

اثر تنش شوری بر رشد، فتوسنتز، تبادلات گازی و فلئورسانس کلروفیل در ارقام چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در مرحله گیاهچه ای تحت شرایط کنترل شده

نفیسه اسدی نسب^{۱*} - پیمان حسینی^۲ - حبیب اله روشنفکر^۲ - موسی مسکر باشی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۱۹

چکیده

با توجه به این که هر ساله استمرار پدیده خشک سالی، گرم شدن جهانی و افزایش پدیده گرد و غبار سبب افزایش شوری اراضی کشاورزی می‌گردد، شناخت برخی مکانیزم‌های فیزیولوژیکی در گیاه چغندر قند طی مواجهه با شوری امری ضروری است، لذا این آزمایش به منظور مطالعه تأثیر تنش شوری بر خصوصیات رشد، تنفس، تبادلات گازی و فتوسنتز در سه رقم چغندر قند (BR_۱، جلگه و رسول) در سال زراعی ۱۳۸۹، در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. گیاهان ۳۵ روز پس از کاشت به مدت هشت هفته تحت سه سطح شوری شامل شاهد (صفر)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار نمک کلرید سدیم قرار گرفتند. تنش شوری میزان ماده خشک اندام هوایی و ریشه و هم چنین سطح برگ را کاهش داد. با افزایش شوری میزان فتوسنتز (اسیمیلاسیون دی اکسید کربن)، هدایت روزنه ای و سرعت تعرق برگ‌ها کاهش و میزان تنفس، دمای برگ و عدد SPAD افزایش یافت. بررسی مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل نشان داد که با افزایش شوری عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (ΦPSII) کاهش یافت، اما خاموشی غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته (NPQ) افزایش پیدا کرد. با توجه به نتایج همبستگی صفات، در غلظت ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، ماده خشک ریشه همبستگی منفی بالایی ($r = -0.95^{**}$) با شاخص حساسیت به تنش نشان داد و هر گونه کاهش در تجمع ماده خشک با افزایش در شاخص حساسیت به تنش همراه بود و مقادیر پایین شاخص حساسیت به تنش نشان از تحمل بیشتر رقم به تنش شوری داشت. بر اساس شاخص حساسیت به تنش با استفاده از ماده خشک ریشه، در غلظت ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، ارقام رسول، BR_۱ و جلگه به ترتیب ارقام متحمل، نیمه متحمل و حساس شناخته شدند. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که وزن خشک ریشه، می‌تواند به عنوان معیار مناسبی جهت غربال ارقام مقاوم به شوری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اسیمیلاسیون دی اکسید کربن، تعرق، چغندر قند، شوری، فلئورسانس کلروفیل

مقدمه

اکسید کربن با کاهش در هدایت روزنه ای مرتبط است. رضا و همکاران (۱۶) کاهش در فتوسنتز را به دلیل عوامل روزنه ای مانند کاهش هدایت روزنه ای و عوامل غیر روزنه ای مانند کاهش یا تخریب کلروفیل دانستند. شوری باعث تخریب ساختار کلروپلاست‌ها و عدم پایداری ترکیب‌های رنگریزه- پروتئین می‌شود. هم‌چنین کاروتنوئیدها تحت تأثیر قرار گرفته و بازدارندگی نوری تحت تنش شوری تقویت می‌شود (۱۷). امن و همکاران (۱۳) بیان کردند که افزایش شوری موجب افزایش غلظت کلروفیل در سویا (*Glycine max*) گردید. زلاتف و یوردانو (۱۹) بیان کردند که پارامتر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو، مشخصه خوبی برای تعیین تفاوت بین شرایط کنترل و تنش می‌باشد. جریان الکترون در فتوسیستم شاخصی برای میزان کلی فتوسنتز می‌باشد و اندازه گیری فلئورسانس کلروفیل تخمینی از نحوه عمل فتوسنتز را برای ما امکان پذیر می‌سازد (۱۲).

تنش شوری پس از خشکی مهمترین تنش محیطی تأثیر گذار بر گیاهان محسوب می‌شود و به شدت از رشد و نمو گیاهان حساس می‌کاهد (۳). با توجه به این که گیاه چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در مراحل مختلف رشد پاسخ‌های متفاوتی به تنش شوری نشان می‌دهد، می‌تواند به عنوان یک گیاه مناسب جهت مطالعات مختلف در زمینه تنش شوری، مورد بررسی قرار گیرد. فتوسنتز و رشد سلول از جمله فرآیندهایی است که سریعاً تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (۴). قاسم و همکاران (۱۵) بیان کردند که کاهش اسیمیلاسیون دی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز
* - نویسنده مسئول: (Email: Nafisehasadi@gmail.com)

کامل تصادفی متعادل با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل شش گلدان بود و در مجموع ۱۶۲ گلدان در نظر گرفته شد. کشت در گلدان‌های پلاستیکی منفذدار (به منظور زهکشی گلدان‌ها) به ارتفاع ۴۱/۵ و قطر ۳۳ سانتی متر صورت گرفت. پس از تهیه خاک گلدان‌ها، انجام آزمون خاک و کوددهی (اوره، فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم)، در هر گلدان ۱۰ بذر کشت گردید. در مرحله چهارم برگ‌ریزی عمل تنک انجام شد و تعداد گیاهچه‌ها به پنج گیاه در هر گلدان کاهش یافت. تیمار شوری، ۳۵ روز پس از کاشت به صورت مخلوط با آب آبیاری، اعمال شد و تا ۹۰ روز پس از کاشت ادامه یافت. به منظور اجتناب از تجمع املاح، افزایش سطح شوری به صورت پلکانی و با ۵۰ میلی مولار آغاز شد تا به سطح تیمار مورد نظر رسید. برای کنترل هدایت الکتریکی خاک گلدان، تعداد شش گلدان اضافه (فاقد گیاه) در نظر گرفته شد که همزمان با گلدان‌های کشت شده، تیمارهای شوری در آن‌ها اعمال گردید و هر ۱۰ روز یک بار با نمونه برداری از خاک گلدان‌های مذکور، هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد. در صورت بیشتر بودن هدایت الکتریکی خاک این گلدان‌ها از تیمار مورد نظر با استفاده از آب تصفیه شده آبشویی صورت گرفت تا هدایت الکتریکی به میزان تیمار مورد نظر رسید. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نمونه‌های تازه گیاهی (پنج گیاه) از هر تیمار برداشت (۹۰ روز پس از کاشت) شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای 70°C قرار گرفته و پس از آن با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و سپس وزن خشک اجزای تک بوته محاسبه شد. اندازه‌گیری سطح برگ توسط دستگاه Leaf Area Meter (مارک ΔT ، ساخت کشور انگلستان) انجام شد. شاخص قرائت کلروفیل‌متر (تا ۹۰ روز پس از کاشت هر هفته یک بار با نمونه برداری از آخرین برگ توسعه‌یافته)، توسط دستگاه SPAD 502 Chlorophyll meter (مارک Minolta، ساخت کشور ژاپن) و هدایت روزنه ای^۳، توسط دستگاه پرومتر^۴ (مدل ELE، ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. صفاتی هم چون میزان اسیمیلایون دی اکسید کربن^۵ (فتوستنتز)، سرعت تعرق^۶، میزان تنفس و دمای برگ توسط دستگاه LCA₄ (مارک EDC، ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. بررسی مولفه‌های فلئورسانس کلروفیل (شامل عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو و خاموشی غیرفتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته) توسط دستگاه Fluorescence Meter (مدل PEA، ساخت کشور انگلستان)، ۹۰ روز پس از کاشت با استفاده از آخرین

دادخواه و مقتدر (۶) بیان کردند که کل محتوای رنگدانه‌های کلروفیل در تمام ارقام مورد آزمایش تحت شرایط شور افزایش یافت. در زمان مواجه شدن گیاهان با تنش‌های محیطی، با افزایش شدت تنش، خاموشی غیر فتوشیمیایی الکترون برانگیخته دیگر قادر به حذف مازاد انرژی الکترون‌های برانگیخته نبوده و در نتیجه مولکول اکسیژن به عنوان پذیرنده جایگزین برای الکترون وارد عمل می‌گردد (۱۴). جاو-کویا و همکاران (۱۰) گزارش کردند که در شرایط تنش بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم دو، میزان انتقال الکترون، تبادل گازی و اسیمیلایون دی اکسید کربن کاهش یافت، در حالی که میزان خاموشی غیرفتوشیمیایی الکترون برانگیخته به میزان ۴۰ درصد افزایش یافت، که نشان دهنده افزایش اتلاف حرارتی فتوسیستم دو می‌باشد. دادخواه (۲) عنوان کرد که تنش شوری سطح برگ، میزان ماده خشک، میزان فتوستنتز و هدایت روزنه ای برگ‌ها را کاهش داد. هم چنین افزایش شوری موجب کاهش میزان تنفس گردید. شوری میزان انرژی لازم برای حفظ شرایط طبیعی سلول را افزایش می‌دهد، در نتیجه مقدار انرژی کمتری برای نیازهای رشدی گیاه باقی می‌ماند (۳). کرامر و نوک (۵) گزارش کردند که کاهش فتوستنتز به دلیل کاهش کارایی تثبیت دی اکسید کربن در واحد سطح برگ نبوده، بلکه به دلیل کاهش سطح فتوستنتز کننده می‌باشد. هم چنین در صورتی که دوره تنش طولانی شود گیاهان عدم تعادل یونی (افزایش یا کمبود) را تجربه می‌کنند، که می‌تواند موجب پیری زود هنگام برگ‌ها و کاهش سطح فعال فتوستنتز کننده شود. با توجه به آزمایش غلام و همکاران (۸) غلظت‌های بالای کلرید سدیم در چغندر قند باعث کاهش معنی دار وزن تر، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و سطح برگ گیاه در ارقام مورد بررسی گردید. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تنش شوری بر تبادلات گازی، فتوستنتز، فلئورسانس کلروفیل و برخی خصوصیات رشدی گیاه، در سه رقم چغندر قند به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد سه رقم چغندر قند شامل BR_۱، جلگه و رسول (تهیه شده از موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه بذر چغندر قند کرج بنا به نظر اعضای محترم هیأت علمی مؤسسه‌ی مذکور و اعضای محترم مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد) تحت سه سطح شوری (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار) از منبع شوری کلرید سدیم^۱ (مارک مرک^۲، ساخت کشور آلمان) قرار گرفتند. این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۹، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های

3- Stomatal Conductance

4- Prometer

5- Rate of CO₂ Assimilation

6- Rate of Transpiration

1- NaCl

2- Merk

شاهد) به ترتیب با ۱۴۱ و ۱۲۱/۷ سانتی متر مربع بر بوته، مشاهده شد. در ارقام BR_۱ و جلگه کاهش در سطح برگ در مقایسه با شاهد معنی دار نبود و قادر به حفظ سطح برگ خود در سطح بالای شوری (۲۰۰ میلی مولار) بود.

هدایت روزنه ای

بالاترین مقدار هدایت روزنه ای ارقام مورد بررسی در تیمار شاهد مشاهده شد. با افزایش شوری هدایت روزنه ای کاهش یافت (شکل ۴). در این آزمایش از لحاظ هدایت روزنه ای اختلاف ارقام، سطوح شوری و اثر متقابل رقم و سطوح شوری در سطح ۱٪ معنی دار شد. در غلظت ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، بیشترین و کمترین هدایت روزنه ای به ترتیب در بوته‌های ارقام BR_۱ و جلگه با میزان ۰/۴۰ (با ۳۱/۰۳ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) و ۰/۱۲ (با ۷۶/۴۷ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) سانتی متر بر ثانیه ثبت گردید (شکل ۴).

عدد SPAD

در تیمار شاهد کمترین مقدار عدد SPAD مشاهده شد. اگرچه با افزایش سطوح شوری عدد SPAD افزایش یافت (شکل ۵)، اما تنها اختلاف سطوح شوری در سطح ۱٪ بر عدد SPAD معنی دار شد (جدول ۱). در سطح ۲۰۰ میلی مولار، بیشترین (۱۰/۳۰ درصد) و کمترین (۶/۹۲ درصد) میزان افزایش عدد SPAD در بوته‌های ارقام BR_۱ و جلگه با عدد SPAD به ترتیب ۴۸/۱ و ۴۶/۲، را در مقایسه با شاهد مشاهده شد (شکل ۵).

میزان اسیمیلاسیون دی اکسید کربن

با افزایش سطح شوری، میزان اسیمیلاسیون دی اکسید کربن کاهش نشان داد (شکل ۶). میان ارقام، سطوح شوری و اثر متقابل رقم و سطوح شوری در سطح ۱٪ اختلاف معنی دار مشاهده شد (جدول ۱). اما در رقم BR_۱، کاهش معنی دار با افزایش سطوح شوری مشاهده نشد. در تیمار ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، ارقام رسول و جلگه با میزان اسیمیلاسیون دی اکسید کربن ۲/۲۷ و ۰/۳۲ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه کمترین (۲۲/۷۰ درصد) و بیشترین (۹۲/۸۸ درصد) میزان کاهش را در مقایسه با شاهد به خود اختصاص دادند. هرچند رقم BR_۱ با افزایش شوری به ۲۰۰ میلی مولار کمترین کاهش در میزان اسیمیلاسیون دی اکسید کربن را نشان داد ولی شدت کاهش در رقم جلگه در مقایسه با شاهد بیشتر بود (شکل ۶).

برگ توسعه یافته و محاسبات با استفاده از روش مکس ول و جانسون (۱۲) صورت گرفت.

عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو

$$\Phi_{PSII} = (F_m' - F_t) / F_m'$$

خاموشی غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته

$$NPQ = (F_m - F_m') / F_m'$$

که در این معادله ها

F_t: حداقل فلئورسانس از برگ سازگار شده با نور، F_m: حداکثر فلئورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی، F_m' : حداکثر فلئورسانس از برگ سازگار شده با نور، پس از کاربرد یک پالس نور اشباع.

برای ارزیابی شاخص حساسیت به تنش^۱ روش فیشر و مائورر (۷) مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم افزار های MSTAT-C (تجزیه واریانس) و SPSS (همبستگی صفات) و رسم نمودارها توسط نرم افزار Excel صورت گرفت.

نتایج

ماده خشک اندام هوایی و ریشه

شوری، وزن خشک ریشه (شکل ۱) و اندام هوایی (شکل ۲) را به طور معنی داری (P ≤ ۰/۰۱) کاهش داد (جدول ۱). در میان ارقام مورد بررسی تنها وزن خشک ریشه و اندام هوایی رقم جلگه با افزایش سطح شوری به طور معنی داری کاهش یافت (شکل های ۱ و ۲). به عبارت دیگر وزن خشک ریشه و اندام هوایی رقم جلگه بیشتر تحت تأثیر شوری قرار گرفت. کاهش در وزن خشک اندام هوایی ارقام BR_۱ و رسول معنی دار نبود. بیشترین و کمترین میزان وزن خشک ریشه (به ترتیب ۵/۱۸ و ۴/۶۵ گرم بر بوته) و اندام هوایی (به ترتیب ۱۶/۰۴ و ۱۵/۴۳ گرم بر بوته) در شوری ۲۰۰ میلی مولار، به ترتیب در بوته‌های ارقام رسول (با ۱/۱ درصد کاهش در وزن خشک اندام هوایی و ۲/۱ درصد کاهش در وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد) و جلگه (با ۹/۰۷ درصد کاهش در وزن خشک اندام هوایی و ۶/۷۵ درصد کاهش در وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد) ثبت گردید.

سطح برگ

با افزایش شوری، سطح برگ در تمام ارقام در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (شکل ۳). اختلاف سطوح شوری در سطح ۱٪ معنی دار شد. در سطح بالای تنش (۲۰۰ میلی مولار)، بیشترین و کمترین میزان سطح برگ در بوته های ارقام BR_۱ (با ۱۴/۸۵ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) و رسول (با ۳۰/۴۵ درصد کاهش در مقایسه با

سرعت تعرق

سرعت تعرق با افزایش شوری در هر سه رقم مورد بررسی، کاهش نشان داد. در این آزمایش اختلاف رقم، سطوح شوری و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱٪ بر سرعت تعرق معنی دار شد (جدول ۲). در سطح ۲۰۰ میلی مولار، کمترین (۱۶/۴۱ درصد) و بیشترین (۵۹/۵۷ درصد) میزان کاهش سرعت تعرق در مقایسه با شاهد به ترتیب در

ارقام رسول و جلگه با میزان سرعت تعرق ۰/۳۷ و ۰/۲۵ مول آب بر متر مربع بر ثانیه ثبت گردید (شکل ۷). تنش شوری کمترین تأثیر را بر سرعت تعرق رقم رسول نشان داد (۰/۴۴ مول آب بر مترمربع بر ثانیه در تیمار شاهد و ۰/۳۷ مول آب بر متر مربع بر ثانیه در سطح ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم).

جدول ۱- تجزیه واریانس وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، عدد SPAD و اسیمیلایون دی اکسید کربن در سه رقم چغندر قند در شرایط کاربرد کلرید سدیم در شرایط گلخانه

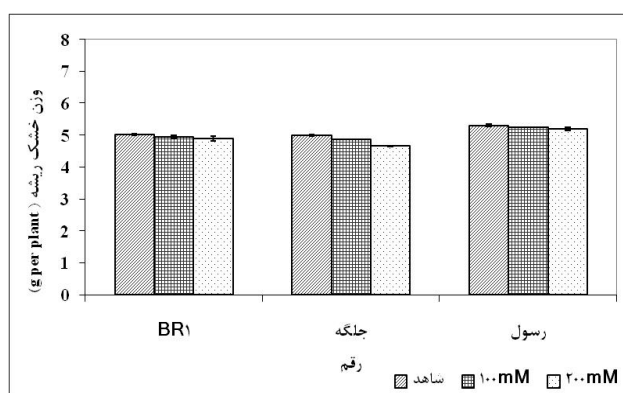
میانگین مربعات						
درجه آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	سطح برگ	هدایت روزنه‌ای	عدد PAD	اسیمیلایون دی اکسید کربن
۲	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۲۲۱۶/۹۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱/۷۶ ^{ns}	۰/۵۷ ^{ns}
۲	۰/۱۷ ^{**}	۰/۰۱ ^{ns}	۵۷/۹۹ ^{ns}	۰/۰۵ ^{**}	۹/۵۵ ^{ns}	۴/۶۷ ^{**}
۲	۰/۱۱ ^{**}	۱/۳۱ ^{**}	۳۰۸۱/۲۴ ^{**}	۰/۰۵ ^{**}	۴۴/۷۰ ^{**}	۴/۹۴ ^{**}
۴	۰/۰۱ [*]	۰/۳۸ [*]	۱۶۷/۵۴ ^{ns}	۰/۰۱ ^{**}	۰/۵۵ ^{ns}	۲/۶۴ ^{**}
۱۶	۰/۰۱	۰/۱۲	۳۶۸/۲۸	۰/۰۱	۳/۳۳	۰/۰۵

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

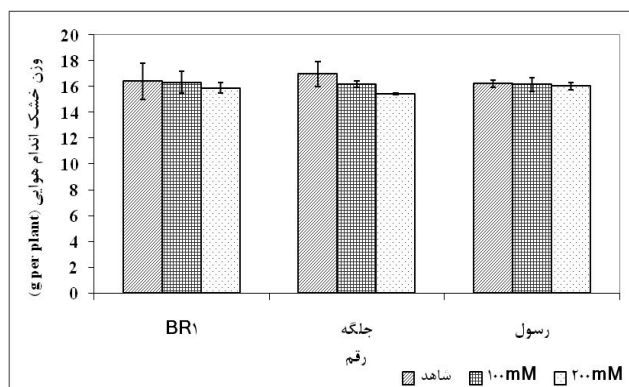
جدول ۲- تجزیه واریانس دمای برگ، سرعت تعرق، میزان تنفس، عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو و خاموشی غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته در سه رقم چغندر قند در شرایط کاربرد کلرید سدیم در شرایط گلخانه

میانگین مربعات (MS)					
درجه آزادی	دمای برگ	سرعت تعرق	میزان تنفس	عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو	خاموشی غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته
۲	۰/۷۷ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۹۷/۵۱۳ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
۲	۳/۴۳ [*]	۰/۱۱ ^{**}	۲۸۸۷۲/۴۷ ^{**}	۰/۰۱ ^{**}	۰/۰۹ [*]
۲	۳۷۶/۰۷ ^{**}	۰/۲۲ ^{**}	۱۰۷۰۴۲/۰۴ ^{**}	۰/۰۵ ^{**}	۰/۰۲ [*]
۴	۷۱/۲۷ ^{**}	۰/۰۲ ^{**}	۳۹۸۹۷/۶۶ ^{**}	۰/۰۶ [*]	۰/۰۴ ^{ns}
۱۶	۰/۹۸	۰/۰۱	۴۱۶/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱

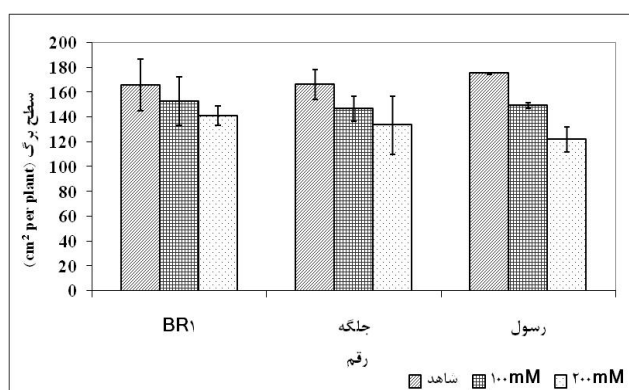
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد



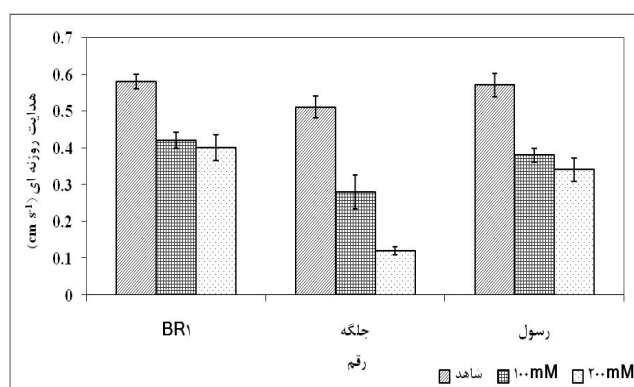
شکل ۱- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر وزن خشک ریشه چغندر قند در شرایط گلخانه



شکل ۲- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر وزن خشک اندام هوایی چغندرقد در شرایط گلخانه



شکل ۳- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر سطح برگ چغندرقد در شرایط گلخانه (نشان گرهای میله ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

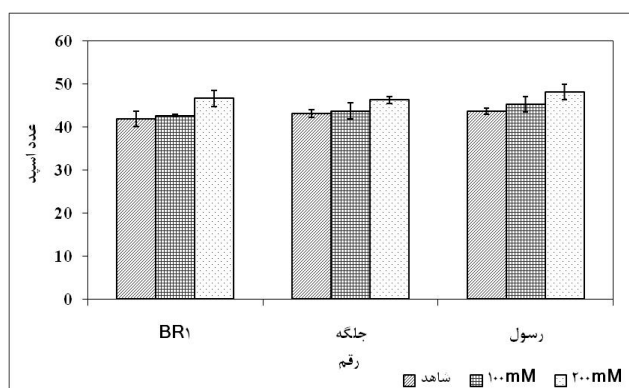


شکل ۴- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر هدایت روزانه ای چغندرقد در شرایط گلخانه (نشان گرهای میله ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

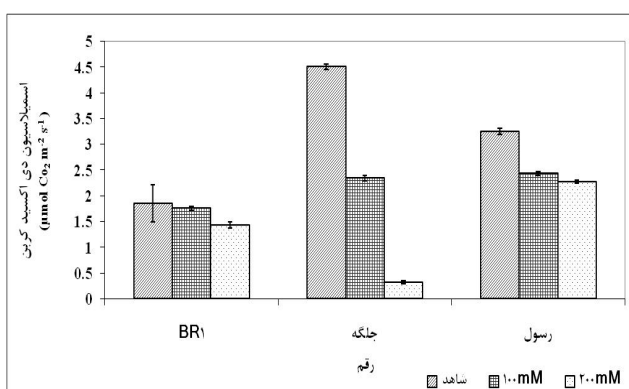
میزان تنفس

میزان تنفس با افزایش شوری به طور معنی دار افزایش یافت. در این آزمایش اختلاف ارقام، سطوح شوری و اثر متقابل ارقام و سطوح شوری بر میزان تنفس در سطح ۱٪ معنی دار شدند (جدول ۲). ارقام BR1 (۲۳۴/۷۶) میکرومول بر مترمربع بر ثانیه در شاهد و ۳۷۱ میکرومول دی اکسید کربن بر مول در ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم-

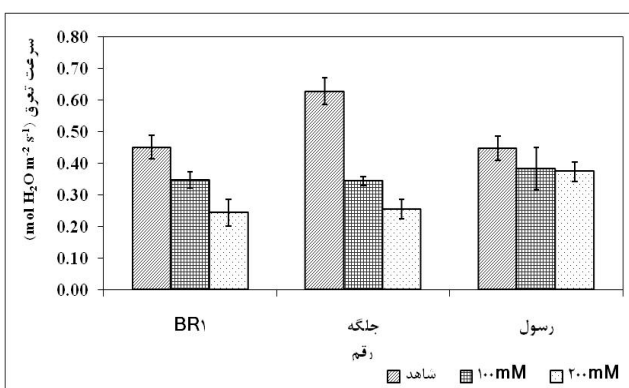
۳۶/۷۲ درصد افزایش) و جلگه (۲۳۹/۱۶) میکرومول بر مترمربع بر ثانیه در شاهد و ۵۸۰/۹۳ میکرومول دی اکسید کربن بر مول در غلظت ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم- (۵۸/۸۳ درصد افزایش) به ترتیب کمترین و بیشترین تأثیر پذیری از تنش شوری را نشان دادند (شکل ۸).



شکل ۵- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر عدد SPAD چغندرقد در شرایط گلخانه



شکل ۶- تأثیر افزایش کلرید سدیم در محیط ریشه بر میزان اسیمیلایسیون دی اکسید کربن چغندرقد در شرایط گلخانه



شکل ۷- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر سرعت تعرق چغندرقد در شرایط گلخانه (نشانگرهای میله ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

مولفه های فلئورسانس کلروفیل

تنش شوری بر عملکرد کوانتومی فتوسینتزم دو در شرایط روشنایی تأثیر معنی دار داشته (شکل ۹) و از این نظر در میان ارقام، سطوح شوری و اثرات متقابل آن‌ها اختلاف معنی دار دیده شد (جدول ۲). بیشترین (با ۱۱/۹۸ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) و کمترین (با ۴۲/۱۸ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) مقدار این مولفه در سطح

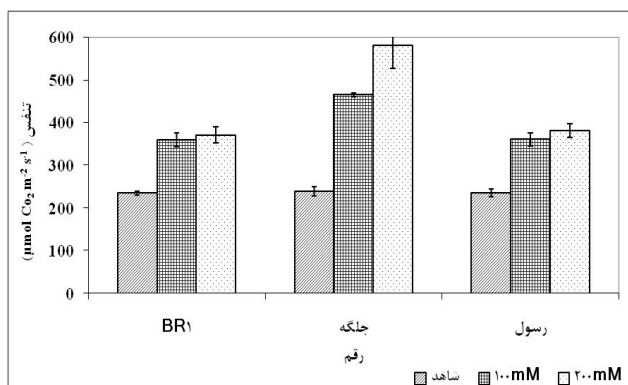
۲۰۰ میلی مولار کلریدسدیم متعلق به ارقام رسول و جلگه بود (شکل ۹). خاموشی غیرفتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته با افزایش سطوح شوری افزایش نشان داد (شکل ۱۰). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از لحاظ این صفت، در میان ارقام (در سطح ۵٪) و سطوح شوری (در سطح ۵٪) تفاوت معنی دار وجود داشت (جدول ۲). در این آزمایش آزمایش بیشترین میزان خاموشی غیرفتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته در سطح ۲۰۰ میلی مولار

جلگه (۱/۷۰) مشاهده شد (جدول ۳). بر این اساس در غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم، ارقام رسول، BR_۱ و جلگه به ترتیب در گروه‌های متحمل، نیمه متحمل و نیمه حساس قرار گرفتند. هم‌چنین در غلظت ۲۰۰ میلی مولار ارقام رسول، BR_۱ و جلگه به ترتیب متحمل، نیمه متحمل و حساس واقع شدند. از این رو از این شاخص می‌توان به منظور تعیین ارقام متحمل استفاده نمود.

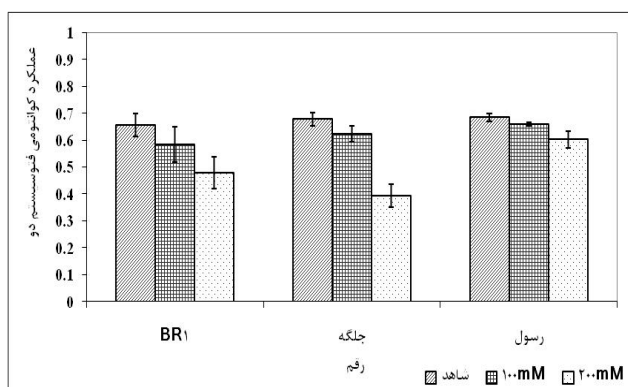
مربوط به رقم جلگه (با ۳۸/۲۴ درصد افزایش در مقایسه با شاهد بود و کمترین (با ۴/۳۴ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) مقدار آن در رقم BR_۱ مشاهده شد (شکل ۱۰).

شاخص حساسیت به تنش

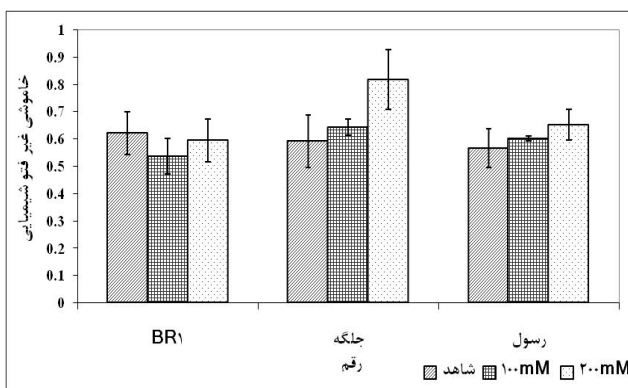
در سطح ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم کمترین میزان شاخص حساسیت به تنش در رقم رسول (۰/۴۴) و بیشترین میزان در رقم



شکل ۸- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط ریشه بر میزان تنفس چغندر قند در شرایط گلخانه



شکل ۹- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط بر عملکرد کوانتومی فتوسنتسم دو چغندر قند در شرایط گلخانه



شکل ۱۰- تأثیر افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط بر خاموشی غیر فتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته چغندر قند در شرایط گلخانه (نشانه‌های میله ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار می‌باشند).

جدول ۳- ارزیابی تحمل و حساسیت نسبت به تنش شوری سه رقم چغندر قند در شرایط گلخانه بر اساس شاخص حساسیت به تنش

حساسیت در سطح	۲۰۰	حساسیت در سطح	۱۰۰	
۲۰۰ میلی مولار	میلی مولار	میلی مولار	میلی مولار	
متحمل	۰/۴۴	متحمل	۰/۴۱	رسول
نیمه متحمل	۰/۵۶	نیمه متحمل	۰/۶۸	BR
حساس	۱/۷۰	نیمه حساس	۱/۲۴	جلگه

بحث

به نظرمی رسد گیاهچه های مورد بررسی چغندر قند در شرایط تنش شوری به دلیل ایجاد خشکی فیزیولوژیک ناشی از کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه ها، با افزایش سطح هورمون آبسزیک اسید و کاهش هدایت روزنه ای در شرایط تنش (۱۱)، به حفظ ذخایر آبی خود کمک کرده اند. افزایش عدد SPAD با افزایش شوری می تواند به دلیل کاهش حجم سلول ها و سطح برگ و در نتیجه غلیظ شدن پروتوپلاست سلول های مزوفیل و متراکم شدن کلروپلاست ها باشد (۹ و ۱۳). تنش شوری از طریق اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه از جمله فتوسنتز موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه گردید. کاهش میزان فتوسنتز می تواند نتیجه تأثیر شوری بر عوامل روزنه ای (هدایت روزنه ای) و غیر روزنه ای (هم چون کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو) باشد. در تنش شوری کاهش ورود دی اکسید کربن و نیز تأثیرات سمی تجمع یون ها منجر به ممانعت از اسیمیلاسیون دی اکسید کربن و در نتیجه کاهش رشد می گردد. هدایت روزنه ای و توانایی جذب دی اکسید کربن می تواند به عنوان شاخصی از وضعیت فتوسنتزی برگ گیاه در نظر گرفته شود. به نظر می رسد تجمع آبسزیک اسید طی تنش شوری در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی منجر به کاهش هدایت روزنه ای و به دنبال آن کاهش تعرق شده است. از سوی دیگر کاهش در میزان تعرق گیاه و عدم توانایی تنظیم تعادل دمایی موجب افزایش در دمای برگ گردید. دلیل کاهش در فتوسنتز را علاوه بر کاهش در جذب دی اکسید کربن می توان به دلیل عوامل بیوشیمیایی مانند پیگمنت های فتوسنتزی و نیز قندها مرتبط دانست (۱۸). بر اساس نتایج به دست آمده از جدول همبستگی صفات (جدول ۴)، در غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم تعرق و ماده خشک ریشه ($r=0/87^*$)، هدایت روزنه ای و دمای برگ ($r=-0/73^*$)، هدایت روزنه ای و تنفس ($r=-0/78^*$) و اسیمیلاسیون دی اکسید کربن و دمای برگ ($r=-0/79^*$) همبستگی بالایی را نشان دادند. به نظر می رسد تجمع آبسزیک اسید طی تنش شوری در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی منجر به کاهش هدایت روزنه ای و به دنبال آن کاهش تعرق شده است (۱۱). از سوی دیگر کاهش در میزان تعرق گیاه و عدم توانایی تنظیم تعادل دمایی موجب افزایش در دمای برگ گردید. کاهش در هدایت روزنه ای در شرایط تنش شوری

و در پی آن کاهش فتوسنتز منجر به کاهش کارایی کربوکسیلاسیون، کاهش سرعت دوباره سازی آنزیم روبیسکو، کاهش فراهمی دی اکسید کربن و اختلال در چرخه های فتوسنتزی و زنجیره انتقال الکترون شد و تنفس را افزایش داد. شوری از طریق ایجاد خسارت به فسفولیپیدهای موجود در غشای تیلاکوئید (۱۰) و در نتیجه اختلال در زنجیره نقل و انتقال الکترون، میزان خاموشی فتوشیمیایی انرژی الکترون بر انگیخته را کاهش و مراکز واکنش فتوسیستم دو را تحت تأثیر قرار داد (۱). کاهش کارایی کربوکسیلاسیون، سرعت دوباره سازی آنزیم روبیسکو، فراهمی دی اکسید کربن به دلیل مقاومت روزنه و انتقال کربوهیدرات ها به خارج از سلول مزوفیل سبب کاهش سرعت مصرف ATP و NADPH در چرخه کالوین شد (۱). این موضوع سبب کاهش انتقال الکترون و مقدار عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو به ویژه در رقم حساس گردید. به دلیل کاهش تولید ATP، حفره لومن در تایلاکوئید به شدت اسیدی شده و باعث افزایش اختلاف الکتروشیمیایی در دو طرف غشای تایلاکوئید شده در نتیجه خاموشی غیرفتوشیمیایی انرژی الکترون بر انگیخته (اتلاف حرارتی) افزایش می یابد، زیرا فعالیت آنزیم دی آپوکسیداز افزایش یافت (۱). با افزایش شدت تنش، خاموشی غیرفتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته نتوانست مازاد انرژی را دفع نماید در نتیجه مولکول اکسیژن به عنوان پذیرنده الکترون عمل نموده و اکسید شده و تولید رادیکال های آزاد نمود و این امر خسارت اکسیداتیو به غشاهای فیزیولوژیک را در پی داشت. خاموشی غیرفتوشیمیایی انرژی الکترون برانگیخته، نمایان گر اتلاف حرارتی از مولکول های کلروفیل آنتن در فتوسیستم دو می باشد. این مولفه عدم کارایی چرخه تاریکی فتوسنتز را نشان می دهد (۱۴). در شرایط تنش شوری نسبت به شرایط مطلوب بخش بیشتری از انرژی گیاه صرف نگهداری بافت ها می شود. کاهش در ماده خشک ریشه می تواند به دلیل ارتباط مستقیم آن با منبع شوری، اختلال در جذب مواد غذایی لازم برای رشد و نیز کاهش توسعه سیستم ریشه ای (کاهش حجم ریشه) صورت گیرد (۲). یکی از اثرات شوری بر رشد گیاهان، اختلال در فراهمی اسیمیلات های فتوسنتزی ارزیابی می گردد. هم چنین نتایج نشان داد افزایش غلظت کلرید سدیم، سطح برگ را کاهش داد. کاهش سطح برگ گیاه بیشتر به دلیل عدم توسعه برگ ها و متوقف شدن رشد آن ها بوده است. چنین وضعیتی ممکن است ناشی از کاهش رشد و توسعه سلول های

فتوستتزی، سبب کاهش تجمع ماده خشک در ریشه و اندام هوایی شد. هم چنین در این غلظت شوری همبستگی بالای هدایت روزنه ای و ماده خشک اندام هوایی ($r=0.67^*$)، تنفس و ماده خشک ریشه ($r=-0.80^{**}$)، تنفس و ماده خشک اندام هوایی ($r=-0.67^*$) و هدایت روزنه ای و تنفس ($r=-0.93^{**}$)، نشان داد که با کاهش در هدایت روزنه ای در شرایط تنش به عنوان اولین عکس العمل گیاه، مقاومت روزنه به ورود دی اکسید کربن افزایش یافته و به دنبال آن به دلیل اختلال در مسیرهای فتوستتزی گیاه تنفس افزایش یافت. عدم دسترسی گیاه به دی اکسید کربن به عنوان پیش ماده ساخت اسیمیلات های فتوستتزی از یک سو و افزایش تنفس از سوی دیگر موجب کاهش رشد و تجمع ماده خشک در ریشه و اندام هوایی گردید.

برگ (۲)، کاهش انرژی مفید فتوستتزی در رشد اندام ها (افزایش تنفس) و یا انتقال ضعیف مواد غذایی مؤثر در رشد برگ ها از ریشه باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از جدول همبستگی صفات در غلظت ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم (جدول ۵)، شاخص حساسیت به تنش با ماده خشک ریشه و اندام هوایی ($r=-0.95^{**}$ و $r=-0.92^{**}$) و هدایت روزنه ای ($r=-0.87^{**}$) همبستگی بالایی نشان داد. این وضعیت نشان داد که ارقامی که دارای توانایی بالاتری در حفظ هدایت روزنه ای و ماده خشک ریشه و اندام هوایی در شرایط تنش هستند، ارقام متحمل نسبت به تنش شوری محسوب می شوند. هم چنین وزن خشک ریشه همبستگی مثبت و معنی دار با وزن خشک اندام هوایی ($r=0.93^{**}$) داشت. کاهش سطح برگ و کاهش هدایت روزنه ای و اختلال در اعمال فیزیولوژیکی گیاه به ویژه فرآیند

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، هدایت روزنه ای، عدد SPAD، اسیمیلسیون دی اکسید کربن، دمای برگ، سرعت تعرق، میزان تنفس و شاخص حساسیت به تنش سه رقم چغندر قند در شرایط کاربرد ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم در شرایط گلخانه

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱. وزن خشک ریشه										
۲. وزن خشک اندام هوایی	۰.۰۲ ^{ns}									
۳. سطح برگ	۰.۰۱ ^{ns}	-۰.۴۹ ^{ns}								
۴. هدایت روزنه ای	۰.۴۵ ^{ns}	-۰.۱۰ ^{ns}	۰.۱۴ ^{ns}							
۵. عدد SPAD	۰.۲۵ ^{ns}	-۰.۵۱ ^{ns}	-۰.۱۲ ^{ns}	-۰.۴۳ ^{ns}						
۶. اسیمیلسیون دی اکسید کربن	۰.۴۹ ^{ns}	-۰.۲۷ ^{ns}	-۰.۳۰ ^{ns}	-۰.۴۱ ^{ns}	۰.۱۸ ^{ns}					
۷. دمای برگ	۰.۰۱ ^{ns}	-۰.۴۰ ^{ns}	-۰.۱۳ ^{ns}	-۰.۷۴ [*]	-۰.۲۷ ^{ns}	-۰.۷۹ [*]				
۸. سرعت تعرق	-۰.۸۷ ^{**}	-۰.۳۷ ^{ns}	-۰.۰۴ ^{ns}	-۰.۶۸ [*]	۰.۶۴ ^{ns}	۰.۵۷ ^{ns}	-۰.۲۵ ^{ns}			
۹. میزان تنفس	-۰.۶۲ ^{ns}	-۰.۰۱ ^{ns}	-۰.۱۳ ^{ns}	-۰.۷۸ [*]	-۰.۰۷ ^{ns}	-۰.۱۵ ^{ns}	-۰.۳۶ ^{ns}	-۰.۴۲ ^{ns}		
۱۰. شاخص حساسیت به تنش	-۰.۷۸ [*]	-۰.۴۲ ^{ns}	-۰.۰۴ ^{ns}	-۰.۵۵ ^{ns}	-۰.۰۳ ^{ns}	-۰.۰۹ ^{ns}	-۰.۳۴ ^{ns}	-۰.۴۴ ^{ns}	-۰.۵۹ ^{ns}	

ns، * و ** - به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، سطح برگ، هدایت روزنه ای، عدد SPAD، اسیمیلسیون دی اکسید کربن، دمای برگ، سرعت تعرق، میزان تنفس و شاخص حساسیت به تنش سه رقم چغندر قند در شرایط کاربرد ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم در شرایط گلخانه

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱. وزن خشک ریشه										
۲. وزن خشک اندام هوایی	۰.۹۲ ^{**}									
۳. سطح برگ	-۰.۵۰ ^{ns}	-۰.۶۱ ^{ns}								
۴. هدایت روزنه ای	۰.۷۰ [*]	۰.۶۷ [*]	۰.۰۴ ^{ns}							
۵. عدد SPAD	۰.۳۶ ^{ns}	۰.۱۷ ^{ns}	۰.۲۲ ^{ns}	-۰.۲۹ ^{ns}						
۶. اسیمیلسیون دی اکسید کربن	۰.۷۶ [*]	۰.۶۳ ^{ns}	-۰.۲۳ ^{ns}	-۰.۱۴ ^{ns}	۰.۴۹ ^{ns}					
۷. دمای برگ	-۰.۵۱ ^{ns}	-۰.۶۶ [*]	۰.۱۷ ^{ns}	-۰.۶۴ ^{ns}	۰.۲۳ ^{ns}	-۰.۰۵ ^{ns}				
۸. سرعت تعرق	۰.۳۷ ^{ns}	۰.۳۰ ^{ns}	-۰.۳۹ ^{ns}	-۰.۷۲ [*]	۰.۲۵ ^{ns}	۰.۵۷ ^{ns}	-۰.۳۴ ^{ns}			
۹. میزان تنفس	-۰.۸۰ ^{**}	-۰.۶۷ [*]	۰.۰۱ ^{ns}	-۰.۹۲ ^{**}	-۰.۴۹ ^{ns}	۰.۵۷ ^{ns}	۰.۴۶ ^{ns}	-۰.۲۸ ^{ns}		
۱۰. شاخص حساسیت به تنش	-۰.۹۵ ^{**}	-۰.۹۲ ^{**}	۰.۲۸ ^{ns}	-۰.۸۷ ^{**}	-۰.۲۷ ^{ns}	-۰.۶۲ ^{ns}	۰.۶۵ ^{ns}	-۰.۳۰ ^{ns}	-۰.۸۹ ^{**}	

ns، * و ** - به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

نتیجه گیری

متحمل و حساس به تنش شوری در چغندر قند مورد استفاده قرار گیرد.

قدردانی

بدین وسیله از مدیریت محترم گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت کمک در فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی و فضای مورد نیاز اجرای این آزمایش، قدردانی می‌گردد.

ارزیابی پارامترهای رشد، تنفس، فتوسنتز و فلئورسانس کلروفیل سه رقم چغندر قند تحت تنش شوری تحمل کمتر رقم جلگه و تحمل بیشتر دو رقم دیگر (BR۱ و رسول) را نشان داد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود به دلیل پیچیدگی تنش شوری، جهت غربال ارقام متحمل و حساس چغندر قند در مرحله گیاهچه ای، ترکیبی جامع از پارامترهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده از همبستگی صفات، تجمع ماده خشک ریشه در مرحله گیاهچه ای می‌تواند به عنوان یک صفت مهم در غربال کردن ارقام

منابع

- ۱- حسینی، پ.، ف. مرادی، و م. نبی پور. ۱۳۸۶. غربال کردن ژنوتیپ های برنج برای تحمل به تنش دمایی پایین با استفاده از فلئورسانس کلروفیل. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۹، شماره ۱، صفحات ۳۱-۱۴.
- ۲- دادخواه، ع. ۱۳۸۵. تاثیر تنش شوری بر رشد، ظرفیت فتوسنتز و هدایت روزنه ای برگ در گیاه چغندر قند. دانش کشاورزی. جلد ۱۶، شماره اول، صفحات ۱۵-۲۴.
- ۳- کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۱. اکولوژی گیاهان زراعی. جلد اول، چاپ اول، انتشارات گوتنبرگ، صفحات ۲۰۵-۲۰۳.
- 4- Chaves, M. M., J. Flexas, and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 103: 551-560.
- 5- Cramer, G. R., and R. S. Nowak. 1992. Supplemental manganese improves the relative growth, net assimilation and photosynthetic rates of salt-stressed barley. *Journal of Plant Physiology*. 84:600-605.
- 6- Dadkhah, A., and H. Moghtader. 2008. Growth and Gas Exchange Response of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars Grown Under Salt Stress. *Photosynthesis. Energy from the Sun 14th International Congress on Photosynthesis*. 10.1007/978-1-4020-6709-9-308. Pages1431-1434. Springer Link.
- 7- Fischer, R. A., and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Plant Physiology*. 29:897-912.
- 8- Ghoulam, C., A. Foursy, and K. Fares. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*. 47: 39-50.
- 9- Jamil, M., R. Shafiqand, and E. S. Rha. 2007. Salinity effect on plant growth, PSII photochemistry and chlorophyll content in sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica Oleracea Capitata* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 39(3): 753-760.
- 10- Joao- Correia, M., M. Leonor- Osorio, J. Osorio, I. Barrote, M. Martins, and M. M. David. 2006. Influence of transient shade periods on the effect of drought on photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sunflower leaves. *Environmental and Experimental Botany*. 58:75-84.
- 11- Khan, M. G., M. Silberbush, and S. H. Lips. 1998. Response of alfalfa to potassium, calcium and nitrogen under stress induced by sodium chloride. *Plant Biology*. 40: 251-259.
- 12- Maxwell, K., and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51(345): 659-668.
- 13- Ommen, O. E., A. Donnelly, S. Vanhoutvin, M. Vanoijen, and R. Manderscheid. 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentration and other environmental stress with in 'ESPACE-whaet' project. *European Journal of Agronomy*. 10: 197-203.
- 14- Ort, D. R. 2002. Chilling- induce limitations on photosynthesis in warm climate plants: Contrasting mechanisms. *Environmental Control in Biology*. 40: 7-18.
- 15- Qasim, M., M. Ashraf, M. A. Jamil, M. Y. Ashraf, S. U. Rahman, and E. S. Rha. 2003. Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus*) lines under salt stress. *Annuals of Applied Biology*. 142: 307-316
- 16- Raza, S. H., R. Athar, and M. Ashraf. 2006. Influence of exogenously applied glycinebetaine on the photosynthetic capacity of two differently adapted wheat cultivars under salt stress. *Pakistan Journal of Botany*. 38(2): 241-251.
- 17- Singh, A. K., and R. S. Dobey. 1995. Changes in chlorophyll a and b content and activities of photosystems I, II in

rice seedling induced by NaCl. *Photosynthetica*. 31: 489-499.

- 18- Sultana, N., T. Lkeda, and R. Ltoh. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter. *Experimental Botany*. 42: 211-220.
- 19- Zelatev, Z. S., and I. T. Yordanov. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in Bean plants. *Bulg. J. Plant Physiol.* 30 (3-4): 3-18.