تحمل و حساسیت فیزیولوژیکی به تنش کم آبی در ارقام سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L)

محمد الحوشان[۱]، مرتضی زاهدی*[۲]، علی اکبر رامین[۱] و محمد رضا سبزعلیان[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی،دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۲] گروه زراعت واصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۹/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۱/۲٦)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر تنش کم آبی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک ده رقم سیب زمینی (اگریا، آریندا، مارفونا، بانبا، بورن، سانته، میلوا، ساتینا، جلی و اسپریت) در مرحله رشد رویشی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری بر اساس ۳۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده در خاک بود. در اثر تنش آب کارائی کوانتومی فتوسیستم II، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارائی مصرف آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و وزن خشک گیاه کاهش، ولی غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه، نسبت کلروفیل (a/b)، و نسبت کلروفیل به کاروتنوئید افزایش یافت. تفاوت ارقام از نظر غالب صفات مورد ارزیابی معنی‌دار بود. برهمکنش رژیم آبیاری و رقم بر میزان فتوسنتز، غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه، هدایت روزنه‌ای، کلروفیل a، نسبت کلروفیل a/b، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید و وزن خشک گیاه معنی‌دار بود. در هر دو تیمار شاهد و تنش بیشترین وزن خشک گیاه برای ارقام آگریا و ساتینا و کمترین آن برای رقم بورن بدست آمد. در اثر تنش کم آبی بیشترین میزان کاهش وزن خشک گیاه برابر ۷۷ و ۷٦ درصد در ارقام بورن و اسپریت و کمترین آن برابر ۳۵ درصد در رقم سانته مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز برابر ٤۱۰ و ۲٤۳ درصد در ارقام بورن و جلی و کمترین آن برابر ۸۵ درصد در رقم ساتینا حاصل شد. در حالیکه بیشترین میزان افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز برابر ۳۹۳ و ۳۰۸ درصد در ارقام بورن و بانبا و کمترین آن برابر ۸٦ درصد در رقم میلوا مشاهده شد. براساس نتایج آنالیز بای پلات و شاخص تحمل به تنش (STI) ارقام آگریا، ساتینا، مارفونا، اسپریت و سانته به ترتیب در مقایسه با دیگر ارقام مورد مطالعه سیب زمینی در واکنش به تنش کم آبی اعمال شده در مرحله رشد رویشی متحمل‌تر بودند.

واژه‌های کلیدی: ارقام سیب زمینی، تنش کم آبی، فتوسنتز، کلروفیل، کاروتنوئید، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

سیب زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* L. گیاهی یکساله از خانواده Solanaceae و اتوتتراپلوئید با ٤۸ کروموزوم است (ترکش اصفهانی، ۱۳۸٤؛ Singh, 2007; Vreugdenhil *et al.*, 2007). منشأ اصلی سیب زمینی ارتفاعات سلسله کوه‌های آند به ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ متری در آمریکای جنوبی (کشورهای پرو، بولیوی، کلمبیا و اکوادور) است و سابقه کشت آن در این منطقه به حدود ۷۰۰۰ سال پیش می‌رسد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mzahedi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

(Singh, 2007; Singh and Kaur, 2009). این گیاه به عنوان یکی از مهمترین گیاه زراعی جهان بعد از گندم، برنج و ذرت در جایگاه چهارم از نظر اهمیت قرار دارد (Singh and Kaur, 2009). سطح زیر کشت سیب زمینی در سال ۲۰۱٤ در دنیا حدود ۱۹ میلیون هکتار و تولید آن به ۳۸۲ میلیون تن رسید. این مقادیر برای ایران حدود ۱۵۸ هزار هکتار و ٤/۷ میلیون تن گزارش شده است (Fao, 2014). در حال حاضر، کشت سیب زمینی در اکثر نقاط کشور متداول است. استان‌ها و شهرستان‌های همدان، اردبیل، اصفهان، آذربایجان شرقی، خراسان، گلستان، جیرفت و کهنوج، سمنان، فارس و تهران به ترتیب مهمترین تولید کنندگان سیب زمینی آبی در کشور به شمار می‌روند (خواجه پور، ۱۳۸۵). سهم استان اصفهان ۱۲ درصد از تولید کل کشور می‌باشد. ارقام آگریا، مارفونا، سانته، بورن و آریندا عمده‌ترین ارقام سیب زمینی در استان اصفهان هستند.

عملکرد گیاهان زراعی و باغی وابسته به عوامل محیطی متعدد می‌باشد. رطوبت، تابش، دما و مواد غذایی بسته به مقدار آنها در محیط و مرحله رشد می‌توانند رشد و نمو گیاه را افزایش یا کاهش دهند (Mahajan and Tuteja, 2005). هر گونه عامل محدود کننده خارجی که سبب عدم رسیدن توان تولیدی گیاه به پتانسیل ژنتیکی آن گردد، تنش محسوب می‌شود. تنش‌های محیطی از جمله تنش کم آبی و شوری اثرات منفی بر رشد گیاهان می‌گذارند و از طریق تغییرات متابولیکی گیاه باعث کاهش عملکرد می‌شوند (Jenks *et al.*, 2007; Thangadurai *et al.*, 2007). افزایش مقاومت گیاهان به این تنش‌ها یکی از اهداف اصلاح نباتات به‌حساب می‌آید.

تنش کم آبی از جمله مهمترین عوامل محیطی است که موجب کاهش محتوا و پتانسیل آب سلول می‌شود و فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه شامل رشد سلول، ترکیب دیواره سلولی، تشکیل پلاستید، متابولیسم نیتروژن، تثبیت دی‌اکسید کربن، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان تأثیر تنش کم آبی بر این فرآیندها به عواملی از جمله شدت و مدت تنش، مرحله رشدی گیاه و گونه بستگی دارد. در سطح سلول، غشا سلولی به تنش آب بسیار حساس است و در اثر تنش، به‌واسطه کاهش سنتز، محتوای لیپیدها کاهش می‌یابد (Thangadurai *et al.*, 2007). به‌علاوه، در تنش کم آبی رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاروتنوئیدها تخریب شده و در این شرایط کلروفیل سریع‌تر از کارتنوئیدها تخریب می‌شود (Monakhova and Chernyadev, 2002 and Yordanov *et al.*, 2000).

تنش‌های محیطی با تأثیر مستقیم و غیر مستقیم بر وضعیت آب گیاه باعث مختل شدن عمل فتوسنتز و نهایتاً القای تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شوند (Breusegem *et al.*, 2001; Mittler, 2002). برای پرهیز از اثرات مخرب و آسیب اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن به‌ویژه در شرایط تنش، گیاهان مجهز به سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی کار آمد به منظور خاموش سازی رادیکال‌های آزاد می‌باشند، که متشکل از اجزای آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی است. از اجزای آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی می‌توان به آسکوربات، گلوتاتیون، آلفاتوکفرول و بتاکاروتن اشاره کرد. از جمله آنزیم‌های آنتی اکسیدانی سوپر اکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز می‌باشند. سازوکار دفاعی، اغلب از همکاری آنزیم‌های آنتی اکسیدان و آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی تشکیل شده است (Mittler *et al.*, 2004).

مطالعات باقری و همکاران (۱۳۹۳) بر روی رقم بورن و Farhad و همکاران (۲۰۱۱) بر روی رقم مارفونا نشان داد که تحت شرایط تنش کم آبی میزان کلروفیل برگ در سیب زمینی کاهش می‌یابد. همچنین، تنش کم آبی در هر دو سطح بیوشیمیایی و فتوشیمیایی بر مکانیسم‌های فتوسنتزی تأثیر می‌گذارد (Monakhova and Chernyadev, 2002 and Yordanov *et al.*, 2000). در شرایط تنش، روزنه‌های گیاه بسته شده، غلظت دی‌اکسید کربن در بافت مزوفیل کاهش یافته و به دنبال این وضعیت واکنش‌های تاریکی فتوسنتز مختل شده و محصولات حاصل از واکنش‌های روشنایی، که شامل ATP و NADPH می‌باشد، مصرف نمی‌شوند. در چنین شرایطی اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به عنوان جانشین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

پذیرنده الکترون عمل نموده و باعث به وجود آمدن رادیکال‌های آزاد اکسیژن شامل سوپر اکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و هیدروکسید (OH^-) می‌گردد (Breusegem *et al.*, 2001). گونه‌های فعال اکسیژن، فرآیندهای اکسیداتیو مخربی از قبیل تخریب کلروفیل، پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی و غیر طبیعی شدن ساختمان پروتئین‌ها را موجب می‌شوند (Breusegem *et al.*, 2001 and Mittler, 2002). یکی از شاخص‌های مرتبط با مقاومت و حساسیت به تنش کم آبی فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) است که بیانگر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II می‌باشد و بطور گسترده‌ای برای نشان دادن اختلال ایجاد شده در مراکز فتوشیمیایی استفاده شده است (Yamasaki *et al.*, 2002). همچنین تحقیقات Shi و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با اثر متقابل شاهد و کم آبی نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز برابر ۵۶، ۹۶ و ۴۸ درصد و فعالیت آنزیم کاتالاز برابر ۱۱۷، ۱۲۵ و ۱۱۰ درصد به ترتیب در شرایط کم آبی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند.

تحقیقات متعددی در رابطه با بررسی واکنش ارقام مختلف سیب زمینی به شرایط تنش کم آبی انجام شده است. با این حال، بسیاری از این مطالعات با استفاده از تعداد محدودی ژنوتیپ انجام شده است (Lahlou *et al.*, 2003; Wegener and Jansen, 2013; Shi *et al.*, 2015). از این جهت ضرورت دارد که واکنش دامنه وسیع‌تری از ارقام به شرایط تنش مورد ارزیابی قرار گیرد. لذا، با توجه به اهمیت کشت سیب زمینی در ایران، تغییرات آب و هوایی و خشکسالی‌های اخیر و نیز کمبود منابع آبی، این تحقیق جهت بررسی واکنش ده رقم از رایج ترین ارقام سیب زمینی مورد کشت در ایران به تنش کم آبی به منظور تعیین رابطه بین مقاومت ارقام با صفات مورد اندازه گیری در این آزمایش در راستای شناخت بهتر مبنای فیزیولوژیکی و بیوشیمیائی مقاومت به خشکی در سیب زمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی با هدف ارزیابی تأثیر تنش کم آبی بر ارقام سیب زمینی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان طی ماه‌های بهمن و اسفند سال ۱۳۹۵ انجام شد. در این آزمایش غده‌های ۱۰ رقم سیب زمینی شامل اگریا، آریندا، مارفونا، بانبا، بورن، سانته، میلوا، ساتینا، جلی و اسپریت در دو سطح آبیاری براساس ۳۰ و ۸۰ ٪ تخلیه رطوبت قابل استفاده در خاک مورد مطالعه قرار گرفتند. مشخصات ارقام معرفی شده سیب زمینی، که توسط توسط وزرات جهاد کشاورزی ارائه شده، در جدول ۱ ثبت گردیده است. بدین منظور ابتدا غده‌های ارقام سیب زمینی کلاس سوپر الیت از مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان دریافت و در سردخانه دانشکده کشاورزی در دمای ۴ درجه سانتی گراد تا مرحله اجرای پژوهش نگهداری شدند. سپس خاک گلدان‌ها از مخلوطی شامل ماسه، خاک مزرعه و کود حیوانی پوسیده به ترتیب به نسبت ۱:۱:۴ تهیه گردید. برای جلوگیری از سرایت بیماری‌ها، ضد عفونی خاک مرطوب با قارچ کش متام سدیم صورت گرفت. قبل از کاشت، غده‌های ارقام سیب زمینی از سردخانه خارج و در شرایط تاریکی در دمای اتاق به مدت دو هفته تا ظهور جوانه‌ها بر روی غدد نگهداری شدند. سپس در هر گلدان یک غده در عمق حدود ۸ سانتی متر کشت گردید. قبل از اعمال تنش کم آبی، کلیه گلدان‌ها پس از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده آبیاری شدند. تیمار تنش کم آبی (آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) در مرحله ۶ تا ۸ برگی (۳۰ روز بعد از کاشت) اعمال شد. سپس دفعات آبیاری بعدی همراه با استفاده از کود فلورال (۲۰-۲۰-۲۰) به میزان ۱ در هزار صورت گرفت. برای تعیین زمان آبیاری از سامانه اتوماتیک اندازه گیری و ثبت رایانه‌ای رطوبت و دمای خاک (IDRG SMS-T1) استفاده گردید. نمونه گیری و اندازه گیری صفات بر روی گیاهانی که ۴ هفته پس از اعمال تنش کم آبی برداشت شدند، انجام گرفت.

روش اندازه گیری صفات، تبادلات گازی: تبادلات گازی در برگ توسط دستگاه قابل حمل مدل ال. سی. آی ساخت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

جدول ۱- نام و مشخصات ارقام معرفی شده سیب زمینی (وزرات جهاد کشاورزی)

رقم	دوره رشد	نوع مصرف	رنگ گوشت
اسپریت	نیمه زودرس	تازه خوری	نسبتاً زرد
اگریا	نیمه دیررس	فرنچ فرایز	زرد
آریندا	نیمه زودرس	تازه خوری	زرد روشن
بورن	میان رس	تازه خوری و خلال	نسبتاً زرد
جلی	نیمه دیررس	تازه خوری و خلال	زرد
ساتینا	نیمه دیررس	تازه خوری و فرنچ فرایز	زرد
سانته	نیمه زودرس	تازه خوری و چیپس آن قابل قبول می‌باشد	زرد روشن
مارفونا	نیمه زودرس	تازه خوری	زرد روشن
بانبا	نیمه دیر رس	تازه خوری	نسبتاً زرد
میلوا	میان رس	تازه خوری	نسبتاً زرد

کشور انگلستان بر روی جوان‌ترین برگ بالغ در هر گیاه و در حالت اتصال برگ به گیاه اندازه گیری گردید.

کارائی کوانتومی فتوسیستم II: میزان فلورسانس کلروفیل کلیه نمونه‌ها در پایان آزمایش با استفاده از دستگاه فلورسانس سنج (مدل RS232) ساخت کشور انگلستان، در مرحله تاریکی اندازه گیری شد. بدین منظور از هر گیاه بالاترین برگ بالغ که بدون نشانه‌های آسیب دیدگی بود، انتخاب و به مدت ۳۰ دقیقه به وسیله گیره‌های دستگاه تاریکی داده شد و تمام اندازه گیری‌ها در بین ساعات ۱۰ و ۱۳ در شرایط شدت نور مناسب صورت گرفت. کارائی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) به وسیله دستگاه فلورسانس سنج و از محل میانه برگ و ما بین رگبرگ اصلی و لبه برگ اندازه گیری گردید. پارامتر اندازه گیری شده شامل بیشینه پتانسیل کارائی کوانتومی فتوسیستم II: Fv/Fm= (Fm-F0) / Fm بود (Reddy *et al*., 2004).

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید: پس از ٤ هفته از اعمال تنش و قبل از برداشت بوته‌ها، میزان کلروفیل برگ‌ها به روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) با استفاده از حلال استون ۱۰۰٪ استخراج گردید. در این روش ۰/۵ گرم نمونه برگی در هاون چینی ریخته و به آن مقدار ۱۰ میلی‌لیتر استون در دو مرحله اضافه گردید. در طی این مراحل نمونه کاملاً کوبیده شده و هر بار عصاره حاصل به وسیله پارچه ململ صاف گردید. سپس عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول هر لوله ٤ میلی‌لیتر درون کووت ریخته شد و میزان جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600 A) در سه طول موج ٦٤٤/٨، ٦٦١/٦ و ٤٧٠ نانومتر قرائت گردید. سپس میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه از طریق رابطه‌های زیر محاسبه شد:

$$Chl\ a = 11.24 \times A661.6 - 2.04 \times A644.8$$
$$Chl\ b = 20.13 \times A644.8 - 4.19 \times A661.6$$
$$Chl\ a+b = 7.05 \times A661.6 + 18.09 \times A644.8$$

در این رابطه: Chl a غلظت کلروفیل a، Chl b غلظت کلروفیلb، Chl a+b میزان کلروفیل کل، A661.6 جذب در طول موج ٦٦١/٦ نانومتر و A644.8 جذب در طول موج ٦٤٤/٨ نانومتر می‌باشد. میزان کاروتنوئید نیز بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه از طریق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$Carotenoides = (1000 \times A470 - 1.90Ca - 63.14\ Cb) / 214$$

در این رابطه: A470 جذب در طول موج ٤٧٠ نانومتر است.

وزن خشک گیاه: بدین منظور پس از برداشت اندام هوایی، ریشه و غده گیاهان مربوط به هر رقم سیب زمینی و هر تکرار به تفکیک در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند و به مدت ۷۲ ساعت داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتیگراد خشک گردیدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق توزین شدند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

کاتالاز: فعالیت این آنزیم با استفاده از محلول واکنش به صورت ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات به‌اضافه ۵۰ میکرولیتر عصاره گیاهی و ٤/٥١ میکرولیتر آب اکسیژنه (H_2O_2) ۳۰ ٪ بر اساس روش آیبی در طول موج ۲٤۰ نانومتر به مدت یک دقیقه با استفاده از دستگاه طیف سنج (مدل Beckman Du 530) اندازه گیری شد (Aebi, 1984).

پراکسیداز: روش اندازه گیری این آنزیم همانند آنزیم کاتالاز بود. با این تفاوت که بافر استخراج این آنزیم در داخل کوئت‌های شاهد و نمونه علاوه بر ٤/٥١ میکرولیتر از آب اکسیژنه حاوی ۳/۳٥ میکرولیتر گایاکول در هر کوئت بود. طول موج جذبی طیف سنج ٤۷۰ نانومتر تنظیم شد (Rao *et al.*, 1996).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز طبق رابطه زیر تعیین گردید:

Enzyme activity (EA) = Δabs×1000× (1/A×EC) × (B/C)
(μmol min^{-1}g FW) = unit min^{-1}g FW)

در این رابطه: Δabs اختلاف شدت جذب طول موج خاص هر آنزیم در زمان‌های صفر و ٦۰ ثانیه. A: مقدار عصاره آنزیمی موجود در محلول واکنش (میکرولیتر). EC: ضریب خاموشی هر آنزیم (کاتالاز ۳۹/٤ و پراکسیداز ۲٦/٦ $mM^{-1}cm^{-1}$). B: مقدار بافر استخراج به کار رفته. C: وزن نمونه تازه بر حسب گرم. همچنین کلیه فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی بر اساس پروتئین طبق روش Bradford (۱۹۷٦) محاسبه گردیده است.

شاخص تحمل به تنش: به منظور تعیین بهترین ارقام متحمل به کم آبی از شاخص تحمل به تنش (STI) استفاده شد که بصورت زیر محاسبه می‌شود.(Fernandez, 1992)

$$STI= (Y_{pi} \times Y_{si}) / (\overline{Yp})$$

در این شاخص: Y_{pi} و Y_{si} به ترتیب عملکرد (تولید ماده خشک) رقم تحت شرایط تیمار شاهد و تنش. $\overline{Yp}$ میانگین عملکرد ارقام سیب زمینی تحت شرایط شاهد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: داده‌ها با استفاده از برنامه نرم افزار SAS و MSTATC و بر اساس طرح کامل تصادفی و آزمایش فاکتوریل آنالیز شدند. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از روش LSD انجام شد.

نتایج و بحث

تبادلات گازی: برهمکنش اثرات رژیم آبیاری و رقم بر میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در تیمار آبیاری براساس ۸۰٪ در مقایسه با تیمار آبیاری براساس ۳۰ ٪ تخلیه آب قابل دسترس در خاک، میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در ارقام مورد مطالعه کاهش ولی غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه افزایش یافت (جدول ٥). بیشترین و کمترین میزان کاهش فتوسنتز برابر ۹٤/٦ و (۸۳/۸ و ۸۳/۸) درصد به ترتیب در ارقام اسپریت و (بورن و سانته) و هدایت روزنه‌ای برابر ۸۲/۹ و ۷۳/۳ درصد در ارقام ساتینا و آگریا، ولی بیشترین و کمترین میزان افزایش غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه برابر ٤۱٦ و ٥۹/۹ درصد در ارقام جلی و ساتینا حاصل شد.

اثر رژیم آبیاری بر میزان تعرق و کارائی مصرف آب در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار ولی اثر رقم و برهمکنش اثرات رژیم آبیاری و رقم بر این صفات معنی دار نبود (جدول ۲). در اثر تنش کم آبی میزان تعرق و کارائی مصرف آب به ترتیب ٦۱/٥ و ۷۳/٤ درصد کاهش یافت (جدول ۳). بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق، کاهش غلظت دی اکسید کربن داخلی، پایین آمدن پتانسیل آب بافت‌های گیاهی و در نتیجه کاهش فتوسنتز معمول‌ترین واکنش‌های گیاه به تنش کم آبی می‌باشند که منجر به کاهش کارائی مصرف آب می‌شوند (Sairam *et al.*, 1997). در آزمایش Cheng و همکاران (۲۰۱۳) در رابطه با تبادلات گازی گیاهان سیب زمینی در شرایط تنش کم آبی ایجاد شده با استفاده از دو سطح پلی اتیلن گلیکول (۱۰ و ۲۰ ٪)، در اثر تنش اسمزی میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق کاهش یافت. در حالیکه غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه در شرایط تنش ملایم (۱۰ ٪) کاهش ولی در شرایط تنش شدید (۲۰ ٪) مجددا افزایش یافت. رفتار عمومی گیاهان در شرایط تنش، کاهش رشد و تولید گیاه است (Farooq *et al.*, 2009). Li و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که میزان دی اکسید

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر صفات کارآئی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، فتوسنتز، غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارائی مصرف آب، محتوای کلروفیل a.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		Fv/fm	فتوسنتز	غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه	هدایت روزنه‌ای	تعرق	کارائی مصرف آب	کلروفیل a
رژیم آبیاری	۱	۰/۷۵۳**	۳۷۸۱**	٤٦۰۲٥۸**	۰/۱۱۹۳**	٤۳/۱**	٤۷۲**	۰/۱۸٤**
تکرار	۳	۰/۰۰٦	٥/۰٦	۳۹۲٥	۰/۰۰۰۱٤	۰/٦۳	۲/۰٥	۰/۰۰۲
رقم	۹	۰/۰۰٤ ^{ns}	۱۲/۱**	۹٦۱۹**	۰/۰۰۱۱**	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۷۱ ^{ns}	۰/۰۲۳**
رژیم آبیاری × رقم	۹	۰/۰۰۱۱^{ns}	۱۳/٤**	٥۸۹٤**	۰/۰۰۰٦۲**	۰/۲٦ ^{ns}	۱/٥٤ ^{ns}	۰/۰۰٥**
خطا	٥۷	۰/۰۰۳۱	۳/۸۰	۱٤٦۲	۰/۰۰۰۰۷٥	۰/۱۷٦	۱/۰٦	۰/۰۰۱٥

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ns معنی‌دار نبودن است.

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل آزمایشی بر صفات کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، نسبت کلروفیل a/b، نسبت کلروفیل به کاروتنوئید، وزن خشک گیاه، آنزیم کاتالاز و پراکسیداز.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل a/b	نسبت کلروفیل به کاروتنوئید	وزن خشک گیاه	کاتالاز	پراکسیداز
رژیم آبیاری	۱	۰/۱۳۸**	۰/٦۳۷**	۰/۰٤۹**	٤/٥۳**	۳/۳۷**	۲۲٦۷/٥**	۲٥۱٥/۱**	۲٤٤/۷۹**
تکرار	۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰٦	۰/۰۰۰٤	۰/۱٥	۰/۰۸	۲۹/٦۳	٥/٤۲	۰/۳٤۲
رقم	۹	۰/۰۱۳**	۰/۰٦٤**	۰/۰۰٤**	۰/٥٤۷**	۰/۹۹۲**	۸۰۰/۸٥**	۸۰/۸٥**	۸/۲۳**
رژیم آبیاری × رقم	۹	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰٦^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۳۹۸**	۰/۷۷۱**	۳۰۰/۸٥**	٤۲/۳۲**	٤/٦٥**
خطا	٥۷	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰٥	۰/۰۰۰۲	۰/۱۲۱	۰/۲۳	۳/٦۱	۳/٦٤	۰/٥۲۲

** معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد و ns معنی‌دار نبودن است.

کربن در حفره زیر روزنه در گیاه پنبه در تیمار کم آبی (٤۰٪ تخلیه آب نسبت به ۲۰٪) به طور معنی داری افزایش یافت.

کاهش فتوسنتز تحت تنش کم آبی به دلیل اختلال در دستگاه فتوسنتزی و تسریع در پیر شدن برگ‌ها رخ می‌دهد (Wahid and Rasul, 2005). علاوه بر محدودیت‌های غیر روزنه‌ای، بسته شدن روزنه‌ها در اثر کم آبی که کاهش جذب دی اکسید کربن را به همراه دارد، از مهمترین محدودیت‌هایی است که تنش آب بر فتوسنتز وارد می‌کند. در این شرایط، کاهش جذب دی اکسید کربن می‌تواند منجر به افزایش حساسیت گیاه به آسیب نوری شود (Cornic and Massacci, 1996). تغییر محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی، تخریب دستگاه فتوسنتزی و اختلال در فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات کارآئی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)، تعرق (میلی مول H_2O/ متر مربع/ ثانیه)، کارائی مصرف آب (میکرومول CO_2 / میلی مول H_2O)، محتوای کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در دو رژیم آبیاری ۳۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک.

درصد تخلیه رطوبت	Fv/fm	تعرق	کارائی مصرف آب	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
٪ ۳۰	۰/۷۷۷ a	۲/۳۹ a	٦/٦۲ a	۰/۲۱۹ a	۰/٦۷۱ a	۰/۱۵۳ a
٪ ۸۰	۰/۵۸۰ b	۰/۹۲۰ b	۱/۷٦ b	۰/۱۳٦ b	۰/٤۹۲ b	۰/۱۰۳ b
درصد تغییرات	۲۵/٤	٦۱/۵	۷۳/٤	۳۷/۹	۲٦/۷	۳۲/۷
LSD	۰/۰٤۱	۰/٤۳	۰/۷۸	۰/۰۱	۰/۰٤۱	۰/۰۱۱

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

عنوان علل اصلی کاهش عملکرد تحت تنش کم آبی محسوب می‌شوند (Monakhova and Chernyadev, 2002).

کارائی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm): تأثیر رژیم آبیاری بر کارائی کوانتومی فتوسیستم II در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار ولی اثر رقم و برهمکنش اثرات رقم و رژیم آبیاری بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۲). در تیمار آبیاری ۸۰٪ در مقایسه با تیمار آبیاری ۳۰٪ تخلیه آب قابل دسترس در خاک، کارائی کوانتومی فتوسیستم II برابر ۲۵/٤ درصد کاهش یافت (جدول ۳). مطالعه Lu و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که میزان کارائی کوانتومی فتوسیستم II در گیاهان سیب زمینی شیرین در شرایط تنش کم آبی متوسط (٦۰ ٪ تخلیه) و شدید (۸۵ ٪ تخلیه آب قابل دسترس) کاهش می‌یابد.

کلروفیل و کاروتنوئید: برهمکنش اثرات رژیم آبیاری و رقم بر محتوای کلروفیل a، نسبت کلروفیل (a/b) و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در تیمار آبیاری ۸۰٪ در مقایسه با تیمار آبیاری ۳۰٪ تخلیه آب قابل دسترس در خاک در ارقام مورد مطالعه محتوای کلروفیل a کاهش ولی نسبت کلروفیل (a/b) و نسبت کلروفیل به کاروتنوئید افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین و کمترین میزان کاهش کلروفیل a برابر ٤۳/۲ و ٦/۸ درصد در ارقام سانته و ساتینا. همچنین بیشترین و کمترین میزان افزایش نسبت کلروفیل (a/b) برابر ٦۱ و ٤/٤ درصد در ارقام ساتینا و سانته، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید برابر ۱۸/۹ و (۰/۰ و ۰/٤۵) درصد در ارقام اسپریت و (میلوا و آریندا) مشاهده شد.

تأثیر رژیم آبیاری و رقم بر محتوای کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار ولی برهمکنش اثرات رژیم آبیاری و رقم بر این صفات معنی دار نبود (جدول ۲). در اثر تنش کم آبی میزان کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به ترتیب ۳۷/۹، ۲٦/۷ و ۳۲/۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل b برابر ۰/۲٦ و ۰/۱۳۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ به ارقام آگریا و میلوا، محتوای کلروفیل کل برابر ۰/۷۲۳ و (۰/٤۷۷ و ۰/٤۷٦) میلی گرم به ارقام آگریا و (آریندا و بورن)، محتوای کاروتنوئید برابر ۰/۱۷۷ و ۰/۱۰۲ میلی گرم در ارقام آگریا و بورن مشاهده شد (جدول ٤).

در آزمایش نجف زاده اصل و احسان پور (۱۳۹۱) که در آن دو رقم سیب زمینی Kenbec و Concord تحت غلظت‌های مختلف پلی اتیلن گلیکول PEG (صفر، ۲ و ٤ درصد) مورد ارزیابی قرار گرفتند، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید در اثر تنش اسمزی ایجاد شده کاهش یافت. همچنین Anosheh و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که محتوای کلروفیل a و b در گندم در شرایط تنش متوسط (آبیاری پس از ۳۵۷ میلی متر تبخیر) و شدید (۲۰۹ میلی متر) به طور معنی دار نسبت به تیمار شاهد (٤۱۷ میلی‌متر) کاهش یافت. در مطالعه دولت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات میزان کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) در ارقام سیب زمینی

رقم	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
آگریا	۰/۲٦۰ a	۰/۷۲۳ a	۰/۱۷۷ a
آریندا	۰/۱٥۱ de	۰/٤۷۷ f	۰/۱۰۸ ef
مارفونا	۰/۱۸۷ bc	۰/٥۸۱ cd	۰/۱۱۸ def
بانبا	۰/۱۹۱ bc	۰/٦۳۱ bc	۰/۱۳٦ bc
بورن	۰/۱۳۷ de	۰/٤۷٦ f	۰/۱۰۳ f
سانته	۰/۱٤٥ de	۰/٥۰۷ ef	۰/۱۲۲ cde
میلوا	۰/۱۳۲ e	۰/٥۱۲ def	۰/۱۰۹ ef
ساتینا	۰/۲۰۳ b	۰/٦۸٥ ab	۰/۱۳٦ bc
جلی	۰/۲۰۸ b	۰/٦٥۹ ab	۰/۱٤۹ b
اسپریت	۰/۱٦۸ cd	۰/٥٦٦ cde	۰/۱۲۹ cd
LSD	۰/۰۳٤	۰/۰۷۳	۰/۰۱٦

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ٥ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

آبادیان و همکاران (۱۳۸۸) محتوای کلروفیل a، b و کل در گیاه ذرت تحت شرایط تنش کم آبی بطور معنی دار کاهش یافت. در آزمایش Ebrahimiyan و همکاران (۲۰۱۳) بر روی گیاه Tall fescue نسبت کلروفیل a/b در شرایط تنش شدید کم آبی افزایش یافت که بیانگر تخریب سریع‌تر کلروفیل b نسبت به کلروفیل a می‌باشد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی: برهمکنش اثرات رژیم آبیاری و رقم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در تیمار آبیاری ۸۰٪ در مقایسه با تیمار آبیاری ۳۰٪ تخلیه آب قابل دسترس در خاک فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در ارقام مورد مطالعه افزایش یافت (جدول ٥). بیشترین و کمترین میزان افزایش برای فعالیت آنزیم کاتالاز برابر ٤۱۰ و ۸٥ درصد در ارقام بورن و ساتینا و برای فعالیت آنزیم پراکسیداز برابر ۳۹۳ و ۸٦ درصد در ارقام بورن و میلدا مشاهده شد.

نتایج مطالعات نشان داده است که فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در شرایط کم آبی می‌تواند افزایش یابد (Shi *et al.*, 2015). در واقع آنزیم کاتالاز، پراکسید هیدروژن حاصل از اکسیداسیون اسیدهای چرب و افزایش فعالیت گلی کولات اکسیداز را در پراکسی زوم جمع آوری و خنثی می‌کند و پراکسید هیدروژنی که در دسترس کاتالاز نیستند توسط آسکوربات پراکسیداز پاکسازی می‌شوند (Breusegem *et al.* 2001). همچنین پراکسیداز در تنظیم میزان H_2O_2 درون سلولی مؤثر است و افزایش فعالیت آن مانند دیگر آنزیم‌های آنتی اکسیدانی عموم‌ترین واکنش گیاهان در مواجه با صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو می‌باشد (Mittler, 2002).

وزن خشک گیاه: برهمکنش اثرات رژیم آبیاری و رقم بر وزن خشک گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در اثر تنش کم آبی وزن خشک گیاه در ارقام مورد مطالعه کاهش یافت (جدول ٥). بیشترین و کمترین میزان کاهش وزن خشک برابر (۷٦/۷ ، ۷٥/۷) و ۳٥/۲ درصد به ترتیب در ارقام (بورن و اسپریت) و سانته مشاهده شد. در مطالعه خورشیدی بنام و همکاران (۱۳۸۱) نیز تأثیر برهمکنش رژیم آبیاری و رقم بر درصد ماده خشک و عملکرد سیب زمینی معنی دار بود، به طوریکه پس از اعمال تنش (٦۰ و ۸۰

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

جدول ۵- اثر متقابل رقم و رژیم آبیاری (۳۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت) بر صفات میزان فتوسنتز (میکرومول CO_2/ متر مربع/ ثانیه)، غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه (میکرومول / مول)، هدایت روزنه‌ای (مول CO_2/ متر مربع/ ثانیه)، میزان کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ)، نسبت کلروفیل a/b.

ارقام سیب زمینی	میزان فتوسنتز		غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه		هدایت روزنه‌ای		کلروفیل a		نسبت کلروفیل	
	شاهد (٪۳۰)	کم آبی (٪۸۰)	شاهد	کم آبی	شاهد	کم آبی	شاهد	کم آبی	شاهد	کم آبی
آگریا	۱۵/٤ bc	۱/۱۵ f (۹۲/۵)	۱٦۳ ef	۲۷۱ bc (٦٦/۲)	۰/۰۷۵ cd	۰/۰۲ e (۷۳/۳)	۰/٤۷۸ a-c	۰/٤٤۵ a-f (٦/۹)	۱/۵۸۳ g	۲/۳۳ b-f (٤۷/۲)
آریندا	۱۹/۵ a	۱/۵۳ f (۹۲/۲)	۸۳/۸ hi	۲۵۳ bc (۲۰۲)	۰/۱۰۸ b	۰/۰۲ e (۸۱/۵)	۰/۳۷۳ g-i	۰/۲۸ jk (۲٤/۹)	۲/۰۹ e-g	۲/۹٦ a (٤۱/٦)
مارفونا	۱۲/۳۵ de	۱/۳۳ f (۸۹/۲)	۹۹/۵ gh	۱۸۷ de (۸۷/۹)	۰/۰۸۷ c	۰/۰۱۵ e (۸۲/۸)	۰/٤۱۸ c-g	۰/۳۷٤ g-i (۱۰/۵)	۲/۳۳ b-f	۲/۲ c-f (۵/٦)
بامبا	۱۱/۷ e	۱/٤۷ f (۸۷/۵)	۹۵/۳ g-i	۲۲۵ cd (۱۳٦)	۰/۰۷۷ cd	۰/۰۱۷ e (۷۷/۹)	۰/٤۹۷ ab	۰/۳۸٤ f-i (۲۲/۷)	۲/۱٦ d-f	۲/۷٦ a-c (۲۷/۸)
بورن	۱۵/۸ b	۲/۵۷ f (۸۳/۷)	۱۱۵ f-h	۳۷۱ a (۲۲۲)	۰/۱۱۵ ab	۰/۰۲۷ e (۷٦/۵)	۰/۳۹۷ e-h	۰/۲۸۲ jk (۲۹)	۲/۳ b-f	۲/۹۹ a (۳۰/۰)
سانته	۱۲/۷ c-e	۲/۰۷ f (۸۳/۷)	۹۸/۰ g-i	۲۵۲ bc (۱۵۷)	۰/۰۷۲ d	۰/۰۱۵ e (۷۹/۲)	۰/٤٦۳ a-d	۰/۲٦۳ k (٤۳/۲)	۲/۷۲ a-d	۲/٦ a-e (٤/٤)
میلوا	۱٦/۱ b	۱/۵ f (۹۰/۷)	۱٤۸ e-g	۲٦۵ bc (۷۹/۷)	۰/۰۸۳ cd	۰/۰۲ e (۷۵/۹)	۰/٤۳٦ b-g	۰/۳۲۵ i-k (۲۵/۵)	۲/۸٤ ab	۳/۰٦ a (۷/۸)
ساتینا	۱۷/٤ ab	۱/۵۳ f (۹۱/۲)	۱٦۵ ef	۲٦۳ bc (۵۹/۹)	۰/۱۱۷ ab	۰/۰۲ e (۸۲/۹)	۰/۵ a	۰/٤٦٦ a-d (٦/۸)	۱/۹۵ fg	۳/۱٤ a (٦۱/۰)
جلی	۱۵/۱ b-d	۱/۸۷ f (۸۷/٦)	٤٤/۵ i	۲۳۰ cd (٤۱٦)	۰/۱۲۵ a	۰/۰۲۵ e (۸۰/۰)	۰/۵ a	۰/٤۰٤ d-g (۱۹/۲)	۲/۰۷ e-g	۲/۸ ab (۳۵/۳)
اسپریت	۱۷/۳ ab	۰/۹۳ f (۹٤/٦)	۸۹/۰ hi	۳۰۱ b (۲۳۸)	۰/۱۱۲ b	۰/۰۲ e (۸۲/۱)	۰/٤۵۷ a-e	۰/۳٤ h-j (۲۵/٦)	۲/۰۸ e-g	۳/۰۲ a (٤۵/۲)

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. عدد داخل پرانتز درصد تغییرات صفت مورد نظر در شرایط تنش نسبت به شاهد را نشان می‌دهد.

در مقایسه با ٤۰ ٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک) بر روی ارقام مارفونا، آگریا و دراگا، درصد ماده خشک و عملکرد آنها به شدت کاهش یافت. در آزمایش ایشان بیشترین و کمترین کاهش عملکرد به ارقام آگریا و دراگا ولی بیشترین و کمترین کاهش ماده خشک به ارقام مارفونا و دراگا تعلق داشت. در مطالعه Lu و همکاران (۲۰۱۰) وزن خشک اندام هوایی سیب زمینی شیرین در شرایط آبیاری پس از تخلیه ٦۰ و ۸۵ درصد آب گلدان در مقایسه با شاهد (۳۵ درصد تخلیه) به طور معنی دار کاهش یافت.

در این آزمایش، شاخص تحمل به تنش (STI) جهت ارزیابی میزان تحمل ارقام سیب زمینی نسبت به تنش کم آبی اعمال شده در مرحله رشد رویشی محاسبه گردید. بر این اساس مقادیر شاخص تحمل برای ارقام سیب زمینی برابر ۰/۷٦۰ (آگریا)، ۰/٦۱۷ (ساتینا)، ۰/۵۹۸ (مارفونا)، ۰/۳۵۱

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

ادامه جدول ۵- اثر متقابل رقم و رژیم آبیاری (۳۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبت) بر صفات نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید، وزن خشک گیاه (گرم در بوته)، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز (میکرومول/ دقیقه/ میلی گرم پروتئین).

ارقام سیب زمینی	نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید		وزن خشک گیاه		کاتالاز		پراکسیداز	
	شاهد (۳۰٪)	کم آبی (۸۰٪)	شاهد	کم آبی	شاهد	کم آبی	شاهد	کم آبی
آگریا	۳/۹۶ ef	٤/۲۹ c-f (۸/۳)	۲۵/۸۹ a	۷/٦٦ g-i (۷۰/٤)	۵/۰۷ e	۱۳/۲ d (۱٦۱)	۱/۷۹۷ fgh	۳/۷۳ de (۱۰۷)
آریندا	٤/ ٤۵ c-f	٤/ ٤۳ c-f (۰/٤۵)	۱۱/۸٤ c-e	٤/ ۵۱ jk (٦۱/۹)	۷/ ۱٤ e	۲۰/۵ b (۱۸٦)	۱/ ۹۷ fgh	٦/۳٦ b (۲۲۳)
مارفونا	٤/۲۸ c-f	۵/۸۹ a (۳۷/٦)	۱۹/٤۳ b	۷/۹۵ f-h (۵۹/۱)	۱۲/۱٤ d	۲٤/۸ a (۱۰٤/٦)	۲/۹۳ ef	۷/۷۹ a (۱٦۵/۵)
بامبا	٤/٦ c-e	٤/۷۸ b-d (۳/۹)	۱٤/۸ c	٤/۹۸ h-k (٦٦/٤)	٦/۲٦ e	۱۷/٤ bc (۱۷۸)	۱/۲۸ h	۵/۲۱ bc (۳۰۸)
بورن	٤/ ٤۲ c-f	٤/ ۹۹ bc (۱۲/۹)	۹/ ۳۷ e-g	۲/ ۱۸ k (۷٦/۷)	۵/۳۵ e	۲۷/۳ a (٤۱۰)	۱/۵۷ gh	۷/۷۳ a (۳۹۳)
سانته	٤/٤٦ c-f	۳/۷۳ f (۱٦/٤)	۱۱/۰۲ d-f	۷/۱٤ g-j (۳۵/۲)	٦/۷۹ e	۱۷/۵ bc (۱۵۸)	۱/۷۸ fgh	۵/۸۷ b (۲۳۰)
میلوا	٤/۷۵ cd	٤/۷۵ cd (۰/۰)	۱۳/٦۵ cd	۳/۸۱ k (۷۲/۱)	۵/٦۵ e	۱۱/۸ d (۱۰۹)	۱/٤۰۳ h	۲/٦۲ efg (۸٦/۵)
ساتینا	٤/۷۹ b-d	۵/۵٤ ab (۱۵/۷)	۲۰/۸۳ b	۷/۷٤ g-i (٦۲/۸)	٦/٤۷ e	۱۲/۰ d (۸۵/۰)	۱/۵۰ gh	۳/٦۱ de (۱٤۱)
جلی	٤/۱۹ d-f	٤/۸۲ b-d (۱۵/۰)	۱٤/۸۲ c	۳/۸۹ k (۷۳/۷)	۵/۰۲ e	۱۷/۲ c (۲٤۳)	۱/۵۷ gh	۵/۳٦ bc (۲٤۱)
اسپریت	٤/۱۳ d-f	٤/۹۱ b-d (۱۸/۹)	۱۹/۳۸ b	٤/۷۱ i-k (۷۵/۷)	۸/۰۵ e	۱۸/۳ bc (۱۲۸)	۱/۷۸ fgh	٤/۳۰ cd (۱٤۲)

برای هر صفت میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. عدد داخل پرانتز درصد تغییرات صفت مورد نظر در شرایط تنش نسبت به شاهد را نشان می‌دهد.

(اسپریت)، ۳۰۳/. (سانته)، ۰/۲۷۷ (بانبا)، ۰/۲۲٤ (جلی)، ۰/۲۰۷ (آریندا)، ۰/۲۰۱ (میلوا) و ۰/۰۸۱ (بورن) بود، که ارقام دارای شاخص تحمل بالاتر نسبت به تنش کم آبی متحمل‌تر می‌باشند.

آنالیز بای پلات: تجزیه به مولفه‌های اصلی در آنالیز بای پلات نشان داد که این مولفه‌ها در شرایط نرمال و تنش کم آبی به ترتیب بیشتر از ۷٦ و ۷۵ درصد از واریانس کل را توجیه نمودند (جدول ٦). تحت وضعیت نرمال، اولین مولفه اصلی (PC1)، ارتباط مثبت و بالائی با صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و وزن خشک کل بوته، دومین مولفه (PC2)، همبستگی مثبت و بالائی با صفات کارائی کوانتومی فتوسیستم II، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و کارائی مصرف آب و سومین مولفه (PC3)، همبستگی مثبت و بالائی با صفات غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه، تعرق و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید نشان داد. مقادیر بالای این صفات نشان دهنده ظرفیت بالای فتوسنتزی و تولید ماده خشک می‌باشد. گروه بندی ارقام سیب زمینی مورد مطالعه بر اساس مولفه‌های اصلی بای پلات ترسیم شد (شکل ۱). با توجه به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

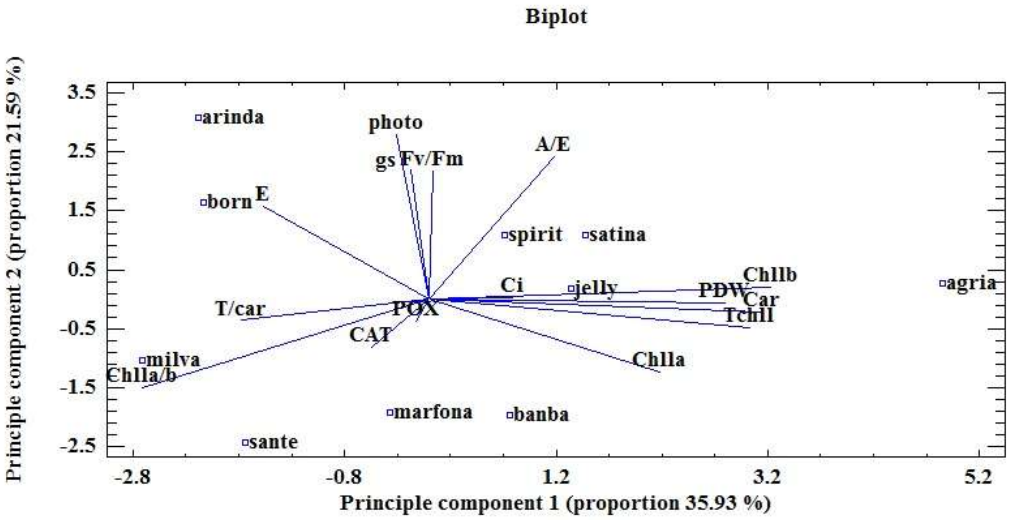
جدول ٦- تجزیه به مولفه‌های اصلی بر اساس صفات اندازه گیری شده تحت دو وضعیت نرمال و تنش کم آبی

صفات	۳۰ ٪ تخلیه آب			۸۰ ٪ تخلیه آب		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
کارایی کوانتومی فتوسیستم II	۰/۰۰۵	۰/۳۹۱	-۰/۱۹۹	-۰/۲۳٦	۰/۰٦٤	-۰/۱۲۳
فتوسنتز	-۰/۰٤۱	۰/۵۰۳	۰/۰۸۷	-۰/۲۷۳	۰/۱۵٤	۰/۰٤٤
غلظت دی اکسید کربن	۰/۱۰٤	۰/۰۰٦	۰/۱۲۸	-۰/۲٤۷	۰/۰۲۸	-۰/۲۸۸
هدایت روزنه	-۰/۰۲۲	۰/۳۹۸	۰/۰۷۵	-۰/۱۸۷	۰/۲٤۱	-۰/۳۸۱
تعرق	-۰/۲۰۷	۰/۲۸۵	۰/۳۲۸	-۰/۲۰۲	۰/٤۱۲	-۰/۰۵۵
کارائی مصرف آب	۰/۱۵٦	۰/٤۳۵	-۰/۱۵۷	-۰/۱٤۱	-۰/٤۲۹	۰/۱۳۹
کلروفیل a	۰/۲۸۷	-۰/۲۲٤	۰/۳۱۸	۰/۳۰٦	۰/۲۲۸	-۰/۲۵٦
کلروفیل b	۰/٤۲۷	۰/۰۳۵	۰/۰۲۵	۰/۳۳۳	۰/۲۰٤	۰/۰۵۵
کلروفیل کل	۰/۳۹۹	-۰/۰۸۹	۰/۱۷٦	۰/۳۲۷	۰/۲۳۵	-۰/۱٦٦
کاروتنوئید	۰/٤۱٤	-۰/۰۳۸	۰/۰٤۲	۰/۲۹۸	-۰/۰٦٤	-۰/۱٦۹
نسبت کلروفیل a/b	-۰/۳۵۷	-۰/۲۷	۰/۰۹۷	-۰/۲۰۲	-۰/۰۵٦	-۰/٤٤۸
نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید	-۰/۲۳٤	-۰/۰٦۵	۰/۲۸۹	۰/۰۷۳	۰/٤۷۳	-۰/۰۰۰۲
وزن خشک گیاه (گرم)	۰/۳٦۸	-۰/۰۱۳	-۰/۱۲٦	۰/۲۹۳	-۰/۰٦۷	۰/۲۲۱
فعالیت کاتالاز	-۰/۰۷۱	-۰/۱٤۷	-۰/٤۹۱	-۰/۲۰۹	۰/۲۹۸	۰/۳۸۲
فعالیت پراکسیداز	-۰/۰۱٦	-۰/۰٦۹	-۰/۵۵۹	-۰/۱٦٦	۰/۲۸۷	۰/٤۵۹
شاخص تحمل به تنش	-	-	-	۰/۳۳۰	۰/۰٦	۰/۰٤٦
Eigenvalue	۵/۳۹	۳/۲۳	۱/۷۷	٦/۹۸	۲/۵۸	۲/٤۹
Percent of variation	۳۵/۹۳	۲۱/۵۹	۱۸/٤۸	٤۳/٦۲	۱٦/۱۵	۱۵/۵۸
Cumulative percentage	۳۵/۹۳	۵۷/۵۲	۷٦/۰۱	٤۳/٦۲	۵۹/۷۷	۷۵/۳۵

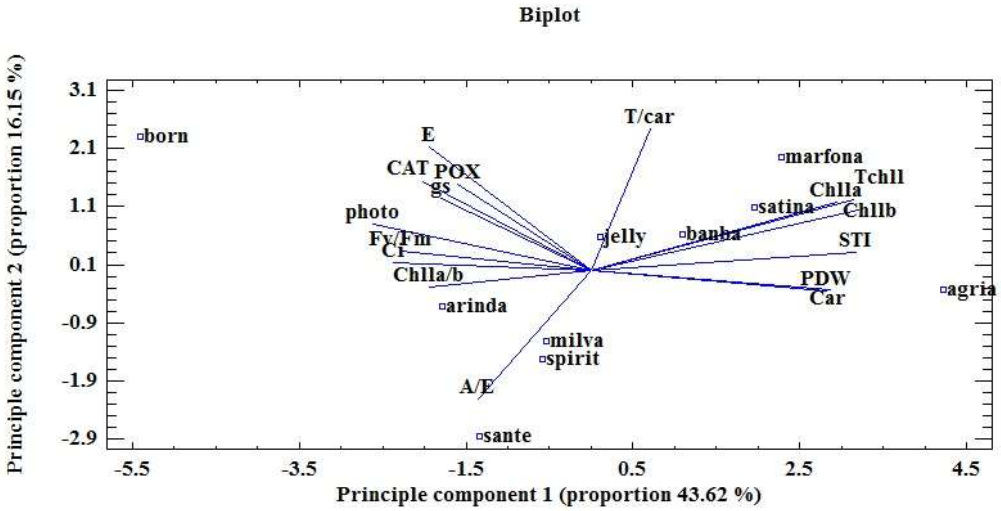
نتایج حاصل از آنالیز بای پلات، ارقام آگریا، ساتینا، اسپریت و مارفونا دارای ظرفیت فتوسنتزی و ماده خشک بالا (مولفه اصلی اول و دوم بالا) و غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه و تعرق بالا (مولفه اصلی سوم مثبت) در شرایط نرمال را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]



شکل ۱- بای پلات بر اساس صفات اندازه گیری شده در وضعیت نرمال. در این شکل Fv/Fm (کارائی کوانتومی فتوسیستم II)، photo (فتوسنتز)، ci (غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه)، gs (هدایت روزنه)، E (تعرق)، A/E (کارائی مصرف آب)، Chlla (کلروفیل a)، Chllb (کلروفیل b)، Tchll (کلروفیل کل)، Car (کاروتنوئید)، a/b (نسبت کلروفیل a/b)، T/car (نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید)، PDW (وزن خشک کل بوته)، CAT (کاتالاز) و POX (پراکسیداز).



شکل ۲- بای پلات بر اساس صفات اندازه گیری شده در وضعیت تنش کم آبی. در این شکل Fv/Fm (کارائی کوانتومی فتوسیستم II)، photo (فتوسنتز)، ci (غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه)، gs (هدایت روزنه)، E (تعرق)، A/E (کارائی مصرف آب)، Chlla (کلروفیل a)، Chllb (کلروفیل b)، Tchll (کلروفیل کل)، Car (کاروتنوئید)، a/b (نسبت کلروفیل a/b)، T/car (نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید)، PDW (وزن خشک کل بوته)، CAT (کاتالاز)، POX (پراکسیداز) و STI (شاخص تحمل به کم تنش).

دارا می‌باشند.

تحت وضعیت تنش کم آبی مولفه اصلی اول همبستگی مثبت و بالائی با کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، وزن خشک کل بوته و شاخص تحمل به تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

نشان داد. لذا انتخاب براساس ارزش بالای مولفه اصلی اول می‌تواند منجر به انتخاب ارقام با ظرفیت فتوسنتزی بالا و افزایش مقاومت به تنش کم آبی گردد. از سوی دیگر، دومین مولفه اصلی (PC2) همبستگی مثبت بالایی با هدایت روزنه‌ای، تعرق و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید داشت. همچنین سومین مولفه اصلی (PC3) همبستگی مثبت بالایی با فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز داشت. لذا ارقام با PC1 بالا مناسب در شرایط تنش کم آبی هستند (شکل ۲). براساس نتایج اولین، دومین و سومین مولفه در شرایط تنش کم آبی، به نظر می‌رسد که به ترتیب ارقام آگریا، مارفونا و ساتینا با مقادیر بالا و مثبت اولین و دومین مولفه اصلی از نظر تولید ماده خشک برای شرایط تنش کم آبی مناسب باشند.

نتیجه گیری

در این تحقیق در اثر تنش کم آبی کارائی کوانتومی فتوسیستم II، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارائی مصرف آب، محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و وزن خشک گیاه کاهش ولی غلظت دی اکسید کربن در حفره زیر روزنه، نسبت کلروفیل a به کلروفیل b و نسبت کلروفیل به کاروتنوئید افزایش یافت. میزان کاهش وزن خشک گیاه در اثر تنش آب در بین ارقام مورد مطالعه از ۳۵ (رقم سانته) تا ۷۷ درصد (رقم بورن) متغیر بود. بیشترین وزن خشک گیاه در شرایط بدون تنش به رقم آگریا و در شرایط تنش به رقم مارفونا تعلق داشت. با توجه به نتایج حاصل از بای پلات ویژگی‌های محتوای کلروفیل و کاروتنوئید بیشترین ارتباط را با صفت وزن خشک بوته هم در شرایط نرمال و هم در تنش نشان دادند و بنابراین به نظر می‌رسد ویژگی قابل انتخاب برای بهبود ارقام سیب زمینی مقاوم به تنش کم آبی اعمال شده در مرحله رشد رویشی باشند.

منابع

باقری، ح. ر.، قرینه، م. ح.، بخشنده، ع. ا.، طایی، ج.، محنت کش، ع. ا. و اندرزیان، و. ب. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی و مقدار نیتروژن بر عملکرد و برخی صفات کیفی و فیزیولوژیک سیب زمینی در شرایط آب و هوایی چهار محال و بختیاری. فصل نامه پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز ۲۲: ۲۲-۵.

ترکش اصفهانی، س. (۱۳۸٤) مقایسه عملکرد ارقام امریکایی و اروپایی سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در منطقه بروجن و بررسی تنوع ژنتیکی ارقام با استفاده از نشانگر ملوکولی AFLP. پایان نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد.

خواجه پور، م.ر. (۱۳۸۵) گیاهان صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

خورشیدی بنام، م. ب.، رحیم زاده، خ. ف.، میرهادی، م. ج. و محمدی، ق. ن. (۱۳۸۱) بررسی اثرات تنش خشکی در مراحل رشد مختلف ارقام سیب زمینی. مجله علوم زراعی ایران ٤: ۵۸-٤۸.

دولت آبادیان، آ.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، و شریفی، م. (۱۳۸۸) اثر تنش کم آبی و محلول پاشی اسید آسکوربیک بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و برخی تغییرات بیوشیمیایی در برگ ذرت دانه‌ای (*Zea maize* L.). مجله زیست شناسی ایران ۲۲: ٤۲۲-٤۰۷.

نجف زاده، س.، و احسانپور، ع. ا. (۱۳۹۱) اثر تنش خشکی بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی دو رقم سیب زمینی (*concord and kenebec*) در شرایط درون شیشه. دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم ۲: ۸۲-۷۰.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods of Enzymology 105: 121-126.

Anosheh, H. P., Emam, Y., Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2012) Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. Advanced Studies in Biology 4: 501-520.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Breusegem, F. V., Vranova, E., Dat, J. F. and Inze, D. (2001) The role of active oxygen species in plant signal transduction. Plant Science 161: 405-414.

Cheng, Y. J., Deng, X. P., Kwak, S. S., Chen, W. and Eneji, A. E. (2013) Enhanced tolerance of transgenic potato plants expressing choline oxidase in chloroplasts against water stress. Botanical Studies 54: 1-9.

Cornic, G. and Massacci, A. (1996) Leaf photosynthesis under drought stress. In: Photosynthesis and the environment (ed. Baker, N. R.) Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. and Noroozi, A. (2013) Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. Euphytica 190: 401-414.

Fao, (2014) Production-crops. food and agriculture organization of the united nations. Available at: www.Faostat.Fao.org.

Farhad, M. S., Babak, A. M. and Reza, Z. M. (2011) Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. Australian Journal of Crop Science 5: 55-60.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. (2009) Plant drought stress, effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

Fernandez, G. C. (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Taiwan.

Jenks, M. A., Hasegawa, P. M. and Jain, S. M. (2007) Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops. Dordrecht, Netherlands.

Lahlou, O., Ouattar, S. and Ledent, J. F. (2003) The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. Agronomy Journal 23: 257-268.

Li, D., Li, C., Sun, H., Liu, L. and Zhang, Y. (2012) Photosynthetic and chlorophyll fluorescence regulation of upland cotton (*Gossiypium hirsutum* L.) under drought conditions. Plant Omics Journal 5: 432-437.

Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Lu, Y. Y., Deng, X. P. and Kwak, S. S. (2010) Over expression of CuZn superoxide dismutase (CuZnSOD) and ascorbate peroxidase (APX) in transgenic sweet potato enhances tolerance and recovery from drought stress. African Journal of Biotechnology 9: 8378-8391.

Mahajan, S. and Tuteja, N. (2005) Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics 444: 139-158.

Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Science 7: 405-410.

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M. and Breusegem, F. V. (2004) Reactive oxygen gene network of plants. Trends Plant Science 9: 490-498.

Monakhova, O. F. and Chernyadev, I. I. (2002) Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. Applied Biochemeitry and Microbiology 38: 373-380.

Rao, M. V., Paliyath, G. and Ormod, D. P. (1996) Ultraviolet-B radiation and ozone- induced biochemical changes in the antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiology 110: 125-136.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought induced responses of photosynthesis and anti-oxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.

Sairam, R. K., Deshmukh, P. S. and Shukla, D. S. (1997) Tolerance to drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 178: 171-177.

Shi, S., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z. and Jia, L. (2015) Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long term water deficiency. International Journal of Plant Production 9: 305-320.

Singh, R. J. (2007) Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Vegetable Crops. CRC, Press. 3: P. 558.

Singh, J. and Kaur, L. (2009) Advances in potato chemistry and technology. Elsevier San Diego USA. 67: 556.

Thangadurai, D., Tang, W. and Song, S. Q. (2007) Plant Stress and Biotechnology. Oxford Book Company, ISBN.

Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F. Mackerron, D. K. L., Taylor, M. and Ross, H. (2007) Potato Biology and Biotechnology. Advances and Perspectives. Wageningen, the Netherlands.

Wahid, A. and Rasul, E. (2005) Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit. In: Handbook of Photosynthesis (ed. Pessarakli, M.) Pp. 479-497. CRC Press, Florida, USA.

Wegener, C. B. and Jansen, G. (2013) Antioxidants in different potato genotypes: effect of drought and wounding stress. Agriculture 3: 131-146.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

Yamasaki, T., Yamakawa, T., Yamane, Y., Koike, H., Satoh, K. and Katoh, S. (2002) Temperature acclimate ion of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat. Plant Physiology 128: 1087-1097.

Yordanov, I., Velikova, V. and Tsonev, T. (2000) Plant responses to drought, acclimation, and stress tolerance. Photosynthetica 38: 171-186.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]

Physiological tolerance and sensitivity to water defecit in potatoes cultivars

Mouhamad Alhoshan[1], Morteza Zahedi[2*], Ali Akbar Ramin[1] and Mohammad Reza Sabzalian[2]

[1]Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology [2]Department of Agronomy and Plant breeding, College of Agriculture, Isfahan Uni. of Technology

(Received: 20/12/2017, Accepted: 15/04/2018)

Abstract

In this study, the effects of water defecit on the physiological characteristics of ten potato cultivars at vegetative growth stage under greenhouse conditions were investigated at collage of agriculture of Isfahan University of Technology, Iran in 2016. Treatments included two irrigation regimes of 30 and 80% depletion of soil available water. Water stress decreased quantum efficiency of photosystem II, rate of photosynthesis, stomatal conductance, stomatal transpiration, water use efficiency, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids and plant dry weight but increased carbon dioxide concentration in the sub-stomatal chamber, chlorophyll a/b ratio, chlorophyll/ carotenoids ratio. Significant difference existed among potato cultivars in terms of most measuered traits. The interaction effects of irrigation regime and cultivar were significant on rate of photosynthesis, carbon dioxide concentration in the cavity below the hole, stomatal conductance, chlorophyll a, chlorophyll a/b ratio, chlorophyll / carotenoids ratio and plant dry weight. Under both irrigation regimes, the highest amount of plant dry weight was achived for Marfona and Satina and the lowest weight was obtained for Born cultivar. Maximum reduction in plant dry weight under water stress treatment belonged to Born (77%) and Spirit (76%) and minimum reduction (35%) was obtained in Santa. Also, the highest increase in the activity of the catalase enzyme was 410 and 243% in Born and Jelly cultivars, and the lowest was 85% in the Satina cultivar. The highest increase in activity of enzyme peroxidase was found to be 393 and 308% in Born and Banba cultivars, and the lowest was 86% in Milva cultivar. In this experiment, based on stress torence index (STI), cultivars Agria, Santia, Marfona, Spirit and Sante compared to the other potato cultivars, were more tolerant to water stress that was imposed during vegetative stage of plants.

Keywords: Potato cultivars, Water defecit, Photosynthesis, Chlorophyll, Carotenoids, Stomatal conductance

.

Corresponding author, Email: mzahedi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.13.1]