



دانشگاه گواران، رازی و منابع طبیعی گواران

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴

<http://jopp.gau.ac.ir>

اثر ریزگردها بر مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل و خصوصیات فتوسنتزی گیاه نیشکر در اهواز

*ناجی سیاحی^۱، موسی مسکرباشی^۲، پیمان حسینی^۲ و محمود شمیلی^۳

^۱دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، آدانشیار، گروه زراعت و

اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۳استادیار، مرکز تحقیقات نیشکر و صنایع جانبی

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۳

چکیده

سابقه و هدف: نیشکر با نام علمی (*Saccharum officinarum* L.) از تیره گندمیان گیاهی چند ساله و بومی مناطق گرم قاره آسیا می‌باشد. نسبت Fv/Fm تخمینی از حداکثر عملکرد کواتومی فتوسیستم دو است. تحت شرایط تنش، Fv/Fm کاهش می‌یابد، این کاهش به علت فعالیت کم مراکز واکنش فتوشیمیایی دو و کاهش پروتئین‌های مسئول حمل الکترون آب به کلروفیل a می‌باشد. ریزگرد باعث بستن دهانه روزنه شده و باعث افزایش دمای برگ، عدم تهویه مناسب، عدم تعرق و عدم ورود CO₂ به برگ می‌شود، از طرفی تجمع ریزگرد بر گیاه باعث ایجاد حالت سایه بر گیاه می‌شود و فتوسنتز برگ را کاهش می‌دهد. از آنجایی که گیاه نیشکر بیشترین سطح زیر کشت در منطقه دارد، بنابراین مطالعه و بررسی اثر پدیده ریزگرد بر این گیاه در منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش با هدف مطالعه اثرات ریزگرد، در محیط کنترل شده گلخانه مؤسسه تحقیقات نیشکر شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ اعمال گردید. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و چهار تیمار انجام گرفت. تیمارها شامل شاهد (بدون اعمال ریزگرد)، ماهانه یکبار، دو هفته یکبار، هفته‌ای یکبار اعمال ریزگرد بودند. جهت جداسازی و انجام صحیح ریزگرد روی هر تیمار، از چهار پایه فلزی ساخته شده با لوله‌های نیم

*مسئول مکاتبه: sayyahi_n@yahoo.com

اینچ گالوانیزه به ارتفاع ۲ متر، طول ۳ متر و عرض یک متر، استفاده شد. تیمار موردنظر توسط پلاستیک نازک شفاف پوشانده گردید و در دو طرف بالای آن، دو دستگاه فن کار گذاشته شد. برای کاشت، از قلمه‌های رقم CP69-1062 استفاده گردید. در این آزمایش، صفات Fv/Fm (بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با تاریکی)، NPQ (خاموشی غیرفتوشیمیایی)، qP (خاموشی فتوشیمیایی)، Φ_{PSII} (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با نور)، عدد SPAD، آهنگ فتوستتز، غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای، شار تعرق، دمای برگ و PAR، آسکوربیت، نشت الکترولیت و درصد قند محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ریزگرد باعث کاهش مقادیر Fv/Fm ، qP، Φ_{PSII} ، آهنگ فتوستتز، شار تعرق، غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای، PAR و مقدار قند شد ولی مقادیر NPQ، عدد SPAD و درجه حرارت برگ را افزایش داد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رسانایی روزنه‌ای با فتوستتز، تعرق و CO_2 زیر روزنه‌ای مشاهده شد، که نشان از محدودیت روزنه‌ای در ورود گازها به درون سلول داشت. در شرایط شدت نور کم در اثر اعمال ریزگردها، تولید قند کاهش معنی‌داری نشان داد. نتایج نشان داد که qP همبستگی بالایی با Fv/Fm نشان داد، لذا کاهش qP سبب کاهش Fv/Fm شد.

نتیجه‌گیری: در اثر تنش ریزگرد و کاهش ظرفیت کینون A، انتقال الکترون به فتوسیستم یک کاهش یافت و باعث اتلاف انرژی نورانی جذب شده به شکل فلئورسانس گردید و در واقع در جریان برانگیختگی کلروفیل، NPQ بر qP غلبه داشت و لذا عملکرد کوانتومی فتوستتز، کاهش و دمای برگ به سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش یافت و تلفات انرژی به شکل نور و گرما، افزایش پیدا کرد. کاهش قند به این دلیل است که بسیاری از آنزیم‌های درگیر در احیای قندها طی چرخه کالوین صرفاً با شدت نور مناسب، فعال می‌گردند. با توجه به این‌که مؤلفه Fv/Fm بیشترین همبستگی را با اغلب صفات مورد بررسی طی تنش نشان داد، لذا می‌توان از آن به همراه qP و NPQ به عنوان شاخص‌های بررسی گیاه نیشکر تحت تنش ریزگرد بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو، خاموشی فتوشیمیایی، خاموشی غیرفتوشیمیایی

مقدمه

نیشکر با نام علمی (*Saccharum officinarum* L.) از تیره گندمیان گیاهی چند ساله و بومی مناطق گرم قاره آسیا می‌باشد. نیشکر قوی‌ترین گیاه زراعی در تبدیل انرژی خورشیدی به ماده خشک گیاهی است که جهت این عمل احتیاج به نور فراوان دارد (۱۸). ریزگرد می‌تواند اثرات زیان‌باری به دلیل کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاهان به‌ویژه نیشکر و هم‌چنین ورود نمک و شور کردن اراضی ایجاد نموده و باعث آسیب‌رسانی به بافت‌های گیاهی شود. ریزگرد باعث افزایش فرسایش، پر شدن کانال‌های آبرسانی شده و ممکن است عوامل بیماری‌زا به‌همراه داشته باشد (۲۹). 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 به واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش صورت می‌گیرد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش به‌علت جلوگیری از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (۵). غلظت بالای ریزگردها و آلوده‌کننده‌ها باعث کاهش زیاد در قدرت فتوسنتزی برگ‌ها، بستن روزنه‌های برگ‌ها و به‌طور عمده باعث کاهش در رشد و تولید گیاهان و از جمله گیاه بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) می‌گردد (۲۱).

غبار عبارت است از افزایش ذرات جامد معلق در جو است، به‌طوری که موجب تیرگی نسبی هوا شده و میزان دید افقی یا دید عمودی را کاهش می‌دهد، اما جو زمین در تعامل دائم با خشکی‌ها و اقیانوس‌ها بوده و بنابراین جو پاک بدون ذرات معلق جامد عملاً وجود ندارد (۱۰). پاسخ زیستی گیاهان به آلودگی هوا بستگی به تعدادی از عوامل از جمله مرحله رشدی گیاه و شرایط محیطی دارد (۱۶). انرژی فوتون جذب شده توسط رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی برای واکنش‌های فتوشیمیایی اصلی به‌کار می‌رود. تبدیل انرژی به‌طور معمول با کارایی بیش از ۹۰ درصد از کوانتوم جذب شده انجام می‌شود. سیگنال فلورسانس به‌راحتی قابل اندازه‌گیری است و اجزای مختلف فلورسانس، از جمله خاموشی فتوشیمیایی و غیر فتوشیمیایی را می‌توان با ابزار مناسب اندازه‌گیری کرد. به کمک و با استفاده از این متغیرها، جنبه‌های متعددی از فرایند فتوسنتز را می‌توان تجزیه و تحلیل کرد. فلورسانس کلروفیل a به‌ویژه در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها، هر چند مربوط به کسر بسیار کوچکی از انرژی تلف شده از دستگاه فتوسنتزی است، اما به‌طور گسترده‌ای برای ارائه درک صحیحی از ساختار و عملکرد دستگاه

فتوستتزی پذیرفته شده است. براساس یک قاعده کلی در دمای اتاق، فلورسانس کلروفیل a گیاهان در منطقه طیفی ۶۸۰-۷۴۰ نانومتر، تقریباً به‌طور انحصاری توسط فتوسیستم دو منتشر می‌شود (۲۴). نسبت Fv/Fm تخمینی از حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو است. تحت شرایط تنش، Fv/Fm کاهش می‌یابد، این کاهش به‌علت فعالیت کم مراکز واکنش فتوشیمیایی دو و کاهش پروتئین‌های مسئول حمل الکترون آب به کلروفیل a می‌باشد (۲۴). حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو یا Fv/Fm به‌طور گسترده برای تشخیص اختلالات ناشی از تنش در دستگاه فتوستتزی استفاده شده است، کاهش در Fv/Fm می‌تواند به‌دلیل توسعه فرایندهای کاهشی و خسارت نوری به مراکز واکنشی فتوسیستم دو باشد (۶).

تحت شرایط تنش، گیاهان می‌توانند راهبردهای حفاظتی فتوسیستم دو را که انرژی برانگیخته اضافی را در طی مراحل غیر فتوشیمیایی وارد کند، فعال نمایند (۷)، گرچه مراحل انرژی خاموشی (فتوشیمیایی و غیر فتوشیمیایی) رقابتی هستند، به‌این معنی که کاهش در یکی باعث افزایش در دیگری می‌شود. با قرار گرفتن کوتاه مدت برگ زیتون (*Olea europaea* L.) در معرض ریزگرد، عملکرد فیزیولوژیکی آن، دستخوش تغییرات زیادی گردید و تولید درخت زیتون را تحت تأثیر قرار داد (۳۲). به‌کارگیری ریزگرد بر برگ‌های پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) باعث کاهش فعالیت فیزیولوژی در آن‌ها گردید (۳).

در گیاهان رابطه مثبت بین فتوستتز خالص و CO_2 زیر روزنه‌ای وجود دارد. وجود رابطه خطی بین فتوستتز خالص و هدایت روزنه‌ای، بیان می‌دارد که محدودیت روزنه‌ای برای نسبت فتوستتز خالص مهم است. محدودیت‌های غیر روزنه‌ای فتوستتز نقش مهم‌تری در گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهان شاهد دارند (۴). محدودیت غیر روزنه‌ای و کاهش فتوستتز در اثر آلودگی هوا باعث کاهش درصد قند و محتوای کربوهیدرات‌ها گردید (۱). با توجه به این‌که اندازه ذرات ریزگردهای اندازه‌گیری شده بین ۰/۱ میکرومتر تا ۵۳/۲۳ میکرومتر قرار دارد، این ذرات باعث بستن دهانه روزنه که حدود ۵ تا ۷ میکرومتر است، شده و همچنین باعث افزایش دمای برگ، عدم تهویه مناسب، عدم تعرق و عدم ورود CO_2 به برگ می‌شود، از طرفی تجمع ریزگرد بر گیاه باعث ایجاد حالت سایه بر گیاه می‌شود و فتوستتز برگ را کاهش می‌دهد.

با توجه به تکرار شرایط ریزگرد در منطقه اهواز به تعداد چندین بار در هر سال و نیز توجه به دوره وقوع آن (از یک یا چند روز در هر پدیده گرد و غبار)، نیاز به بررسی اثرات دقیق‌تر آن پدیده

روی گیاهان زراعی، ضروری است. از آنجایی که گیاه نیشکر با سطح زیر کشت بیش از ۵۰ هزار هکتار در این منطقه طی دوازده ماه سال در حال رشد می‌باشد، اثرات نامطلوب محیطی می‌تواند موجب خسارت به محصول تولیدی شوند، بنابراین مطالعه و بررسی اثر پدیده ریزگرد بر این گیاه در منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با هدف مطالعه اثرات ریزگرد، در محیط کنترل شده گلخانه واقع در مؤسسه تحقیقات نیشکر شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ با مختصات ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و ۵۶ ثانیه طول شرقی و ۸/۸ متر ارتفاع از سطح دریا و در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد انجام شد. در این آزمایش، ریزگرد در دوره‌ها و غلظت‌های مختلف به صورت کنترل شده اعمال گردید.

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و چهار تیمار انجام گرفت. تیمارها شامل شاهد (بدون اعمال ریزگرد)، ماهانه یک‌بار، دو هفته یک‌بار، هفته‌ای یک‌بار اعمال ریزگرد بودند. زراسوندی و همکاران گزارش نمودند که عمده مینرالوژی ذرات گرد و خاک شامل کوارتز، کلسیت و کائولینت و کمترین فراوانی مربوط به گچ بوده است و اندازه ریزگردها بین ۰/۱ میکرومتر تا ۵۳/۲۳ میکرومتر قرار دارد. مواد اولیه طبیعی تیمارها در مدت یک‌سال توسط سینی‌های لبه‌دار (به مساحت ۰/۵ مترمربع) و بسترهای پلاستیکی (۱×۴ مترمربع) تعبیه شده در نقاط مختلف مورد کشت نیشکر در موقع بروز هر پدیده طبیعی ریزگرد، جمع‌آوری شده و از آن در آزمایش حاضر استفاده شد. در هر مرحله ریزگرد پاشی مقدار ۶۰ گرم از آن بر تیمار اعمال گردید. برای تهیه تله‌های ریزگرد^۱ از یک جعبه شیشه‌ای که سطح مقطع آن معادل ۶۲۴ سانتی‌متر مربع و دقیقاً به اندازه ابعاد یک صفحه کاغذ A4 بود، استفاده شد. پس از وقوع هر پدیده ریزگرد کاغذ A4 که قبلاً وزن آن مشخص گردیده بود، از تله خارج و وزن شد، از این رو مقدار ریزگرد در سطح ۶۲۴ سانتی‌متر مربع تعیین شد. برای محاسبه مقدار ریزگرد به‌کار برده شده در هر دوره اعمال تیمار از داده‌های ریزش ریزگرد در منطقه مورد بررسی استفاده شد. لازم به ذکر است، داده‌های اشاره شده با استفاده از تله‌های ریزگرد که در مناطق مختلف تعبیه شده بود، به‌دست آمد. وزن ریزگرد پس از کسر وزن کاغذ مقدار ۱/۲۵ گرم بود، لذا مقدار ریزگرد در ۳

1- Dust trap

مترمربع، ۶۰ گرم محاسبه گردید. وزن ۶۰ گرم بر مترمربع ریزگرد به دو قسمت ۳۰ گرمی تقسیم شده و در دو طرف چهار چوب فلزی و روی پره هر کدام از فن‌ها استفاده شد.

جهت اعمال ریزگرد، تیمار موردنظر از تیمارهای دیگر جدا و ایزوله گردید. جهت جداسازی و انجام صحیح ریزگرد روی هر تیمار، از چهار پایه فلزی ساخته شده با لوله‌های نیم اینچ گالوانیزه به ارتفاع ۲ متر، طول ۳ متر و عرض یک متر، استفاده شد. تیمار موردنظر توسط پلاستیک نازک شفاف پوشانده گردید و در دو طرف بالای آن، دو دستگاه فن کار گذاشته شد تا ریزگرد را به نسبت مساوی روی تمام تیمار منتشر نماید. در مدت ۲۴ ساعت اعمال ریزگرد، تمام منافذ خروجی بسته شد تا هیچ ریزگردی به بیرون راه پیدا نکند. تغذیه ریزگرد از طریق پشت پره دستگاه فن صورت گرفت و با سرعت و یکنواختی متعادل بر محیط تیمار اعمال شد. بعد از ۲۴ ساعت پلاستیک را کنار زده و اقدام به شستن و غبارزدایی پلاستیک گردید، تا اثر ریزگرد اعمال شده در هر تیمار بر تیمار دیگر منتقل نشود. جهت اجرای این مرحله، از گلدان‌های ۲۵ لیتری پلاستیکی استفاده شد. برای زهکشی و خروج زه آب، تعداد ۵ منفذ در انتهای گلدان‌ها ایجاد گردید، ۹ سانتی‌متری پایین گلدان‌ها شن ۳/۴ اینچ شکسته قرار داده شد و سپس یک لایه یک سانتی‌متری ماسه نرم روی آن ریخته شد. روی ۱۰ سانت مذکور، خاک زراعی و فیلترکیک^۱ به نسبت ۲ به یک مخلوط شده و اضافه گردید. فیلترکیک یکی از فرآورده‌های جانبی صنعت قند است که از بخش فیلتراسیون شربت نیشکر به دست می‌آید و غنی از مواد معدنی و آلی است. میزان مواد معدنی موجود در فیلترکیک در حد خیلی از کودهای آلی تجاری است و به لحاظ تنوع مواد ترکیبی ترکیب بسیار ایده‌آلی است. از سوی دیگر با نگاهی به ترکیبات فیلترکیک وجود مقدار بالایی از کربن در آن به تخلیه سریع محتوای نیتروژنی خاک منجر می‌شود ولی بعد از مدتی آزادسازی ترکیبات نیتروژنی به‌ویژه به شکل آلی و کم‌تحرک آغاز می‌شود و در صورت وجود شرایط مناسب جذب به‌ویژه تهویه مناسب و عدم آب‌ماندگی یا رطوبت دائم در خاک امکان جذب بسیاری از این ترکیبات آلی نیتروژنی برای گیاه نیشکر فراهم می‌شود، حدود ۲۰ الی ۳۰ تن فیلترکیک در هکتار هنگام تهیه زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳).

برای کاشت، از قلمه‌های وارپته CP69-1062 که از نی‌زار کشت و صنعت امیرکبیر تهیه شد، استفاده گردید. قلمه‌های تک‌جوانه‌ای و به طول ۷-۵ سانتی‌متر انتخاب شد. برای اطمینان از جوانه‌زنی قلمه‌ها در شرایط مرطوب درون آون با دمای ۳۰ درجه به مدت ۳ روز نگهداری شدند. سپس قلمه‌های جوانه‌زده مشابه از نظر شکل جوانه، انتخاب و در هر گلدان چهار قلمه تک‌جوانه‌ای با عمق کاشت ۴

1- Filtercake

سانتی متر کشت گردید. کود پایه سوپر فسفات تریپل به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در کنار قلمه‌ها اعمال گردید و چون تراکم هر هکتار نیشکر ۱۲۰/۰۰۰ بوته است، بنابراین برای هر بوته ۲ گرم و در هر گلدان ۸ گرم به کار برده شد.

در این آزمایش، صفات Fv/Fm (بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با تاریکی)، NPQ (خاموشی غیرفتوشیمیایی)، qP (خاموشی فتوشیمیایی)، Φ_{PSII} (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار با نور) با دستگاه فلوروسنج^۱ (مدل Hamsa tech ساخت انگلستان)، عدد $SPAD$ توسط دستگاه کلروفیل سنسج (مدل SPAD-502 ساخت ژاپن)، آهنگ فتوستنز، غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای توسط دستگاه اندازه‌گیری فتوستنز مدل^۲ ADC, LCA-4 ساخت انگلستان، شار تعرق، دمای برگ و PAR توسط پرومتر^۳ مدل AP4-T ساخت انگلستان، آسکوربیت توسط روش تیتراسیون (۱۷)، اندازه‌گیری درصد نشت الکترولیت توسط روش لوتس و همکاران (۲۶) و درصد قند بوسیله روش شلیگل (۲۸) محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده نشان داد که ریزگردها باعث کاهش مقادیر Fv/Fm ، qP ، Φ_{PSII} ، آهنگ فتوستنز، شار تعرق، غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای، PAR و مقدار قند شد ولی مقادیر NPQ ، عدد $SPAD$ و درجه حرارت برگ را افزایش داد (جدول ۱ و ۲). Fv/Fm از ۰/۷۶۷ به ۰/۵۵۸، Φ_{PSII} از ۰/۶۳۲ به ۰/۰۵۳، qP از ۰/۷۰۵ به ۰/۱۷۷، آهنگ فتوستنز از ۷۰/۲۲۵ به ۸/۹۷۵ میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه و PAR از ۱۲۶/۱۲۵ به ۰/۲۴۵ میکرو مول فوتون بر مترمربع بر ثانیه به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار هر هفته ریزگرد کاهش یافت. در اثر اعمال ریزگردها NPQ از ۰/۱۷۰ به ۰/۶۶۷ و دمای برگ در اثر اعمال ریزگردها از ۳۰/۸۷۵ به ۴۱/۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار هر هفته ریزگرد افزایش نشان داد (جدول ۲).

1- Chlorophyll fluorometer

2- Leaf chamber analysis

3- Porometer

جدول ۱- میانگین مربعات صفات مورد بررسی.

Table 1. Analysis of variance for measured traits.

تعرق Transpiration	فتوسنتز Photosynthesis	SPAD	Φ_{PSII}	qP	NPQ	Fv/Fm	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات Source of variation
5.14 ^{ns}	0.437 ^{ns}	3.02 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	3	بلوک Block
10098.98 ^{**}	3019.75 ^{**}	14.45 ^{**}	0.28 ^{**}	0.245 ^{**}	0.17 ^{**}	0.03 ^{**}	3	تیمار Treatment
12.34	2.54	1.72	0.003	0.001	0.0001	0.001	9	خطا Error
							15	کل Total
4.61	5.34	3.48	16.87	7.06	3.16	4.7		ضریب تغییرات Coefficient of variation

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} غیر معنی دار.

** Significant at P=0.01 level, * Significant at P=0.05 level, ^{ns} Nonsignificant

ادامه جدول ۱- میانگین مربعات صفات مورد بررسی.

Table 1. Analysis of variance for measured traits of Continuation.

WUE	رسانایی روزنه‌ای Stomata conductivity	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	آسکوربیت ascorbate	درصد قند sugar	PAR	CO2 زیر روزنه	دمای برگ Leaf temperature	منابع تغییرات Source of variation
0.0597 ^{ns}	0.352 ^{ns}	6.568 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.09 [*]	5145.5 ^{ns}	0.27 ^{ns}	2.07 [*]	بلوک Block
65.83 ^{**}	2749.407 ^{**}	367.186 ^{**}	0.0047 ^{**}	4.86 [*]	12341.71 [*]	15480.11 ^{**}	74.735 ^{**}	تیمار Treatment
0.071	1.576	7.647	0.0005	0.03	3055	0.28	0.65	خطا Error
4.98	4.8	10.5	4.4	5.80	9.02	1.67	2.22	ضریب تغییرات Coefficient of variation

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ^{ns} غیر معنی دار.

** Significant at P=0.01 level, * Significant at P=0.05 level, ^{ns} Nonsignificant

جدول ۲ - مقایسه میانگین صفات مورد بررسی.

Table 2. Mean comparison of measured traits.

WUE (%)	رسایی روزنهای (mol m ⁻² s ⁻¹)	نشت الکترولیت (mg l ⁻¹)	آسکوربیت (mg l ⁻¹)	درصد قند (%)	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	CO ₂ زیر روزنه (μmol m ⁻² s ⁻¹)	مدای برگ °C	تغرق (mol m ⁻² s ⁻¹)	فوتوسنتز (μmol m ⁻² s ⁻¹)	SPAD	Φ _{psii}	qp	NPQ	Fv/Fm	تیمار Treatment
6.18 ^a	65.1 ^a	14.860 ^c	0.127 ^d	3.907 ^a	674.25 ^a	126.125 ^a	30.875 ^d	15.375 ^a	70.225 ^a	32.920 ^c	0.632 ^a	0.652 ^a	0.170 ^d	0.767 ^a	شاهد Control
5.642 ^b	16.075 ^b	24.328 ^b	0.146 ^c	6.637 ^a	640.75 ^{ab}	0.282 ^b	35.475 ^c	62.425 ^b	22.300 ^b	34.270 ^c	0.500 ^b	0.705 ^a	0.382 ^b	0.670 ^b	هر ماه بزرگرد Monthly dust
5.015 ^c	14.625 ^b	27.220 ^b	0.185 ^b	3.125 ^b	586.50 ^{ab}	0.275 ^b	37.500 ^b	51.650 ^c	17.938 ^c	38.650 ^b	0.195 ^c	0.370 ^b	0.332 ^c	0.656 ^b	هر دوهفته بزرگرد Every two weeks for dust
3.65 ^d	8.525 ^c	38.128 ^a	0.202 ^a	1.450 ^c	549.50 ^b	0.245 ^b	41.250 ^a	40.425 ^d	8.975 ^d	44.800 ^a	0.053 ^d	0.177 ^c	0.667 ^a	0.558 ^c	هر هفته بزرگرد Weekly dust exposure

*Mean in each column followed by similar letter(s) is not significantly different at 1% probability level, using test tukey.

**هر ستون حرف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد به روش توکی می باشد.

Fv/Fm= The maximum quantum yield of photosystem two, Φ_{psii}= Quantum Performance Lighting, SPAD= Chlorophyll content, PAR= Photosynthetically active radiation, NPQ= Non photochemical quenching, qp= Photochemical quenching, WUE= Water use efficiency

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رسانایی روزنه‌ای با فتوستتوز، تعرق و CO_2 زیر روزنه‌ای ($r=0/99$) مشاهده شد (جدول ۳)، که نشان از محدودیت روزنه‌ای در ورود گازها به درون سلول داشت. همچنین همبستگی منفی و بالایی ($r=-0/92$) بین Fv/Fm با qP و درجه حرارت برگ وجود داشت، این نتایج با نتایج آزمایش گیوجنتی و همکاران (۱۱) با بررسی بر فیتوپلانکتون‌ها، مطابقت داشت (جدول ۳). کاهش Fv/Fm در نتیجه فرایندهای کاهش و خسارت نوری به مراکز واکنش فتوسیستم دو ناشی از اعمال ریزگرد می‌باشد، که هر دو باعث کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو گردیدند. رسولی و همکاران (۲۷) با تحقیق بر کلزا نتایج مشابهی ارائه دادند و همچنین این نتایج با نتایج تحقیقات آنجلس و همکاران (۱۶) بر برگ‌های کاهو، مطابقت داشت.

در این آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌داری بین qP و Fv/Fm ($r=0/78$) مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به دست آمده، تنش ریزگرد سبب کاهش معنی‌دار PAR ، هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب فتوستتزی (WUE) گردید (جدول ۲). نتایج جدول ۳ همبستگی بالایی میان WUE ، رسانایی روزنه‌ای و فتوستتوز ($r=0/99$) را نشان داد. از طرفی کاهش آهنگ فتوستتوز و رسانایی روزنه‌ای طی تنش ریزگرد سبب کاهش تولید انرژی فتوشیمیایی (ATP و $NADPH$) توسط واکنش‌های نوری فتوستتوز می‌شود. در نتیجه به نظر می‌رسد فعالیت چرخه کالوین و احیای قندها به شدت کاهش می‌یابد. از طرفی qP همبستگی بالایی با Fv/Fm نشان داد (جدول ۳)، لذا کاهش qP که نشان دهنده کارکرد فتوشیمیایی دستگاه فتوستتزی است و ارتباط مستقیمی با تولید ATP و $NADPH$ به‌عنوان گیرنده‌های اصلی الکترون‌های برانگیخته در چرخه روشنایی دستگاه فتوستتزی دارد، سبب کاهش Fv/Fm شده و در شرایطی که تولید حامل‌های انرژی (ATP و $NADPH$) کاهش می‌یابد، به‌طور هم‌زمان اتلاف حرارتی (NPQ) انرژی افزایش می‌یابد.

Φ_{PSII} نشانگر عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط روشنایی است و تخمینی از کارایی جذب نور به‌وسیله آنتن فتوسیستم دو برای فرآیندهای فتوشیمیایی (احیای کینون A) می‌باشد، در اثر تنش ریزگرد و کاهش ظرفیت کینون A ، انتقال الکترون به فتوسیستم یک کاهش یافت و باعث اتلاف انرژی نورانی جذب شده به شکل فلئورسانس گردید و در واقع در جریان برانگیختگی کلروفیل، NPQ بر qP غلبه داشت و لذا عملکرد کوانتومی فتوستتوز، کاهش و دمای برگ به سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش یافت و تلفات انرژی به شکل نور و گرما افزایش پیدا کرد (جدول ۲). لی و همکاران (۲۲) با مطالعه بر توتون به نتایج مشابهی دست یافتند. حسینی و همکاران (۱۴) بیان داشتند که NPQ معیاری از میزان اتلاف انرژی نوری به‌صورت گرما در جریان کارکرد فتوسیستم دو می‌باشد.

در شرایط شدت نور کم در اثر اعمال ریزگردها، تولید قند کاهش معنی‌داری نشان داد، زیرا بسیاری از آنزیم‌های درگیر در احیای قندها مانند ریبولوز دی فسفات کربوکسیلاز، NADP- گلیسر آلدئید- ۳-P دی هیدروژناز، فروکتوز دی فسفات فسفاتاز، سدو هپتولوز دی فسفات فسفاتاز، فسفو ریبولوکیناز طی چرخه کالوین صرفاً با شدت نور مناسب، فعال می‌گردند (۲۰). غلظت بالای آلودگی هوا باعث کاهش میزان اشعه فتوسنتزی در سطح تاج می‌گردد، از سوی دیگر آلودگی باعث افزایش انتشار PAR می‌شود و انتشار PAR می‌تواند باعث انتشار نور به داخل تاج شود و لذا فتوسنتز در شرایط آلودگی جوی ادامه می‌یابد (۳۱).

در اثر تنش ریزگرد میزان تعرق از ۱۵۰/۳۷۵ به ۴۰/۴۲۵ و غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای از مقدار ۳/۹۷ به ۱/۴۵ میلی‌مول بر مترمربع در ثانیه به ترتیب از تیمار شاهد به تیمار هر هفته اعمال ریزگرد کاهش یافت (جدول ۲). هم‌چنین همبستگی زیادی بین شدت تعرق و غلظت CO₂ زیر روزنه ($r=0/66$) وجود داشت (جدول ۳)، زیرا در اثر تنش ریزگردها، روزنه‌های برگ بسته شدند و تعرق و مبادله گرمایی و تبادل CO₂ کاهش یافت، در نتیجه سرعت فتوسنتز کاهش و دمای برگ افزایش یافت (۱۲). همبستگی مثبت ($r=0/99$) بین فتوسنتز و تعرق وجود داشت. هم‌چنین همبستگی منفی ($r=-0/89$) بین دمای برگ و CO₂ زیر روزنه‌ای وجود داشت (جدول ۳)، این نتایج با گزارش تحقیقات هیرانو و همکاران (۱۵) روی خیار و لوبیا قرمز و مطالعات آندرو (۲) بر رشد رویشی چچم، مطابقت داشت.

هم‌چنین همبستگی مثبت ($r=0/84$) بین نسبت Fv/Fm و شدت تعرق و همبستگی مثبت بین Fv/Fm و CO₂ زیر روزنه‌ای ($r=0/86$) وجود داشت، زیرا شدت تعرق بستگی به باز بودن شکاف روزنه دارد و در اثر بسته شدن روزنه ناشی از ریزگرد ورود CO₂ محدود شده و افت عملکردی مراحل فتوسنتز رخ می‌دهد، که شامل عملکرد فتوسیستم دو و Fv/Fm می‌باشد، لذا Fv/Fm کاهش می‌یابد، یعنی هیچ‌گونه فلورسانس متغیری بعد از این صورت نمی‌گیرد (۱۳).

عدد SPAD در اثر اعمال ریزگرد از ۳۲/۹۷ در تیمار شاهد به ۴۴/۸ در تیمار هفتگی ریزگرد افزایش یافت (جدول ۲)، زیرا ریزگرد از نفوذ نور به سطح و داخل برگ ممانعت کرده و با کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی، ابعاد سلول کاهش یافته و لذا تراکم کلروپلاست در واحد سطح برگ افزایش یافت، این نتیجه با نتایج تحقیقات لمباردینی و همکاران (۲۵) با مطالعه بر تأثیر ریزگردها روی گردوی آمریکایی مطابقت داشت.

تنش ریزگردها باعث کاهش مقادیر قندها شد، به طوری که مقادیر قند از ۶۷۴/۲۵ در تیمار شاهد به ۵۴۹/۵۰ در تیمار ریزگرد هفتگی کاهش یافت (جدول ۲). نتایج به دست آمده با نتایج تحقیقات عبدالرحمن و همکاران (۱) با مطالعه بر گیاهان *Salsola tetandra*, *Zygophyllum coccineum*, *Suaeda vermiculata*, *Cyperus conglomerate* فتوستتوز و تعرق همبستگی یکسان، مثبت و معنی دار ($r=0/48$) داشت. این همبستگی نشان می‌دهد که با کاهش سرعت فتوستتوز و شدت تعرق، تولید قند کاهش می‌یابد. در شرایط تنش ریزگرد و کاهش شدید نور، فعالیت بسیاری از آنزیم‌های شرکت کننده در ساخت و ساز قندها که به وسیله نور فعال می‌شوند، مختل می‌شود. در حضور نور و در مسیر احیایی پنتوز فسفات، آنزیم‌های مختلفی مانند ریبولوز دی فسفات کربوکسیلاز، NADP- گلیسر آلدئید-۳-P دی هیدروژناز، فروکتوز دی فسفات فسفاتاز، سدو هپتولوز دی فسفات فسفاتاز، فسفو ریبولو کیناز فعال می‌شوند. در صورت وجود شرایط ریزگرد و کمبود نور آنزیم‌های ذکر شده غیرفعال می‌شوند و مسیر احیایی پنتوز فسفات و چرخه کالوین در شرایط عدم حضور نور کاهش و یا غیر فعال می‌گردد و در نتیجه ATP و NADPH تولید شده به وسیله مراحل تنفسی، مصرف نمی‌شوند (۲۰).

در شرایط تنش ریزگرد همبستگی مثبت و معنی دار ($r=0/85$) بین سرعت فتوستتوز و نسبت Fv/Fm دیده شد (جدول ۳)، یعنی با کاهش سرعت فتوستتوز مقدار Fv/Fm نیز کاهش یافت، زیرا کاهش فتوستتوز باعث کاهش تولید انرژی فتوشیمیایی (ATP و NADPH) شد.

در شرایط تنش ریزگرد، با کاهش Fv/Fm، NPQ افزایش یافت. نتایج نشان داد که بین Fv/Fm و NPQ همبستگی منفی و معنی داری ($r=-0/92$) وجود داشت (جدول ۳)، زیرا با کاهش مصرف NADPH در چرخه کالوین به واسطه کاهش فعالیت آنزیم‌های وابسته به نور برای احیای قندها، فرودکسین که در زنجیره انتقال الکترون به عنوان یک میدان توزیع الکترون عمل می‌نماید، به دلیل ادامه واکنش‌های نوری علی‌رغم توقف چرخه کالوین، الکترون‌های خود را به جای $NADP^+$ به آب و O_2 منتقل می‌نماید و سبب احیای آن‌ها و تولید پراکسید هیدروژن و سوپراکسید می‌شود. به نظر می‌رسد تولید این گونه‌های اکسیژن واکنشگر (ROS) به عنوان یک مسیر سیگنال‌دهی سبب افزایش بیوستتوز آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی و غیر آنزیمی مانند آسکوربیت در گیاه می‌گردد.

نتایج این آزمایش نیز حاکی از افزایش آسکوربیت، نشت الکترولیت و NPQ طی تنش بود (جدول ۲). با ادامه تولید ROS، غشاهای فیزیولوژیک مورد هجوم قرار می‌گیرند، خسارت وارده به

غشای تایلاکوئید و عدم کارایی پمپ‌های ATP علاوه بر کاهش تولید انرژی فتوشیمیایی (qP) طی تنش سبب افزایش تجمع H^+ در تایلاکوئید می‌شود. با کاهش pH در تایلاکوئید، آسکوربیت سبب فعال شدن آنزیم دی‌اپوکسیداز در چرخه زانتوفیل می‌گردد. تولید ROS سبب تخریب بسیاری از ماکرومولکول‌ها مانند کلروفیل‌ها و غیره (پروتئین‌ها، اسیدهای چرب و ...) می‌شود (۳۰).

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش با تکرار وقوع پدیده ریزگرد، اغلب صفات مورد مطالعه با Fv/Fm دارای همبستگی معنی‌دار بودند. در میان این صفات، افزایش NPQ، عدد SPAD و دمای برگ سبب کاهش Fv/Fm شد. نتایج نشان داد که طی تنش ریزگرد با شدت وقوع هر هفته یک‌بار، کمترین مقدار Fv/Fm حاصل گردید. از طرفی کاهش qP طی تنش تولید قند را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. به احتمال زیاد به‌نظر می‌رسد تنش ریزگرد اثر معنی‌دار بر فعالیت چرخه کالوین به‌ویژه دوباره‌سازی RUBP بر جای می‌گذارد. از طرفی با کاهش مصرف NADPH، عدم مصرف الکترون‌ها از میدان توزیع فرودوکسین، تولید ROS و به تبع آن خسارت به غشاهای فیزیولوژیک افزایش می‌یابد، که بالا رفتن فعالیت چرخه زانتوفیل از طریق مؤلفه NPQ مویده آن می‌باشد (۱۹). با توجه به این‌که مؤلفه Fv/Fm بیشترین همبستگی را با اغلب صفات مورد بررسی طی تنش نشان داد، لذا می‌توان از آن به‌همراه qP و NPQ به‌عنوان شاخص‌های بررسی گیاه نیشکر تحت تنش ریزگرد بهره‌گرفت.

سپاسگزاری

نگارندگان از سرکار خانم مهندس سارا راه‌داریان مسئول آزمایشگاه گیاهی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، کارشناسان مؤسسه تحقیقات نیشکر و صنایع جانبی به‌خاطر کمک در اجرای آزمایش و نیز از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌خاطر پذیرش بخشی از هزینه‌ها، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Abdel-Rahman, A.M., and Ibrahim, M.M. 2012. Effect of cement particulate on ecophysiological behaviors of halophytes in the salt marshes of sea. Amer. Eur. Agri. Environ. Sci. 12(4): 490-498.

2. Andrew, M.F. 1993. The effects of dust on vegetation. *Environ. Pollut.* 79: 3-75.
3. Armbrust, D.V. 1986. Effect of Particulates (Dust) on Cotton Growth, Photosynthesis and Respiration. *Agron.* 76: 1078-1081.
4. Ashenden, T.W., and Williams, I.A.D. 1980. Growth reduction in *Lolium multiflorum* L., and *Phleum pratense* L. as a result of sulphur dioxide and nitrogen dioxide pollution. *Environ. Pollut.* 21: 131-139.
5. Ashraf, M., and Harris, P.J.C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance In plants. *Plant Sci.* 166: 3-16.
6. Baker, N.R., and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Exp. Bot.* 55: 1607-1621.
7. Casper, C., Eickmeier, W.G., and Osmond, C.B. 1993. Changes of fluorescence and Xanthophylls pigments during dehydration in the resurrection plant *Selaginella lepidophylla* in low and medium light intensities. *Oecolog.* 94: 528-533.
8. Christiaens, M. 2012. Combined effects of heat and cadmium toxicity on *Populus (Canadensis robusta)*. *Bio-genieurswetenschappen. Academiejaar.* 94p.
9. Demmig, A.B. 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature, uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Plant.* 198: 460-470.
10. Gharineh, M.H., Torki, A., and Edalat, T. 2011. Green belt, a strategy to fight air pollution and dust. First International Congress of dust and deal with its devastating onsequences. 15-18 Feb. 2011, University Ramin Agriculture and Natural Resources, Ahwaz, Iran. (In Persian)
11. Giovagnetti, C., Brunet, F., Conversano, F., Tramontano, I., Obernosterer, C.R. and Guieu, C. 2011. Assessing the role of dust deposition on phytoplankton ecophysiology and succession in a low-nutrient low-chlorophyll ecosystem: a mesocosm experiment in the Mediterranean Sea. *Biogeosci.* 10: 2973–2991.
12. Glaz, B., Dolen, R.M., and Samira, H.D. 2004. Sugarcane Photosynthesis, Transpiration and Stomatal Conductance Due to Flooding and Water Table. *Crop. Sci.* 44: 1633–1641.
13. Goldani, M., Rezvani Mogahddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2011. Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea may* L.) on response to different densities. *Plant. Prod.* 18(1): 1-28. (In Persian)
14. Hassibi, P., Moradi, F., and Nabipour, M. 2007. Screening of rice genotypes for tolerance to low temperature- using chlorophyll fluorescence. *Iranian. J. Crop Sci.* 9(1): 14-31. (In Persian)
15. Hirano, T., Kiyota, M., and Aiga, I. 1995. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants. *Environ. Pollut.* 89(3): 255-61.

16. Inglis, F., and Hill, D.J. 1974. The effects of sulphite and fluoride on carbon dioxide uptake by mosses in light. *New Phyt.* 73: 1207-1213.
17. Jasmes, F.H., Donald, M.W., and Douglas, A.S. 1992. *Fundamentals of analytical chemistry*. Sixth edition. Saunders college publishing. Chem. Educ. 69(11): 305-307.
18. Khajepour, M.R. 2004. *Industrial Plants*. Jahad Daneshgahi of Isfahan Industrial Uni. Press, 571p. (In Persian)
19. Kiamoghadam, M.R., and Bagheri-Najjar, M.B. 2009. Analysis of some physiological and biochemical parameters in Atrec Q14A mutant plants under salinity stress. *Plant Prod.* 16(1): 115-132.
20. Lahooti, M., and Rahimzadeh, R. 1991. *Principles of Plant Physiology*. Astan Ghods Razavi, Press. 597p. (In Persian)
21. Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. *Plant Growth Reg.* 23(3): 200-412.
22. Li, X.G., Duan, W., Meng, Q.W., and Zou, Q. 2004. The function of chloroplastic NADPH dehydrogenase in tobacco during chilling stress under low irradiance. *Plant Cell Physiol.* 45(1): 103-108.
24. Liberato, M.A.R., Gonçalves, J.F.C., and Chevreuil, L.R. 2006. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.L) under water stress and recovery. *Braz. J. Plant Physiol.* 18: 315-323.
25. Lombardini, L., Marvin, H., and Glenn, D.M. 2005. Effects of particle film applications on leaf gas exchange, water relations, nut yield and insect population in mature pecan trees. *Hort. Sci.* 40 (50): 1376-1380.
26. 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. Makari, S., Afzali, S.F., and Shomeili, M. 2013. Sugarcane crop residue management effects on quality, productivity and carbon sequestration in soil erosion. Original poster. Seventh National Conference of Fanavaran cane. Ahvaz. (In Persian)
27. Rasouli, S.F., Galeshi, S., Pirdashti, H., and Zeinali, E. 2014. Investigation of waterlogging stress on some morphologic and physiological traits of rapeseed in different developmental stages. *Plant Prod. Res.* 21(1): 69- 89. (In Persian)
28. Sheligl, H.Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Plant. Bd.* 47: 510-526.
29. Sivakumar, M.V.K., and Stefanski, R. 2007. Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS. Expert Meeting on an International Sand and Dust Storm Warning System. WMO/GEO SDSWS Meeting– Barcelona, Nov. 2007. IOP Publishing.

30. Vahdatpour, F., Mashayekhi, M., and Piri Zirkuhi, M. 2009. Investigation of antioxidant effect turmeric in comparing with active coal and ascorbic acid in cultural medium of *Ulmas pavrifolia* Jasq. Callus. *Plant Prod.* 16(2): 1-14. (In Persian)
31. Yamasoe, M.A., Randow, C.A., Manzi, A.O., Schafer, J.S., Eck, T.F., and Holben, B.N. 2006. Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy *Atmos. Chem. Phys.* 6: 1645–1656.
32. Zanichelli, D., Carloni, F., Hasanaj, E., Andrea, N., Filippini, A., and Setti, L. 2007. Production of ethanol by an integrated valorisation of olive oil by products: The role of phenolic inhibition. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 14(1): 5-6.

