متعلق به رقم گلدشت (۰/۰۲ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) بود و بین ارقام سینا ۴۱۱ و اصفهان ۱۴ اختلاف آماری معنی‌داری در سطح بدون تنش مشاهده نشد. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار سینا خاردار دارای بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای (۰/۱۵ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) و ارقام سینا ۴۱۱، اصفهان ۱۴ و پدیده دارای کم‌ترین هدایت روزنه‌ای بودند و رقم سینا خاردار دارای اختلاف معنی‌داری در این سطح با بقیه ارقام بود. در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای را رقم محلی اصفهان (۰/۱۵ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) به خود اختصاص داد و کم‌ترین آن در رقم سینا خاردار (۰/۰۲ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده گردید و بین ارقام پدیده، اصفهان ۱۴ و سینا ۴۱۱ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بیش‌ترین سطح شوری کم‌ترین هدایت روزنه‌ای متعلق به رقم اصفهان ۱۴ (۰/۰۲۶ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) و بیش‌ترین آن مربوط به رقم سینا خاردار (۰/۰۶) بود (جدول ۶). می‌توان چنین بیان کرد که در شرایط بدون تنش فضای روزنه‌ای کاملاً باز بوده و هیچ نوع رابطه معنی‌داری بین سرعت فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای وجود ندارد، ولی با افزایش تنش و به‌دنبال آن با افزایش مقاومت روزنه‌ای ارتباط این دو بیش‌تر و معنی‌دارتر می‌شود. افزایش مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش توسط پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است (فلکساس و همکاران، ۲۰۰۸؛ کرنیک و مساکی، ۱۹۹۶).

کنترل روزنه‌ای از دست دادن آب، به‌عنوان یک رویداد اولیه در واکنش گیاهان به کمبود محتوای آب ناشی از تنش شناخته می‌شود که منجر به محدودیت جذب کربن به‌وسیله برگ‌ها می‌شود. بالا بودن میزان درصد محتوای آب نسبی در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌تواند به‌دلیل وجود برخی عوامل

Archive of SID

www.SID.ir

کم‌کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیش‌تر آب از طریق گسترش ریشه باشد. کاهش در فتوسنتز به‌خاطر تنش شوری می‌تواند به‌خاطر هدایت روزنه‌ای پایین‌تر، کاهش در جذب کربن و متابولیسم، کاهش توانایی فتوشیمیایی یا ترکیبی از همه این فاکتورها باشد (کرنیک و مساکی، ۱۹۹۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و شوری بر پارامترهای فتوسنتزی اندازه‌گیری شده در گلرنگ.

شوری (میلی‌مولار)	رقم	تعرق (مول بر مترمربع بر ثانیه)	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه)	سرعت فتوسنتز (میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه)	CO_2 زیر روزنه‌ای (میکرولیتر بر لیتر)	هدایت مزوفیلی (مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه)	کارایی مصرف آب لحظه‌ای (میکرومول CO_2 بر میلی‌مول H_2O)	تعداد روزنه
صفر	پدیده	۱/۹۰^{a}	۰/۰۸^{c}	۱۷/۶۲^{a}	۸۵۶/۷۶^{a}	۰/۰۲۶^{a}	۲۶/۱۳^{a}	۲۱/۳۳^{ab}
	محلی اصفهان	۱/۱۱^{c}	۰/۲۰^{a}	۱۴/۱۵^{b}	۸۵۱/۰۳^{a}	۰/۰۲^{a}	۱۵/۳۶^{d}	۱۸/۳۳^{d}
	اصفهان ۱۴	۱/۱۷^{b}	۰/۱۳^{b}	۷/۴۳^{e}	۸۷۳/۶۰^{a}	۰/۰۱^{b}	۱۳/۴۵^{e}	۲۰/۳۳^{bc}
	گلدشت	۰/۹۳^{e}	۰/۰۲^{d}	۶/۷۲^{f}	۴۸۵/۸۶^{c}	۰/۰۲^{a}	۱۸/۶۱^{b}	۲۲/۰۰^{a}
	سینا خاردار	۰/۸۶^{f}	۰/۲۱^{a}	۹/۵۶^{c}	۵۲۳/۱۰^{b}	۰/۰۲^{a}	۱۶/۹۹^{c}	۲۰/۰۰^{cd}
	سینا ۴۱۱	۱/۰۶^{d}	۰/۱۲^{b}	۸/۲۴^{d}	۴۷۶/۳۰^{c}	۰/۰۲^{a}	۱۴/۲۰^{de}	۱۹/۳۳^{cd}
۷۵	پدیده	۰/۸۱^{d}	۰/۰۵^{c}	۶/۵۲^{c}	۵۲۵/۹۳^{abc}	۰/۰۲^{b}	۲۷/۷۴^{a}	۳۲/۰۰^{b}
	محلی اصفهان	۰/۵۹^{e}	۰/۰۶^{bc}	۷/۶۷^{b}	۵۴۴/۸۶^{ab}	۰/۰۳^{a}	۱۲/۴۲^{b}	۳۵/۰۰^{a}
	اصفهان ۱۴	۱/۲۳^{a}	۰/۰۵^{c}	۵/۵۷^{d}	۴۹۰/۸۰^{d}	۰/۰۲^{b}	۴/۶۹^{e}	۳۴/۳۳^{a}
	گلدشت	۱/۲۰^{a}	۰/۰۷^{b}	۷/۷۳^{b}	۵۱۰/۳۰^{cd}	۰/۰۲^{b}	۵/۳۱^{de}	۳۱/۶۶^{b}
	سینا خاردار	۱/۱۵^{b}	۰/۱۵^{a}	۸/۶۱^{a}	۵۵۳/۲۳^{a}	۰/۰۲^{b}	۷/۰۳^{c}	۳۴/۰۰^{a}
	سینا ۴۱۱	۰/۹۶^{c}	۰/۰۵^{c}	۷/۶۷^{b}	۵۱۷/۸۶^{bcd}	۰/۰۲^{b}	۶/۶۸^{cd}	۳۱/۰۰^{b}
۱۵۰	پدیده	۱/۱۵^{f}	۰/۰۶^{c}	۸/۱۹^{a}	۴۱۸/۸۶^{c}	۰/۰۲^{a}	۷/۲۲^{a}	۴۷/۰۰^{d}
	محلی اصفهان	۲/۲۷^{a}	۰/۱۵^{a}	۵/۲۹^{d}	۳۸۳/۳۰^{d}	۰/۰۲^{a}	۳/۵۵^{b}	۵۱/۳۳^{a}
	اصفهان ۱۴	۲/۱۶^{b}	۰/۰۵^{c}	۷/۶۶^{b}	۴۳۸/۸۳^{bc}	۰/۰۲^{a}	۱/۴۹^{c}	۴۹/۳۳^{bc}
	گلدشت	۲/۰۴^{c}	۰/۱۲^{b}	۶/۳۱^{c}	۵۲۵/۵۶^{a}	۰/۰۲^{a}	۲/۹۲^{bc}	۵۱/۰۰^{ab}
	سینا خاردار	۱/۴۲^{e}	۰/۰۲^{d}	۶/۲۰^{c}	۴۱۴/۰۰^{c}	۰/۰۲^{a}	۳/۲۷^{b}	۵۱/۰۰^{ab}
	سینا ۴۱۱	۱/۸۱^{d}	۰/۰۴^{c}	۵/۰۴^{e}	۴۴۹/۰۰^{b}	۰/۰۲^{a}	۲/۸۴^{bc}	۴۸/۳۳^{cd}
۲۲۵	پدیده	۱/۶۱^{a}	۰/۰۵^{a}	۴/۶۷^{b}	۴۹۵/۱۶^{bc}	۰/۰۲^{a}	۲/۸۷^{d}	۵۹/۰۰^{c}
	محلی اصفهان	۱/۲۶^{b}	۰/۰۴^{b}	۴/۷۲^{b}	۵۳۶/۴۳^{a}	۰/۰۱^{b}	۴/۵۲^{bc}	۶۱/۰۰^{b}
	اصفهان ۱۴	۰/۴۱^{d}	۰/۰۳^{b}	۵/۴۱^{a}	۵۲۲/۱۳^{ab}	۰/۰۱^{b}	۵/۶۶^{ab}	۶۰/۰۰^{bc}
	گلدشت	۰/۵۲^{c}	۰/۰۴^{b}	۳/۹۲^{d}	۵۱۴/۳۰^{abc}	۰/۰۱^{b}	۵/۷۴^{ab}	۶۴/۰۰^{a}
	سینا خاردار	۰/۳۲^{e}	۰/۰۶^{a}	۳/۷۰^{e}	۴۸۶/۰۰^{c}	۰/۰۱^{b}	۶/۶۱^{a}	۶۴/۰۰^{a}
	سینا ۴۱۱	۰/۴۲^{d}	۰/۰۴^{b}	۴/۳۸^{c}	۴۳۹/۱۰^{d}	۰/۰۱^{b}	۳/۸۶^{cd}	۶۵/۳۳^{a}

در هر ستون و هر سطح شوری حداقل یک حرف مشترک نشان‌دهنده نبود تفاوت آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون Lsmeans می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول مقایسه میانگین برهم‌کنش شوری و رقم برای سرعت فتوسنتزی بیانگر این بود که در سطح شوری صفر رقم پدیده بیش‌ترین سرعت فتوسنتز (۱۷/۶۲ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) را دارا بود و کم‌ترین سرعت فتوسنتز در رقم گلدشت (۶/۷۲ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده گردید. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار رقم سینا خاردار دارای بیش‌ترین سرعت فتوسنتز (۸/۶۱ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین آن متعلق به رقم اصفهان ۱۴ (۵/۵۷ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) بود. در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بیش‌ترین سرعت فتوسنتز در رقم پدیده (۸/۱۹ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین آن در رقم سینا ۴۱۱ مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین ارقام گلدشت و سینا خاردار مشاهده نشد. در بیش‌ترین سطح تنش شوری، بیش‌ترین سرعت فتوسنتز مربوط به رقم اصفهان ۱۴ و کم‌ترین آن متعلق به رقم سینا خاردار بود. بین ارقام پدیده و محلی اصفهان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). در گیاه توتون شوری سبب کاهش ۳۹ درصدی در شدت تثبیت خالص CO_2 گردید که همراه با کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تعرق بود (حاجی‌بلند و ابراهیمی، ۲۰۱۲).

مقایسه میانگین میزان CO_2 زیرروزنه (C_i) نشان داد که در سطح شوری صفر بیش‌ترین میزان CO_2 مربوط به ارقام پدیده، محلی اصفهان و اصفهان ۱۴ بود و بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار بیش‌ترین میزان CO_2 زیرروزنه‌ای مربوط به رقم سینا خاردار (۵۵۳/۲۳ میکرولیتر بر لیتر) و کم‌ترین آن متعلق به رقم اصفهان ۱۴ (۴۹۰/۸) بود. بین ارقام اصفهان ۱۴ و سینا خاردار اختلاف معنی‌داری مشاهده شد در حالی‌که بین بقیه ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کم‌ترین میزان CO_2 زیرروزنه‌ای در رقم محلی اصفهان (۳۸۳/۳ میکرولیتر بر لیتر) و بیش‌ترین آن در رقم گلدشت (۵۲۵/۵۶ میکرولیتر بر لیتر) مشاهده شد. در بیش‌ترین سطح تنش شوری (۲۲۵ میلی‌مولار) کم‌ترین میزان CO_2 زیرروزنه‌ای در رقم سینا ۴۱۱ (۴۳۹/۱ میکرولیتر بر لیتر) و بیش‌ترین آن در رقم محلی اصفهان (۵۳۶/۴۳) مشاهده شد (جدول ۶). اولین واکنش گیاه به تنش محدود کردن هدایت روزنه‌ای و کاهش انتشار CO_2 به درون کلروپلاست می‌باشد.

در سطح بدون تنش رقم اصفهان ۱۴ کم‌ترین (۰/۰۱۱ مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) و ارقام محلی اصفهان، گلدشت، سینا خاردار و سینا ۴۱۱ بیش‌ترین هدایت مزوفیلی را دارا بودند و بین این ارقام تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه آماری قرار می‌گرفتند (جدول ۶). در سطح

Archive of SID

www.SID.ir

تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار بیش‌ترین هدایت مزوفیلی در رقم محلی اصفهان مشاهده شد و ارقام سینا خاردار، پدیده، اصفهان ۱۴، گلدشت و سینا ۴۱۱ کم‌ترین (۰/۰۲ مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) هدایت مزوفیلی را دارا بودند و بین این ارقام تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در بیش‌ترین سطح تنش شوری رقم پدیده بیش‌ترین هدایت مزوفیلی (۰/۰۲ مول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه) را به خود اختصاص داد و کم‌ترین هدایت مزوفیلی در تمامی ارقام به‌جز رقم پدیده مشاهده شد. با افزایش سطح تنش شوری هدایت مزوفیلی در برخی ارقام کاهش یافت. این حقیقت را می‌توان بیانگر تنوع قابل ملاحظه بین ارقام مختلف گلرنگ در واکنش به سطوح مختلف تنش شوری دانست. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین هدایت مزوفیلی و غلظت کلروفیل ممکن است بر این موضوع دلالت داشته باشد که کاهش غلظت کلروفیل عامل مهمی در کاهش هدایت مزوفیلی است. همبستگی مثبت بین غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای و غلظت کلروفیل b تحت تنش نشان می‌دهد که در ارقام دارای مقادیر بالاتر کلروفیل b فرآوری CO_2 بیش‌تر است (جدول ۱۰). کاردوویلا و همکاران (۱۹۹۵) بیان کردند که تحت‌تأثیر شوری عوامل غیرروزنه‌ای مثل کارایی RUBP کربوکسیلاز، تولید مجدد روبیسکو، مقاومت مزوفیلی و مقدار کلروفیل کاهش می‌یابند.

کارایی مصرف آب لحظه‌ای در ارقام و سطوح مختلف شوری دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۶). در سطح شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار بیش‌ترین کارایی مربوط به رقم پدیده و در بیش‌ترین سطح شوری رقم پدیده دارای کم‌ترین کارایی (۲/۸۷) بود. کم‌ترین کارایی در شوری صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار مربوط به رقم اصفهان ۱۴ بود و در سطح شوری ۲۲۵ میلی‌مولار رقم سینا خاردار دارای بیش‌ترین (۶/۶۱) کارایی مصرف آب بود. کاهش کارایی مصرف آب با افزایش میزان تنش می‌تواند ناشی از کاهش میزان CO_2 زیرروزنه‌ای باشد که بیش‌تر متأثر از عوامل غیرروزنه‌ای است تا عوامل روزنه‌ای (فلکساس و همکاران، ۲۰۰۸). رقم پدیده تا سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار را به‌خوبی تحمل کرده ولی با افزایش بیش‌تر شوری افت شدیدی در کارایی مصرف آب آن مشاهده شد. از نظر این صفت متحمل‌ترین رقم سینا خاردار بود که توانست در بیش‌ترین سطح شوری بالاترین کارایی مصرف آب را داشته باشد. کارایی مصرف آب همبستگی مثبت و خوبی با سرعت فتوسنتز (r^2=۰/۶۱) و همبستگی منفی و البته ضعیفی با تعرق داشت (جدول ۷).

تعداد روزنه: به‌طورکلی با افزایش شوری تعداد کل روزنه‌ها افزایش یافت (جدول ۶). برهم‌کنش تنش شوری و رقم بر تعداد روزنه‌ها در برگ گلرنگ معنی‌دار گردید (جدول ۴). جدول برش‌دهی

Archive of SID

www.SID.ir

(جدول ۵) بیانگر معنی‌داری اثر رقم بر تعداد روزنه در تمامی سطوح شوری می‌باشد. همان‌طورکه در جدول ۶ آمده است، در سطح بدون تنش رقم گلدشت بیش‌ترین میانگین تعداد روزنه (۲۲) و رقم محلی اصفهان با میانگین ۱۸/۳۳ عدد روزنه کم‌ترین رتبه را به خود اختصاص دادند. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار رقم محلی اصفهان بیش‌ترین (۳۵) و رقم سینا ۴۱۱ کم‌ترین (۳۱) میانگین تعداد روزنه را دارا بودند. ارقام محلی اصفهان، اصفهان ۱۴ و سینا خاردار در یک گروه آماری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. رقم پدیده در سطح تنش شوری ۱۵۰ و ۲۲۵ میلی‌مولار دارای کم‌ترین تعداد میانگین روزنه به‌ترتیب (۴۷) و (۵۹) بود و رقم محلی اصفهان دارای بیش‌ترین تعداد روزنه (۵۱/۳۳) بود. بیش‌ترین تعداد روزنه در رقم سینا ۴۱۱ با میانگین (۶۵/۳۳) عدد روزنه در سطح تنش شوری ۲۲۵ میلی‌مولار مشاهده شد و رقم پدیده کم‌ترین میانگین تعداد روزنه (۵۹) را در این سطح تنش داشت. در این سطح تیماری ارقام سینا خاردار و گلدشت تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اختلاف کم‌ترین و بیش‌ترین میانگین تعداد روزنه در سطح شاهد و بیش‌ترین سطح تنش شوری میانگین ۴۷ عدد روزنه می‌باشد. همانند نتایج این آزمایش، افزایش میانگین تعداد روزنه در اثر شوری در برگ گندم نیز گزارش شده است (به نقل از دهداری، ۱۳۸۳). احتمال می‌رود که از دلایل افزایش روزنه‌ها کاهش سطح برگ و تجمع بیش‌تر یا تراکم روزنه‌ها در یک سطح کم‌تر و ثابت باشد. بین میانگین تعداد روزنه با F_o و سرعت فتوسنتزی همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفات کلروفیل a، مجموع کلروفیل a و b، کارایی مصرف آب لحظه‌ای و F_o همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در سطح بدون تنش رقم پدیده برتری نسبی از نظر کلروفیل a، کلروفیل b، میزان تعرق، سرعت فتوسنتزی و کارایی مصرف آب داشت. در سطح تنش شوری ۷۵ میلی‌مولار رقم سینا خاردار از نظر کلروفیل b، مجموع کلروفیل، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز برتری نسبی نسبت به سایر ارقام نشان داد. در سطح تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار رقم پدیده از نظر صفات کلروفیل a، کلروفیل b، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری داشت و در سطح تنش شوری ۲۲۵ میلی‌مولار رقم اصفهان ۱۴ از نظر کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب نسبت به سایر ارقام برتری داشت.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد ارزیابی در ارقام گلرنگ مورد آزمایش.

صفات مورد ارزیابی	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤
۱- کلروفیل a	۱													
۲- کلروفیل b	۰/۲۸*	۱												
۳- کلروفیل a+b	۰/٤۰**	۰/۷۸**	۱											
٤- کاروتنوئید	-۰/۳۳**	-۰/۵۲**	۰/۲۹*	۱										
٥- F_o	۰/۵۰**	-۰/۲٦*	-۰/۳۷**	-۰/۱ns	۱									
٦- F_m	-۰/۷۳**	۰/۳۷**	-۰/۵٦**	۰/۲۵*	-۰/٦۰**	۱								
۷- F_v/F_m	۰/۲۰ns	۰/۲۰ns	۰/۰۸ns	-۰/٤۱**	-۰/۰۸ns	۰/۰٦ns	۱							
۸- تعرق	-۰/۰۳ns	-۰/۱۷ns	-۰/۰۸ns	۰/٤۹**	-۰/۰۸ns	-۰/۱۰ns	-۰/۵۸**	۱						
۹- هدایت روزنه‌ای	۰/۵٤**	۰/۱۷ns	۰/٤۰**	-۰/۱۹ns	-۰/٤٤**	-۰/۵۱**	۰/۰۳ns	۰/۱۷ns	۱					
۱۰- سرعت فتوسنتز	۰/۷٤**	۰/۲۱ns	۰/۲۸*	-۰/۱۱ns	-۰/٦۰**	-۰/٦۹**	۰/۰۵ns	۰/۲۳*	۰/٤٦**	۱				
۱۱- میزان CO_2 زیرروزنه‌ای	۰/٦۱**	۰/۰۹ns	۰/۱۲ns	۰/۰۳ns	-۰/٦۳**	-۰/۵۲**	۰/۳٤**	۰/۰۰۰۱ns	۰/٤۰**	۰/٦۹**	۱			
۱۲- هدایت مزوفیلی	۰/۰۹ns	۰/۲۳*	۰/۱۳ns	-۰/۱٦ns	-۰/۱٦ns	-۰/۳۹**	-۰/٤۵**	۰/۳۰**	۰/۱۰ns	۰/۲۵*	-۰/۱۹ns	۱		
۱۳- کارایی مصرف آب لحظه‌ای	۰/۸۲**	۰/۳۰**	۰/۳۱**	-۰/۳٤**	۰/۵۰**	-۰/۷۰**	۰/۲۵*	-۰/۱۹ns	۰/۲٤*	۰/٦۱**	۰/۵۳**	۰/۱۱ns	۱	
۱٤- تعداد روزنه	-۰/۷۳**	-۰/٤۲**	-۰/٦۰**	۰/٦۳*	۰/٦۲**	-۰/۷۹**	۰/۰۳ns	-۰/۰٦ns	-۰/۵۱**	۰/۷۰**	-۰/۵۳**	-۰/۳۹**	-۰/٦۹**	۱

*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و nsغیرمعنی‌دار.

www.SID.ir

منابع

1.Arnon, D.I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.

2.Ashraf, M., and Harris, P.J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3-16.

3.Bongi, G., and Loreto, F. 1989. Gas exchange properties of salt-stressed olive (*Olea uropea* L.) leaves. J. Plant Physiol. 90: 1408-1416.

4.Brugnoli, E., and Lauteri, M. 1991. Effect of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gussypium hirsutum* L.) and salt sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3-non-halophytes. J. Plant Physiol. 95: 628-635.

5.Cha-um, S., and Kirdmanee, C. 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. Pak. J. Bot. 41: 87-98.

6.Cordovilla, M.P., Ocana, A., Ligero, F., and Liuch, C. 1995. Salinity effects on growth analysis and nutrient composition in four grain legumes-rhizobium symbiosis. J. Plant Nutr. 18: 1596-1609.

7.Cornic, C., and Massacci, A. 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In Photosynthesis and Environment. Ed. Baker, N.R. Kluwer Academic Publish. Pp: 347-366.

8.Dehdari, A. 2001. Genetic analysis of salt tolerance in different crosses of bread wheat. Ph.D. Thesis of plant breeding. Isfahan University of Technology. (In Persian)

9.Demir, M., and Ozturk, A. 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turk. J. Agric. For. 27: 224-227.

10.Demmig-Adams, B.W.W., Adams, N.I., Winter, K., Meyer, A., Schreiber, U., Pereira, J.S., Kruger, A., Czygan, F.C., and Lange, O.L. 1989. Photochemical efficiency of photosystem II. Photon yield of O_2 evolution, photosynthetic capacity, and carotenoid composition during the midday depression of net CO_2 uptake in *Arbutus unedo* growing in Portugal. J. Plant Physiol. 177: 377-387.

11.Fischer, R.A., Rees, D.K., Sayre, D., Lu, Z.M., Condon, A.G., and Larque Saavedra, A. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Sci. 38: 1467-1475.

12.Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J., and Medrano, H. 2008. Mesophyll conductance to CO_2: current knowledge and future prospects. Plant. Cell. Environ. 31: 602-621.

13.Francheboud, Y., and Leipner, J. 2003. The application of chlorophyll fluorescence to study light, temperature and drought stress. In: De-Ell, J.R., P.M.A. Tiovonen (eds.). Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology. Boston: Kluwer Academic Publishers, Pp: 125-150.

Archive of SID

www.SID.ir

14.Francis, G., Jhon, L., Jifon, S., Micaela, C., and James, P.S. 2002. Gas exchange, Chlorophyll and nutrient contents in relation to NA and CL accumulation in "sunburst" mandarin grafted on different root stocks. Plant Sci. 35: 314-320.
15.Haji Boland, R., and Ebrahimi, N. 2012. Effect of exin poly amins on growth, photosynthesis and metabolism of phenol in tobacco plants under salinity stress, 3: 13-26.
16.Hoagland, D.R., and Arnon, D.I. 1950. The water- culture for growing plants without soil. California Agric. Exp. Statis. Circ. 347: 32.
17.Jimenez, M.S., Gonzalez-Rodriquez, A.M., Moralez, D., Cid, M.C., Socorro, A.R., and Cabollero, M. 1997. Evaluation of Chlorophyll fluorescence as a tool for salt stress detection in roses. Photosynthetica, 33: 291-301.
18.Kaya, C., Higges, D., and Kirnak, H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. J. Plant Physiol. 27: 47-59.
19.Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., and Satali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. J. Hortic. Sci. 93: 65-74.
20.Kummer, W., Lips, K.S., and Pfeil, U. 2003. The epithelial cholinergic system of the airways. Histochem and Cell Bio. 130: 219-234.
21.Lichtenthaler, H.K. 1968. Photooxidation in isolated chloroplast: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch. Biochem. Biophysiol. 125: 189-198.
22.Lutts, S., Kinet, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann. Bot. 78: 389-398.
23.Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. J. Exp and Bot. 51: 659-668.
24.Mirmohammady Maibody, S.A., and Ghareyazie, B. 2002. Physiological aspect and breeding for salinity stress in plant. Esfahan University. Technol. 274p. (In Persian)
25.Mishra, S.K., Subrahmanyam, D., and Singhal, J.S. 1991. Interrelationship between salt and light stress on primary processes of photosynthesis. J. Plant Physiol. 138: 92-96.
26.Misra, A.N., Srivastava, A., and Strasser, R.J. 2001. Utilization of fast Chlorophyll fluorescence technique in assessing the salt ion sensitivity of mung bean and Brassica seedlings. J. Plant Physiol. 158: 1173-1181.
27.Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25: 239-25.
28.Netondo, G.W., Onyango, J.C., and Beck, E. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluoresense of sorghum under salt stress. Crop Sci. 44: 806-811.

Archive of SID

www.SID.ir

29. Oxborough, K. 2004. Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance. J. Exp. Bot. 55: 1195-1205.
30. Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., Zahedi, H., and Jami Alahmad, M. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluoresence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. J. Biol. Sci. 7: 841-847.
31. Parida, A.K., and Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effect on plant: A. Rev. Eco. Environ. Safety. 60: 324-342.
32. Rashid, A., Qureshi, R.H., Hollington, P.A., and Wyn Jones, R.G. 1999. Comparitive response of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivares to salinity at the seedling stage. Agron and Crop Sci. 182: 199-207.
33. Sanitata, L., and Gabbriella, R. 1999. Response to Cd in higher plants-Review. Envi Exp Bot. 45: 105-130.
34. Sharma, P.K., and Hall, D.O. 1991. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. J. Plant Physiol. 138: 614-619.
35. Singh, B., and Singh, B.K. 2001. Ribulose-1, 5-biphsphate carboxylase content and activity in wheat, rye and triticale. Biol. Plantarum. 44: 427-430.
36. Tattini, M., Marzi, L., Tafani, R., and Traversi, M.L. 1999. A review on salinity-induced changes in leaf gas exchange parameters of olive plants. Acta Hort. (ISHS), 474: 415-418.
37. Turan, M.A., Awad Alkarim, A.H., Taban, N., and Taban, S. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. J. Aferi. Agric. Res. 4: 893-897.
38. Zhao, G.Q., Ma, B.L., and Ren, C.Z. 2007. Growth, Gas Exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. J. Crop Sci. 41: 123-131.

Archive of SID

www.SID.ir

EJCP., Vol. 6 (2): 35-56
http://ejcp.gau.ac.ir

Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition

Z. Javadipour[1], *M. Movahhedi Dehnavi[2] and H.R. Balouchi[2]
[1]M.Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University,
[2]Assistant Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Yasouj University
Received: 06/24/2012; Accepted: 12/04/2012

Abstract

To comparison the photosynthetic parameters and leaf chlorophyll content and fluorescence of safflower (*Carthamus tinctorios* L.) cultivars under salinity stress, a pot experiment was carried out as factorial arrangement based on completely randomized design with three replications in University of Yasouj in summer 2011. The first factor included four salinity levels (including zero, 75, 150 and 225 mM) and the second factor included six cultivars of safflower (Local Isfahan, Spinned Sina, Isfahan 14, Goldasht, Padideh and Sina 411). Photosynthetic parameters including photosynthesis rate, transpiration, stomatal conductance, mesophyll conductance, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence components were measured. Results showed that the interaction of cultivar and salinity for all traits, except for F_v/F_m, were significant. Decreasing trend of chlorophyll and photosynthetic parameters with increasing salinity was different among cultivars. Fluorescence chlorophyll factors, F_m (max fluorescence under dark acclimated condition) and F_o (min fluorescence under dark acclimated condition) were increased with increasing salinity levels in all cultivars. At non-saline condition Padideh cultivar had relative superiority in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, transpiration rate, photosynthetic rate and water-use efficiency. At 75 mM salinity, Spinned Sina had relative superiority in terms of chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, and photosynthesis rate compared to other cultivars. At 150 mM salinity, Padideh cultivar had relative superiority in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, the rate of photosynthesis and water use efficiency than other varieties and at 225 mM salinity level, Isfahan 14 cultivar in terms of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, assimilation rate and water use efficiency had superiority to other cultivars.

Keywords: Carotenoids, Photosynthesis rate, Stomatal conductance, Transpiration.

* Corresponding author; Email: movahhedi54@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir