

## اثر تنش‌های کوتاه‌مدت دمای زیاد و کم بر رشد و تغییرات فیزیولوژیک خیار پیوندی روی انواع پایه‌های کدوهای بومی ایران

مریم حقیقی<sup>۱\*</sup>، زهرا نظری<sup>۱</sup> و هدی ساجدی مهر<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۶)

### چکیده

برای بررسی اثر پایه پیوند خیار بر تحمل گیاه خیار به سرمازدگی و گرم‌زدگی کوتاه‌مدت، پیوند خیار Super daminos بر پایه‌های *Cucurbita moschata* (توده ساری)، *Cucurbita moschata* (توده اصفهان)، *Cucurbita moschata* (توده بابل)، *Cucurbita moschata* (توده فرو) و مقایسه آن با خیار بدون پیوندی و خیار بر خیار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار دمایی شامل دمای بهینه (۲۵ درجه سلسیوس) و دمای کم (۴ درجه سلسیوس) و دمای زیاد (۴۰ درجه سلسیوس) با چهار تکرار در گلخانه و آزمایشگاه‌های پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا شد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که طول ریشه، قطر پایه، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ساقه در کلیه پایه‌ها نسبت به خیار غیرپیوندی افزایش داشت. بیش‌ترین وزن تازه و خشک ساقه در پایه ساری و اصفهان و بیش‌ترین وزن خشک ساقه در پایه فرو دیده شد. نتایج آثار برهم‌کنش نشان داد که بیش‌ترین میزان وزن تازه و خشک در تیمار پایه اصفهان و دمای بهینه و کم‌ترین میزان وزن تازه و خشک در پایه غیرپیوندی و دمای زیاد و بیش‌ترین وزن خشک در هر دو دمای زیاد و کم در بوته‌های پایه غیرپیوندی مشاهده شد. بیش‌ترین میزان فتوسنتز در پایه بابل و دمای بهینه و کم‌ترین میزان آن در پایه بابل و دمای زیاد به دست آمد. نتایج برهم‌کنش پایه و دما نشان داد که بیش‌ترین میزان مقاومت روزنه‌ای و شدت تعرق در پایه غیرپیوندی و دمای بهینه بود اما کم‌ترین میزان مقاومت روزنه‌ای در پایه اصفهان و دمای بهینه و کم‌ترین شدت تعرق در پایه ساری و دمای زیاد مشاهده شد. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان استفاده از پایه فرو و بابل را برای مقاومت نسبی این پایه‌ها به تنش کوتاه‌مدت دمای زیاد و پایین پیشنهاد کرد. به نظر می‌رسد این پایه‌ها با حفظ تقریبی فتوسنتز و کلروفیل و کاهش نسبی تعرق موفق به کاهش خسارت ناشی از تنش دمایی و کاهش خسارت بر رشد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: فتوسنتز، شدت تعرق، مقاومت روزنه‌ای، پیوند، پایه

### مقدمه

گیاه خیار ۲۴-۲۱ درجه سلسیوس است (۱۲). دمای هوای ۱۰ درجه یا زیر آن یعنی تنش سرمایی باعث تأخیر جوانه‌زنی بذرها، کاهش یا توقف رشد می‌شود و دماهای بیش از ۳۵ درجه سلسیوس یا تنش گرمایی سبب کاهش گرده‌افشانی و درپی آن

خیار پس از گوجه‌فرنگی، کلم و پیاز از سبزی‌های پرمصرف در دنیا است (۲۴) که از لحاظ باغبانی جزء گیاهان حساس به سرما محسوب می‌شود (۱۵). محدوده دمای بهینه رشد برای

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mhighighi@iut.ac.ir

شوگ گرمایی می‌شود. هر چند تنش گرمایی تابع پیچیده‌ای از شدت، مدت زمان و سرعت افزایش دما است که شدت آن بستگی به مدت زمان قرارگیری گیاه در دمای زیاد، دارد. برخی پژوهشگران اعتقاد دارند که مهم‌ترین عامل محدودکننده در تنش گرما دمای شب است. برخی دیگر بر این عقیده‌اند که میانگین دمای روزانه پیش‌بینی کننده خوبی برای واکنش گیاه به دمای زیاد است (۱۴). تنش گرمایی باعث برخی تغییرات متابولیکی از جمله تغییر ماهیت پروتئین‌ها، تجزیه شیمیایی مولکول‌ها در پروتوپلاسم، تخریب DNA و RNA، کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس (گرسنگی گیاه) و تولید برخی مواد سمی در اثر تجزیه مواد خواهد شد که در نهایت باعث از بین رفتن گیاه می‌شود.

فتوسنتز و تنفس دو پدیده حیاتی هستند که بیش از هر فرآیند دیگری به تغییرات دمای هوا واکنش نشان می‌دهند. وقتی فتوسیستم دو به وسیله انواع تنش‌ها خسارت می‌بیند، ویژگی‌های فلورسانس تغییر می‌کند. تغییر در مقدار فلورسانس کلروفیل سیستمی برای شناخت و ارزیابی تحمل تنش برای درجه‌بندی گیاهان است (۱۱). فلورسانس کلروفیل به‌طور معمول برای ارزیابی واکنش گونه‌های گیاهی به تنش‌هایی مانند یخ‌زدگی، شوری و خشکی استفاده می‌شود. از طرفی فلورسانس کلروفیل می‌تواند کاهش در سلامت اولیه گیاه را پیش از اینکه نشانه‌های زوال آشکار شود، شناسایی کند (۲۵).

سازوکارهایی وجود دارد که از طریق آنها گیاه می‌تواند از صدمات تنش مصون بوده، متابولیسم عادی و چرخه زندگی خود را ادامه دهد (۱۷). تکنیک پیوند یکی از روش‌های مورد استفاده برای افزایش مقاومت در برابر دماهای زیاد (۲۱) و کم (۵) است. در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری، استفاده از پایه‌های مقاوم و کاشت سبزی‌های پیوندی در کشورهای ژاپن و کره گسترش خوبی یافته است به‌طوری که براساس آمار وزارت کشاورزی و جنگل‌داری ژاپن ۹۶ درصد خیارها، ۹۴ درصد بادمجان‌ها، ۴۲ درصد خربزه‌ها، ۴۸ درصد گوجه‌فرنگی‌ها و ۹۸ درصد هندوانه‌ها در سال ۲۰۰۰ در این کشور از نوع پیوندی

کاهش تشکیل میوه‌ها، تعداد و وزن میوه و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود. همچنین در اثر تنش گرمایی میزان رادیکال‌های آزاد افزایش یافته و میزان کلروفیل کاهش می‌یابد (۱۰).

گیاهان برای رشد بهینه به محدوده دمایی خاصی احتیاج دارند و خارج شدن از این محدوده به‌عنوان یک تنش محسوب می‌شود (۲۶). بیشتر گیاهان به ویژه آنهایی که بومی مناطق گرم هستند، هنگامی که در معرض دمای کم ولی بالای دمای یخ‌زدگی قرار می‌گیرند، علائم آسیب از خود نشان می‌دهند (۱۲). آسیب‌های ناشی از تنش سرما، در سطح سلولی و اندام‌ها بروز می‌کند که بازتاب آن در سطح گیاه مشاهده می‌شود (۱۹). تغییر رنگ، کلروز، کاهش عمومی رشد، تخریب بافت‌های سلولی، عدم جذب عناصر غذایی، کاهش فتوسنتز، عدم انتقال مواد فتوسنتزی از آثار اولیه تنش سرما است (۲۶). واکنش سلولی در مقابله با سرما، شامل از دست‌دادن فشار تورژسانس، واکوئولیزه شدن، برهم خوردن تعادل غشای سیتوپلاسمی، وزیکوله شدن، کاهش جریان سیتوپلاسمی و اختلال کلی در اندامک‌ها است. حساسیت یا پایداری گیاه در برابر سرما بسته به نوع گیاه، رقم، مرفولوژی بافت و سایر ویژگی‌های سلولی و همچنین شرایط وقوع سرما از نظر مدت، زمان، شدت سرما متفاوت است. ضمن اینکه به‌نظر می‌رسد اندام‌های مختلف گیاه نیز از نظر تحمل به سرما درجه‌های متفاوتی داشته باشند (۱۹).

نه تنها دمای کم بلکه دمای زیادتر از شرایط نرمال نیز باعث ایجاد تغییرات نامطلوب در گیاه می‌شود. از این‌رو تنش گرمایی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های زیان‌بخش جوی است که دشواری‌های بسیاری از جمله تحریک ریزش غنچه، گل، میوه را برای محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند (۲۴). کاهش تولید محصول در هنگام تنش گرما در بسیاری از گیاهان مانند گوجه‌فرنگی، فلفل، لوبیا و کلزا مشاهده شده است. تنش گرما در گیاهان عبارت از افزایش دما بالای سطح آستانه برای یک دوره زمانی است که موجب تغییر جبران‌ناپذیر در رشد و نمو گیاه می‌شود. به‌طور کلی افزایش ناپایدار در دما معمولاً ۱۵-۱۰ درجه سلسیوس بالای دمای مطلوب موجب تنش گرما و یا

شد. تیمارهای دمایی مورد مطالعه شامل دمای بهینه ( $25 \pm 2$ ) درجه سلسیوس)، دمای کم ( $4 \pm 2$ ) درجه سلسیوس) و دمای زیاد ( $40 \pm 2$ ) درجه سلسیوس) بود که در انکوباتور (GC-400، IRAN) به مدت ۱۰ روز به صورت تدریجی اعمال شد.

برای تهیه نشاء، بذرها ابتدا به مدت ۱۲ ساعت در آب خیسانده شده و سپس بذره‌های پایه به گلدان‌های دارای مخلوط ماسه و خاک باغچه به نسبت حجمی ۱ به ۱ منتقل شد. بذره‌های پیوندک نیز از گیاهان، ۱۰ روز پیش از انجام پیوند در مخلوط کوکوپیت و پرلیت با نسبت حجمی ۱ به ۱ کشت شد. پیوندک پس از ظهور برگ حقیقی و رسیدن به قطر  $5/0$  سانتی‌متر از زیر برگ‌های لپه‌ای قطع شد و پیوند حفره‌ای بر پایه‌های مختلف انجام گرفت. برای انجام پیوند حفره‌ای ابتدا بذر پایه و پس از سه روز بذر پیوندک کشت شود. پس از ظهور اولین برگ حقیقی در گیاه پایه، جوانه انتهایی آن قطع شده و به وسیله یک مته حفره‌ای در رأس گیاه پایه ایجاد شد. از سوی دیگر گیاه پیوندک هم از قسمت هیپوکوتیل از فاصله دو سانتی‌متری ریشه به صورت مورب برش داده شده و درون حفره ایجاد شده در پایه قرار گرفت. سپس گیاهان پیوند شده به مدت ده روز در اتاقک رشد با رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شدند. پس از دو هفته و حصول اطمینان از گرفتن پیوند و پس از عمل مقاوم‌سازی گیاهان پیوندی به مدت یک هفته، به گلدان‌های چهار لیتری حاوی مخلوط ماسه و خاک باغچه به نسبت ۱ به ۱ با انتقال یافته و سپس به انکوباتور برای اعمال تیمارهای دمایی مدنظر منتقل شد. در مدت چهار ماهه آزمایش، هر هفته  $200$  میلی‌لیتر کود کامل NPK ( $20-20-20$ ) با غلظت یک در هزار به صورت محلول آبیاری استفاده شده و در صورت لزوم آبیاری انجام شد.

فاکتورهای تعداد گره، طول میان‌گره، وزن تازه و خشک ساقه، میزان فتوسنتز و طول بوته در آخرین مرحله از آزمایش (در زمان برداشت محصول) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تازه و خشک اندام هوایی، ابتدا ریشه از محل طوقه از قسمت شاخساره جدا شد و وزن شاخساره با ترازوی دیجیتال

بودند. در کره نیز ۹۵ درصد خیارها، ۲ درصد بادمجان‌ها، ۹۵ درصد خربزه‌ها، ۵ درصد گوجه‌فرنگی‌ها و ۹۸ درصد هندوانه‌ها پیوندی بودند. استفاده از پایه‌های مختلف برای سبزی‌ها اهداف گوناگونی از جمله افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زای خاک‌زی، دمای کم خاک، شوری و رطوبت زیاد خاک، افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه، افزایش قدرت رشد گیاه، عملکرد، طول مدت برداشت اقتصادی و کیفیت میوه را دنبال می‌کند (۱۸). رشد و عملکرد، تعداد میوه، وزن تازه ریشه حاصل از پیوند دو رقم خیار گلخانه‌ای رایج در ایران (Vilmorin, Royal 24189)، روی پایه کدوی برگ انجیری (*Cucurbita ficifolia*) افزایش یافت (۱۸).

در پرورش خیار امکان سردشدن موقتی هوا در شب یا افزایش دما در ظهر در مزرعه وجود دارد که بوته‌ها باید تحمل این تغییر دمای موقتی را داشته باشند از طرفی پیوند سبزی‌ها بی‌شک با دستاوردهای امیدبخش خود، در تولید محصولات سالم و ارگانیک، در آینده‌ای نزدیک با پیشرفت فناوری و صنعت در کشورهای در حال توسعه جایگاه خود را در بین کشاورزان پیدا خواهد کرد. با توجه به مزایایی که برای گیاهان پیوندی بیان شد، هدف از این پژوهش، شناخت و معرفی مناسب‌ترین پایه برای رشد و عملکرد خیارهای گلخانه‌ای در شرایط تنش کوتاه‌مدت دمایی است.

## مواد و روش‌ها

### تیمارها و مواد آزمایشی

برای بررسی اثر پیوند بر تحمل به تنش دمایی خیار Super daminos بر پایه‌های خیار Super daminos، (*Cucurbita moschata*) توده ساری (Rcm)، (*Cucurbita moschata*) توده اصفهان (Res)، (*Cucurbita moschata*) توده بابل (Rcb)، (*Cucurbita moschata*) توده فرو (Rcf) و مقایسه آن با خیار بدون پیوند (Super daminos) (Rn) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار دمایی و چهار تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان اجرا

به ۰/۲ گرم از بافت تازه ده میلی لیتر متانول افزوده شد، سپس سانتریفیوژ شد و به ۵۰ میکرو لیتر عصاره متانولی به ۹۵۰ میکرو لیتر محلول DPPH افزوده شده و در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه در شرایط تاریکی نگهداری شد. کاهش در جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد:

$$DPPH_{sc} = ((A_{cont} - A_{samp}) / A_{cont}) \times 100 \quad [1]$$

که در این رابطه  $DPPH_{sc}$  درصد بازدارندگی،  $A_{samp}$  میزان جذب (نمونه + DPPH) و  $A_{cont}$  میزان جذب DPPH است.

برای اندازه‌گیری فنول مترشحه از ریشه و عصاره برگ به شیوه فولین سیو کالتو ۵ با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-600A، ژاپن) قرائت شد (۱۳). اندازه‌گیری نشت یونی به روش زو و همکاران (۳۲) انجام شد.

داده‌ها در نرم‌افزار Excel طبقه‌بندی شده و با برنامه آماری Statstix 8 تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج

### آثار اصلی پایه و تنش دمایی بر صفات رشدی و فتوسنتزی خيار پیوندی

نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد که طول ساقه، طول ریشه و وزن تازه و خشک ریشه تغییر معنی‌داری تحت تنش نداشت اما قطر پایه، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ساقه، در سرمازدگی و گرمازدگی در مقایسه با دمای بهینه کاهش معنی‌داری نشان داد و به جز قطر پایه میزان کاهش این صفات در دمای زیاد بیش از دمای کم بود (جدول ۱).

طول ساقه در خیار غیرپیوندی و خود پیوندی کم‌ترین و در سایر پایه‌ها افزایش نشان داد. طول ریشه، قطر پایه، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ساقه در کلیه پایه‌ها نسبت به خیار غیرپیوندی افزایش داشت. بیش‌ترین وزن تازه و خشک ساقه در پایه ساری و اصفهان و بیش‌ترین وزن خشک ریشه در پایه فرو دیده شد (جدول ۲).

دقیق اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های شاخساره درون پاکت قرار گرفتند و در آزمایشگاه درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس در مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از ترازوی دیجیتالی دقیق برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها استفاده شد. برای محاسبه طول بوته، از محل طوقه تا بلندترین شاخساره به کمک خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم ریشه از طریق تغییر حجم آب بر اساس قانون ارشمیدس اندازه‌گیری شد.

شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت مینولتا، ژاپن) اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول  $CO_2$  بر مترمربع بر ثانیه)، مقاومت روزنه‌ای (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، شدت تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) و غلظت  $CO_2$  درون روزنه‌ای (میکرومول بر مول) از دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای کور، ایالات متحده آمریکا) استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. در هر تیمار، صفات مورد نظر در برگ‌های میانی کاملاً توسعه‌یافته با ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. داده‌ها ۳۰ ثانیه پس از قرار دادن برگ درون محفظه دستگاه ثبت شد (۱ و ۱۳). هدایت مزوفیلی (میلی‌مول  $CO_2$  در مترمربع در ثانیه) از تقسیم‌کردن فتوسنتز به غلظت  $CO_2$  درون روزنه‌ای به‌دست می‌آید (۷).

برای اندازه‌گیری میزان پرولین، نمونه تازه برگ‌ها درون نیتروژن مایع خرد شده و با سولفوسالسیلیک اسید هموژن شد. پس از سانتریفیوژ، محلول به همراه اسیدناین هیدرین و اسید استیک در آب جوش قرار داده شد و سپس برای توقف واکنش در یخ قرار گرفت. پس از افزودن تولوئن، جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شده و میزان پرولین با استفاده از منحنی‌های استاندارد پرولین محاسبه شد (۴).

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های گیاه خیار،

جدول ۱. مقایسه میانگین اثر دماهای مختلف بر شاخص‌های رشد گیاه خیار پیوندشده روی پایه‌های مختلف.

**Table 1.** Mean comparisons of the effect of different temperatures on the growth indices of grafted cucumber plants on different rootstocks.

گرم‌زدگی	سرمازدگی	دمای بهینه	تیمار دما
Heat stress	Chilling	Optimal temperature	Temperature treatment
0.31 <sup>b</sup>	0.44 <sup>ab</sup>	0.5 <sup>a</sup>	حجم ریشه به‌ازای بوته (Root volume, cm <sup>3</sup> per plant)
0.02 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	وزن خشک ریشه به‌ازای بوته (Root dry weight, g per plant)
0.81 <sup>a</sup>	45 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>	وزن تازه ریشه به‌ازای بوته (Root fresh weight, g per plant)
10.67 <sup>a</sup>	12.43 <sup>a</sup>	11.22 <sup>a</sup>	طول ریشه به‌ازای بوته (Root length, cm per plant)
0.12 <sup>b</sup>	0.13 <sup>ab</sup>	0.15 <sup>a</sup>	وزن خشک ساقه به‌ازای بوته (Shoot dry weight, g per plant)
1.01 <sup>c</sup>	1.95 <sup>b</sup>	2.41 <sup>a</sup>	وزن تازه ساقه به‌ازای بوته (Shoot fresh weight, g per plant)
11.71 <sup>a</sup>	10.58 <sup>a</sup>	11.85 <sup>a</sup>	طول ساقه (Stem length, cm)
2.78 <sup>b</sup>	2.96 <sup>b</sup>	3.3 <sup>a</sup>	قطر پایه (Rootstock diameter, cm)

در هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

In each row, means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر پایه‌های مختلف بر شاخص‌های رشدی گیاه خیار پیوندشده روی پایه‌های مختلف.

**Table 2.** Mean comparisons of the effect of different rootstocks on the growth indices of the grafted cucumber plants on different rootstocks.

فرو	بابل	اصفهان	خیار	ساری	غیرپیوندی	پایه
Ferro	Babol	Isfahan	Cucumber	Sari	Non-grafting	Rootstock
0.65 <sup>a</sup>	0.41 <sup>bc</sup>	0.53 <sup>ab</sup>	0.24 <sup>cd</sup>	0.51 <sup>ab</sup>	0.17 <sup>d</sup>	حجم ریشه به‌ازای بوته (Root volume, cm <sup>3</sup> per plant)
0.3 <sup>a</sup>	0.1 <sup>bc</sup>	0.2 <sup>b</sup>	0.1 <sup>c</sup>	0.3 <sup>ab</sup>	0.02 <sup>d</sup>	وزن خشک ریشه به‌ازای بوته (Root dry weight, g per plant)
7.5 <sup>a</sup>	7.42 <sup>a</sup>	7.34 <sup>a</sup>	7.19 <sup>a</sup>	7.36 <sup>a</sup>	7.14 <sup>a</sup>	وزن تازه ریشه به‌ازای بوته (Root fresh weight, g per plant)
16.76 <sup>a</sup>	11.07 <sup>bc</sup>	14.48 <sup>ab</sup>	7.56 <sup>cd</sup>	13.15 <sup>ab</sup>	5.52 <sup>d</sup>	طول ریشه به‌ازای بوته (Root length, cm per plant)
1.15 <sup>b</sup>	1.16 <sup>b</sup>	1.2 <sup>a</sup>	1.07 <sup>c</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.03 <sup>d</sup>	وزن خشک ساقه به‌ازای بوته (Shoot dry weight, g per plant)
12.19 <sup>ab</sup>	10.87 <sup>b</sup>	12.67 <sup>a</sup>	10.89 <sup>c</sup>	12.55 <sup>a</sup>	10.6 <sup>c</sup>	وزن تازه ساقه به‌ازای بوته (Shoot fresh weight, g per plant)
14.27 <sup>a</sup>	14.94 <sup>a</sup>	12.9 <sup>a</sup>	7.33 <sup>b</sup>	13.36 <sup>a</sup>	5.46 <sup>b</sup>	طول ساقه (Stem length, cm)
3.32 <sup>b</sup>	3.47 <sup>ab</sup>	3.23 <sup>b</sup>	2.94 <sup>c</sup>	3.94 <sup>a</sup>	1.58 <sup>d</sup>	قطر پایه (Rootstock diameter, cm)

در هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

In each row, means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

گرم‌زدگی کاهش یافت اگرچه میزان کاهش در تنش گرم‌زدگی بیش‌تر بود (جدول ۳).

شاخص کلروفیل در پایه غیرپیوندی و پیوند روی خیار و پایه اصفهان بیش‌ترین میزان را نشان داد. میزان مقاومت روزنه‌ای و شدت تعرق در پایه غیرپیوندی بیش‌ترین مقدار

تغییرات دمایی بر شاخص کلروفیل، شاخص فتوسنتز، میزان فنول و نشت یونی هم تأثیرگذار بود و بیش‌ترین میزان فنول و نشت یونی در دمای زیاد، بیش‌ترین شاخص کلروفیل و فتوسنتز در دمای بهینه مشاهده شد. میزان کلروفیل، شاخص فتوسنتز، مقاومت روزنه‌ای و شدت تعرق در اثر سرمازدگی و

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر دماهای مختلف بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه خیار پیوندشده روی پایه‌های مختلف.

**Table 3.** Mean comparisons of the effect of different temperatures on the photosynthetic indices of grafted cucumber plants on different rootstocks.

گرم‌زدگی Heat stress	سرمازدگی Chilling	دمای بهینه Optimal temperature	تیمار دما Temperature treatment
93.93 <sup>a</sup>	49.22 <sup>c</sup>	60.05 <sup>b</sup>	نشت یونی (Ion leakage, %)
0.34 <sup>a</sup>	0.29 <sup>ab</sup>	0.27 <sup>b</sup>	فنول (Phenol, mg L <sup>-1</sup> )
0.93 <sup>c</sup>	1.17 <sup>b</sup>	1.27 <sup>a</sup>	شدت تعرق (Transpiration, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
0.056 <sup>c</sup>	0.058 <sup>b</sup>	0.06 <sup>a</sup>	مقاومت روزنه‌ای (Stomatal resistance, $\text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
3.77 <sup>c</sup>	6.55 <sup>b</sup>	10.98 <sup>a</sup>	فتوسنتز (Photosynthesis, $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
5.34 <sup>b</sup>	5.94 <sup>ab</sup>	6.98 <sup>a</sup>	شاخص کلروفیل (Chlorophyll index, SPAD value)

در هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

In each row, means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر پایه‌های مختلف بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه خیار پیوندشده روی پایه‌های مختلف.

**Table 4.** Mean comparisons of the effect of different rootstocks on the photosynthetic indices of the grafted cucumber plants on different rootstocks.

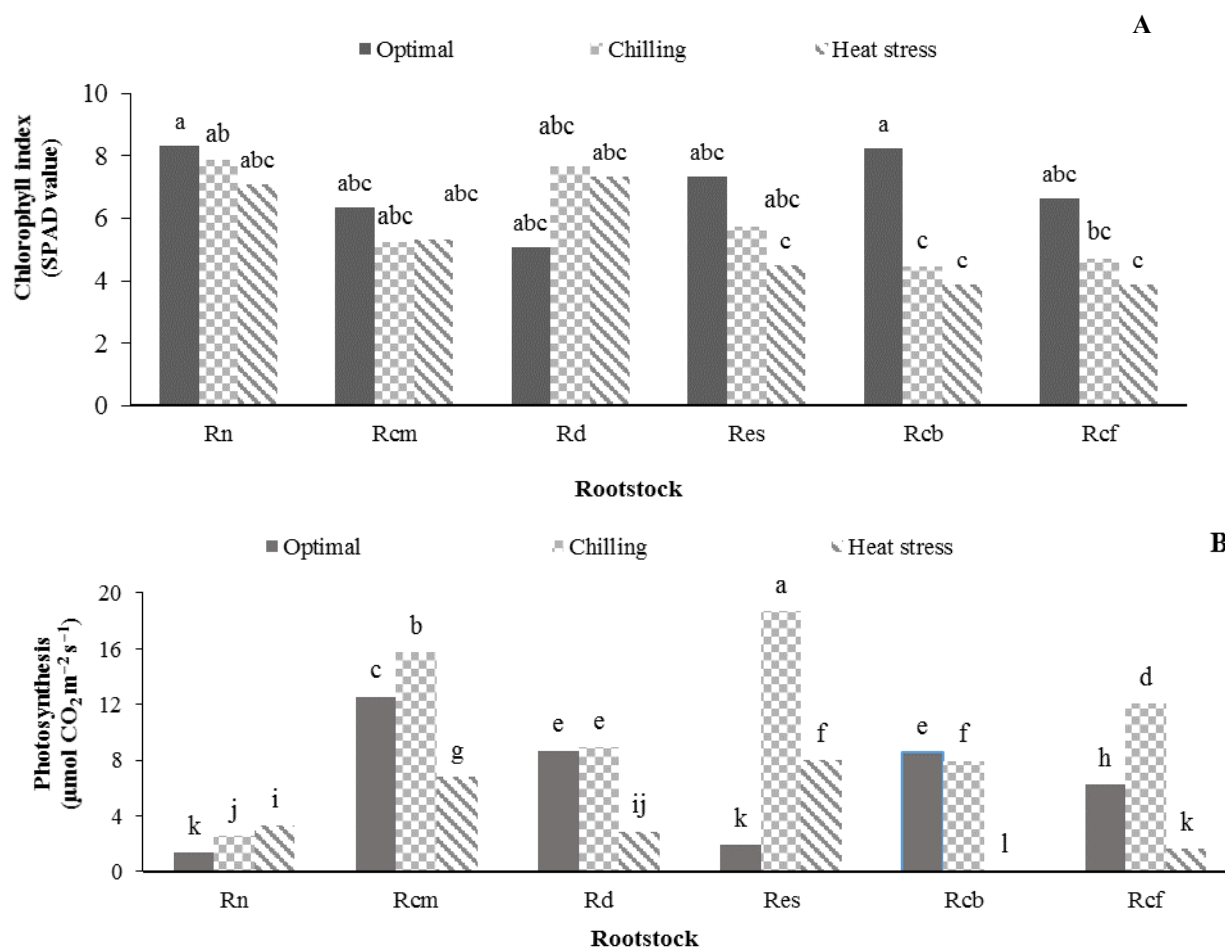
فرو Ferro	بابل Babol	اصفهان Isfahan	خیار Cucumber	ساری Sari	غیرپیوندی Non-grafting	پایه Rootstock
47.72 <sup>d</sup>	91.72 <sup>a</sup>	59.61 <sup>c</sup>	69.92 <sup>b</sup>	49.46 <sup>d</sup>	87.95 <sup>a</sup>	نشت یونی (Ion leakage, %)
0.24 <sup>bc</sup>	0.27 <sup>bc</sup>	0.24 <sup>bc</sup>	0.51 <sup>a</sup>	0.22 <sup>c</sup>	0.33 <sup>b</sup>	فنول (Phenol, mg L <sup>-1</sup> )
1 <sup>d</sup>	1.23 <sup>b</sup>	0.96 <sup>e</sup>	1.08 <sup>c</sup>	0.83 <sup>f</sup>	1.65 <sup>a</sup>	شدت تعرق (Transpiration, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
0.053 <sup>c</sup>	0.06 <sup>b</sup>	0.05 <sup>d</sup>	0.054 <sup>c</sup>	0.05 <sup>d</sup>	0.08 <sup>a</sup>	مقاومت روزنه‌ای (Stomatal resistance, $\text{mmol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
16.64 <sup>c</sup>	15.52 <sup>d</sup>	19.51 <sup>b</sup>	16.83 <sup>c</sup>	21.69 <sup>a</sup>	12.4 <sup>e</sup>	فتوسنتز (Photosynthesis, $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
5.07 <sup>b</sup>	5.51 <sup>b</sup>	5.86 <sup>ab</sup>	6.68 <sup>ab</sup>	5.63 <sup>b</sup>	7.76 <sup>a</sup>	شاخص کلروفیل (Chlorophyll index, SPAD value)

در هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

In each row, means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

افزایش داشت و به حداکثر مقدار در پایه ساری رسید. میزان فنول ریشه در پایه ساری کم‌ترین و در پایه خیار بیش‌ترین میزان را داشت (جدول ۴).

و کم‌ترین مقدار را در خیار داشت. و کم‌ترین شدت تعرق در پایه ساری و کم‌ترین مقاومت روزنه‌ای در پایه ساری و اصفهان به دست آمد. شاخص فتوسنتز در خیار پیوندی در کلیه پایه‌ها



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر: الف) میزان کلروفیل و ب) فتوسنتز (Rn پایه غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو). میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

**Fig. 1.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on: A) chlorophyll index and B) photosynthesis (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

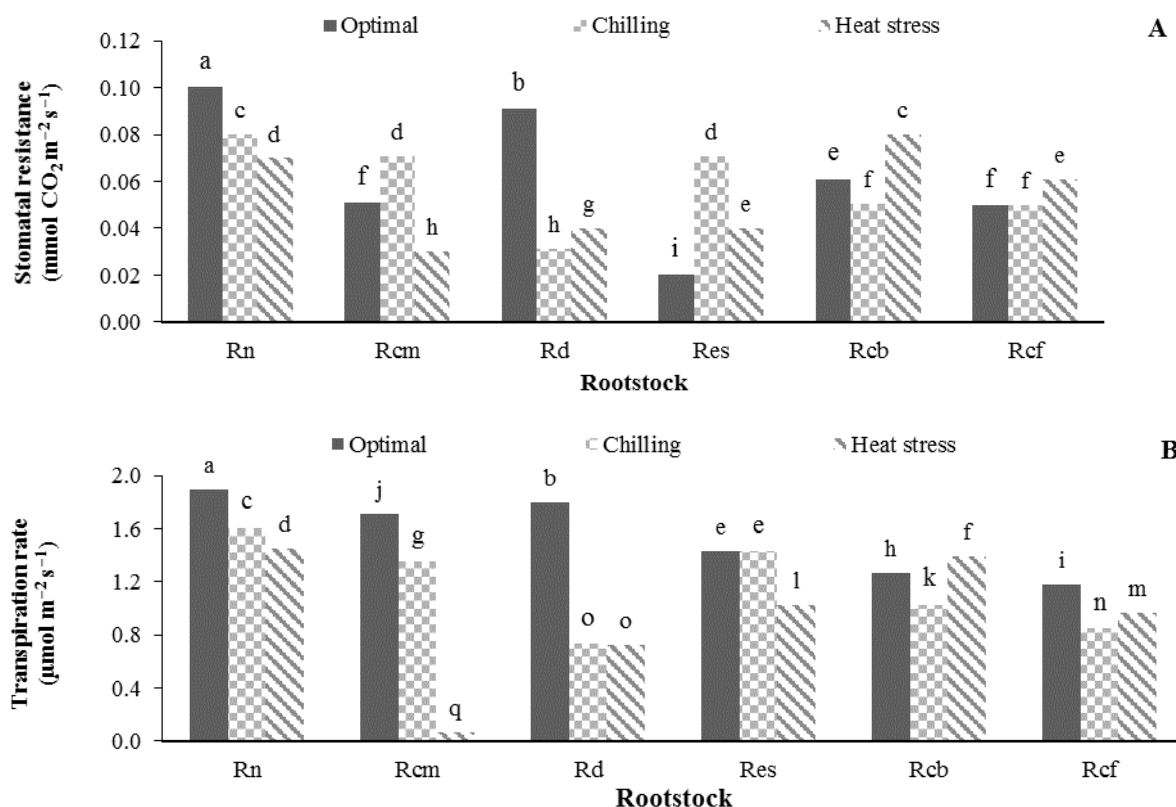
فتوسنتز روند مشخصی را در بین پایه‌ها با افزایش دما نشان نداد اما به نظر می‌رسد در پایه‌های بابل، فرو، دامینوس و ساری در تنش دمای زیاد نسبت به دمای کم کاهش بیشتری یافت و بیش‌ترین میزان فتوسنتز در پایه بابل و دمای بهینه و کم‌ترین میزان آن هم در پایه بابل اما دمای زیاد بود (شکل ۱-ب).

نتایج برهم‌کنش پایه و دما نشان داد که بیش‌ترین میزان مقاومت روزنه‌ای و شدت تعرق در پایه غیرپیوندی و دمای بهینه بود اما کم‌ترین میزان مقاومت روزنه‌ای در پایه اصفهان و دمای بهینه و کم‌ترین شدت تعرق در پایه ساری و دمای زیاد

اثر برهم‌کنش پایه و تنش دمایی بر صفات رشدی و

#### فتوسنتزی خیار پیوندی

برهم‌کنش پایه و تنش دمایی بر کلروفیل نشان داد که در دمای کم میزان کلروفیل در پایه بابل و در دمای زیاد میزان کلروفیل در پایه بابل، فرو و اصفهان کاهش معنی‌داری نسبت به شرایط بهینه آن پایه داشت و با انجام عمل پیوند در سایر پایه‌ها تنش دمایی نتوانست باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل شود (شکل ۱-الف). شاخص فتوسنتز نسبتاً در پایه غیرپیوندی از میزان کمی در کلیه دماها نسبت به پایه‌های پیوندی برخوردار بود. اگرچه شاخص



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر: الف) مقاومت روزنه‌ای و ب) شدت تعرق (Rn پایه غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو)؛ میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

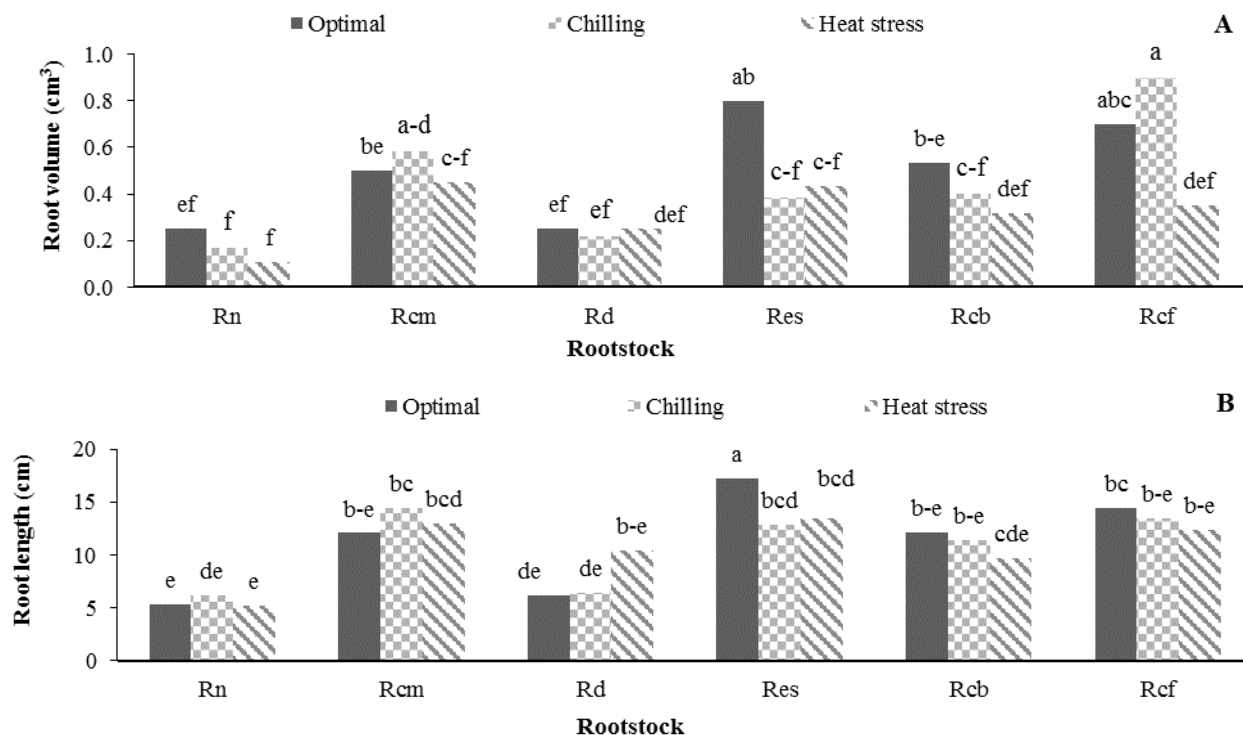
**Fig. 2.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on: A) stomatal resistance and B) transpiration rate (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

زیاد و کم از نظر قطر پایه داشت زیرا بیش‌ترین قطر پایه در دمای کم داشت و کم‌ترین اندازه قطر پایه در پایه غیرپیوندی و دمای زیاد مشاهده شد (شکل ۴).

وزن خشک ریشه در کلیه پایه‌ها و دماها (بجز پایه Rd) نسبت به پایه غیرپیوندی بیش‌تر بود. تنش دماهای زیاد و کم وزن تازه و خشک ریشه را در هر پایه نسبت به شرایط بهینه به طور معنی‌داری نتوانست کاهش دهد به‌جز پایه فرو در دمای زیاد که نسبت به شرایط بهینه کاهش یافت. وزن تازه و خشک ساقه هم تحت تأثیر تغییر دمایی قرار گرفت و بیش‌ترین میزان وزن تازه و خشک در تیمار پایه اصفهان و دمای بهینه و حداقل میزان وزن تازه و خشک در پایه غیرپیوندی، دمای زیاد برای وزن تازه و هر دو دمای کم و زیاد برای وزن خشک مشاهده شد (شکل ۵-الف و ب).

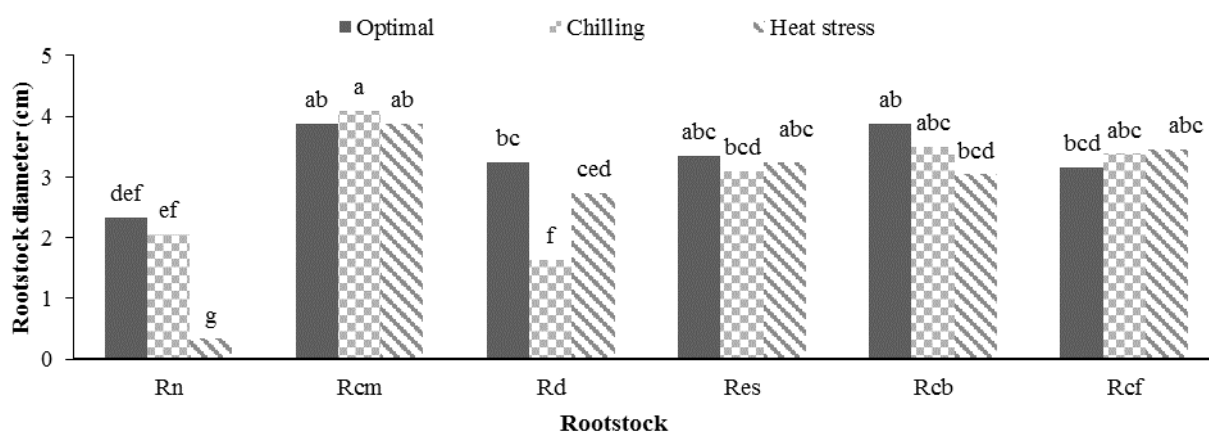
مشاهده شد (شکل ۲-الف و ب). در دمای زیاد تعرق در پایه بابل با افزایش دما افزایش یافت و در سایر پایه‌ها شدت تعرق در دمای زیاد نسبت به شرایط بهینه حفظ شد. طول و حجم ریشه در کلیه پایه‌ها جز دامینوس نسبت به خیار غیرپیوندی بیش‌تر بود و بیش‌ترین طول ریشه در پایه اصفهان و دمای بهینه، کم‌ترین آن در پایه غیرپیوندی و دمای زیاد بود که البته با تیمار پایه غیرپیوندی و دمای بهینه هم تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نشان نداد (شکل ۳-الف). همچنین بیش‌ترین حجم ریشه در پایه فرو و دمای کم و کم‌ترین آن در پایه غیرپیوندی و دمای زیاد مشاهده شد که با دمای کم همان پایه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳-ب). در بین پایه‌ها، پایه ساری بهترین سازگاری را با تنش دمایی





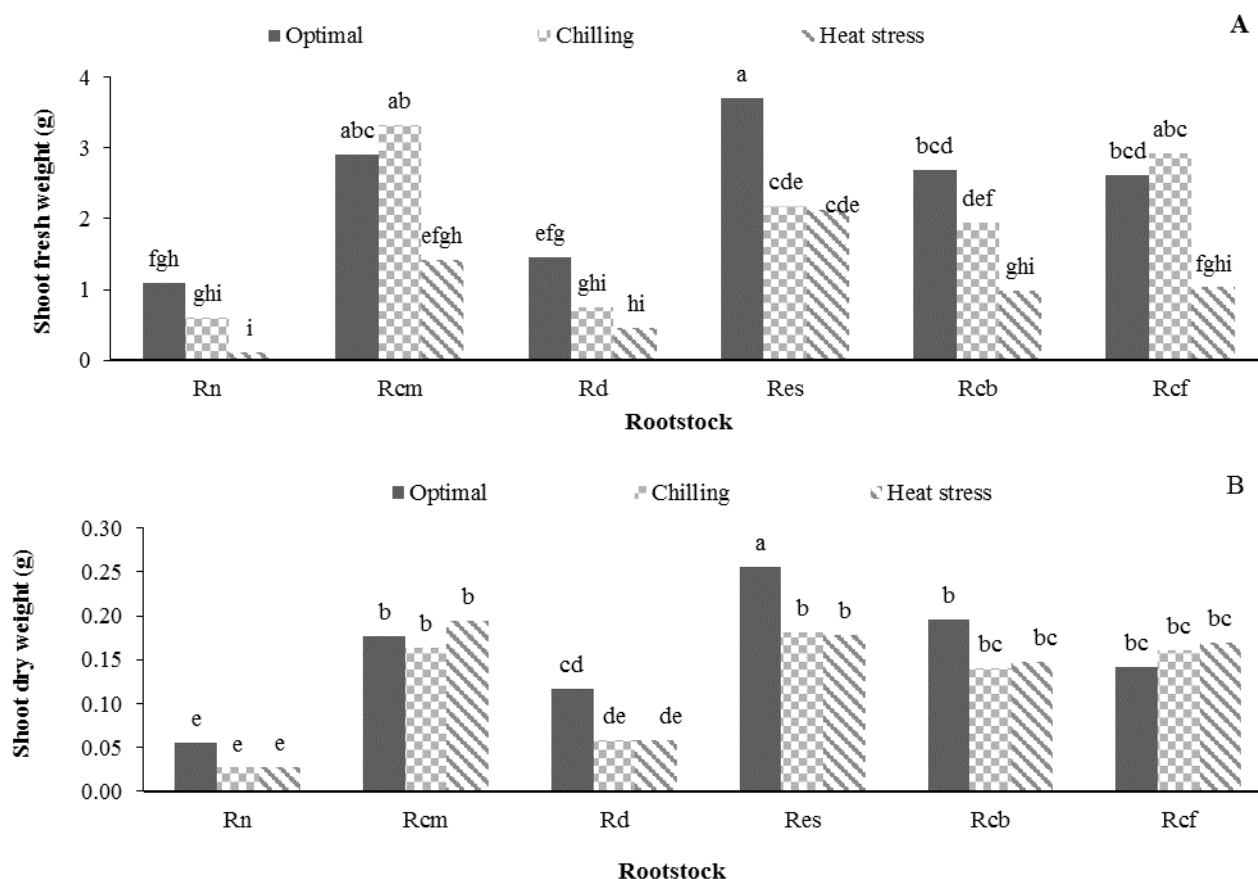
شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر: الف) حجم ریشه به‌ازای بوته و ب) طول ریشه به‌ازای بوته (Rn پایه غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو)؛ میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

**Fig. 3.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on: A) root volume per plant and B) root length per plant (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر قطر پایه (Rn پایه غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو)؛ میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

**Fig. 4.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on the rootstock diameter (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر: الف) وزن تازه ساقه به‌ازای بوته و ب) وزن خشک ساقه به‌ازای بوته (Rn پایه غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو)؛ میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

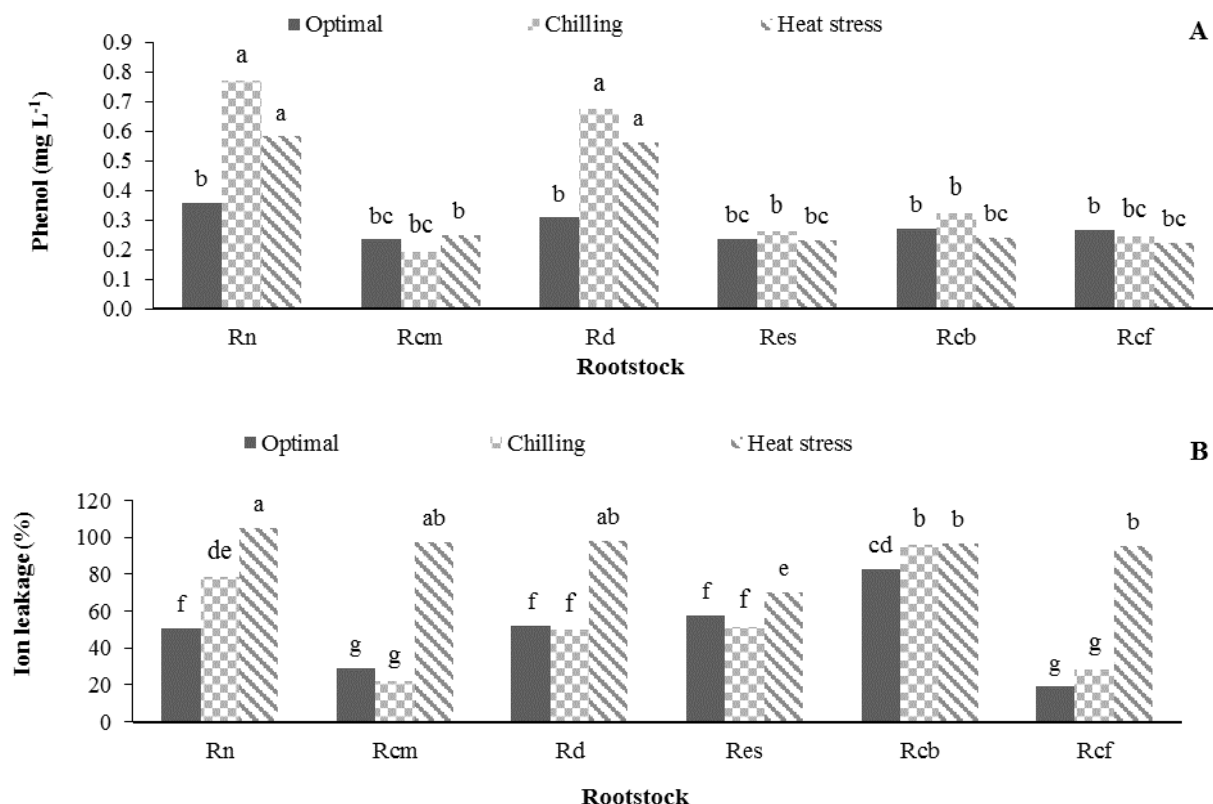
**Fig. 5.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on: A) shoot fresh weight per plant and B) shoot dry weight per plant (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

افزایش یافت اما در سایر پایه‌ها نسبت به دمای بهینه تغییری مشاهده نشد. میزان پرولین در اثر تنش دمایی زیاد نسبت به دمای بهینه در هر پایه فرو افزایش معنی‌داری نشان داد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدان ریشه و ساقه در پایه غیرپیوندی با تنش دمایی افزایش یافت، و ظرفیت آنتی‌اکسیدان ریشه در پایه ساری در گرمادگی افزایش و در ساقه در هر دو تنش کاهش یافت. ظرفیت آنتی‌اکسیدان ریشه و ساقه در پایه دامینوس با تنش دمایی کاهش یافت و در گرمادگی این کاهش در ریشه معنی‌دار بود. آنتی‌اکسیدان ریشه در سرمادگی افزایش یافته و آنتی‌اکسیدان ساقه در هر دو تنش کاهش یافت. آنتی‌اکسیدان

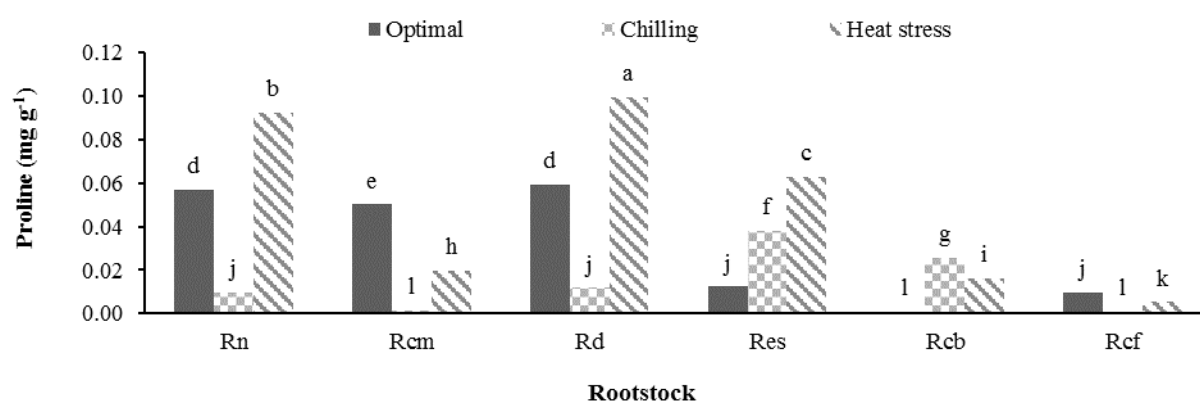
وزن تازه و خشک ریشه در گیاهان غیرپیوندی و دامینوس کم‌ترین مقدار و در سایر پایه‌ها حتی در تنش دمایی بیش‌تر از آنها بود. کاهش میزان وزن تازه ساقه در تنش دمای زیاد نسبت به تنش دمای کم در کلیه پایه‌ها بیش‌تر بود. وزن تازه ریشه در پایه فرو در دمای کم بیش‌ترین مقدار اما در سایر پایه‌ها و تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶-الف).

دمای زیاد نسبت به دو دمای دیگر، سبب افزایش میزان نشت یونی در همه پایه‌ها شد و در پایه غیرپیوندی و دمای زیاد بیش‌ترین میزان نشت یونی مشاهده شد (شکل ۷-ب). میزان فنول در گیاهان غیرپیوندی و خود پیوندی تحت تنش دمایی



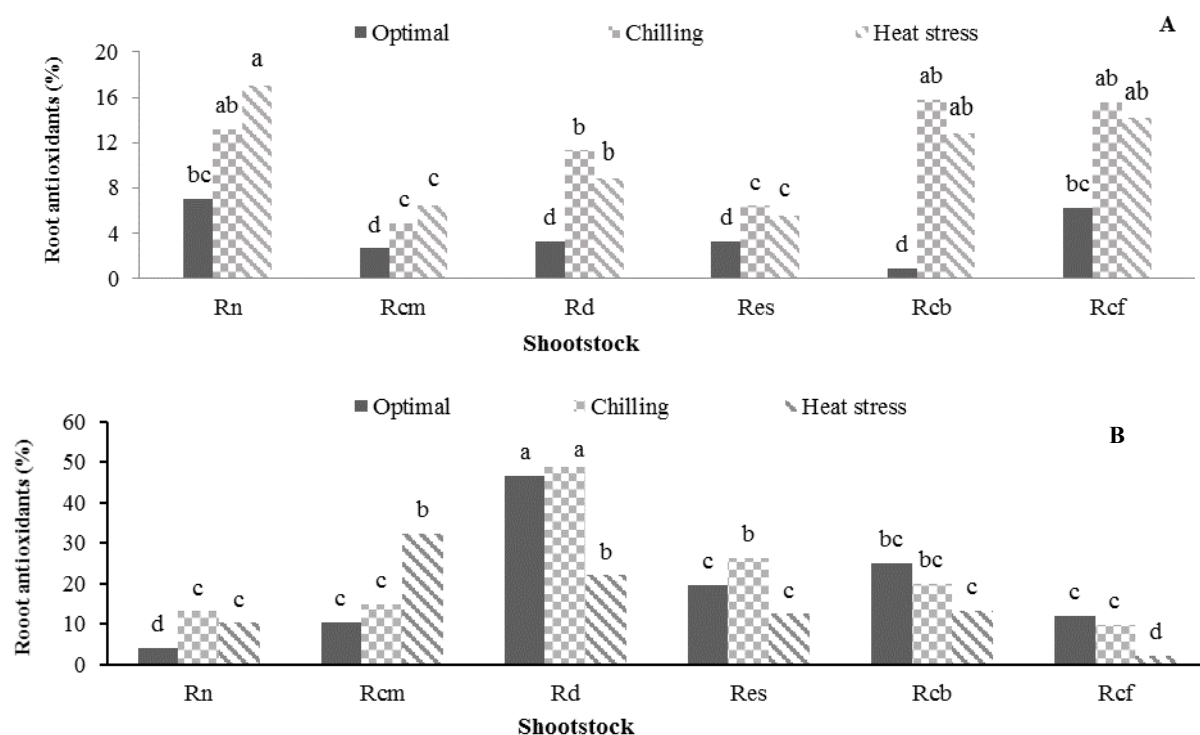
شکل ۶. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر: الف) غلظت فنول و ب) نشت یونی (Rn غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو). میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

**Fig. 6.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on: A) phenol concentration and B) ion leakage (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.



شکل ۷. مقایسه میانگین برهم‌کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر غلظت پرولین (Rn غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو). میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

**Fig. 7.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on proline concentration (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.



شکل ۸. مقایسه میانگین برهم کنش پایه‌ها و دماهای مختلف بر: الف) ظرفیت آنتی‌اکسیدان ساقه و ب) ظرفیت آنتی‌اکسیدان ریشه (Rn پایه غیرپیوندی، Rcm پایه ساری، Rd پایه دامینوس، Res پایه اصفهان، Rcb پایه بابل، Rcf پایه فرو)؛ میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD نیستند.

**Fig. 8.** Mean comparisons of the interaction effect of different rootstocks and temperatures on: A) root antioxidants and B) shoot antioxidants (Rn Non-grafting rootstock, Rcm Sari rootstock, Rd Daminus rootstock, Res Isfahan rootstock, Rcb Babol rootstock, Rcf Ferro rootstock); Means with the same letter are not significantly different at the 5% level based on the LSD test.

دمای ناحیه ریشه از ۲ تا ۱۷ درجه سلسیوس، میزان پرولین افزایش یافت. ضمن اینکه دژاگویرامان و همکاران (۶) اظهار داشتند که تنش دمای زیاد باعث کاهش وزن خشک برگ به میزان ۱۳/۴ درصد و وزن کل شاخساره به میزان ۲۲/۳ درصد می‌شود. به‌طور مشابه در این پژوهش تنش دمایی کم و به‌ویژه زیاد باعث کاهش رشد در شاخص‌های قطر پایه، وزن تازه و خشک ساقه، حجم ریشه شد. به‌نظر می‌رسد عدم تغییر وزن تازه و خشک ریشه در بسیاری از پایه‌ها به سیستم قوی‌تر ریشه‌ای پایه‌ها و توانایی آنها در نفوذ بیش‌تر در خاک تحت تنش دمایی مربوط می‌شود و به‌دنبال آن رشد بهتری تأمین گشته و تغییرات کم‌تری در وزن خشک ساقه رخ داد. به‌علت تبخیر و تعرق بیش‌تر در دمای زیاد، وزن تازه ساقه در پایه‌ها کاهش یافت که با افزایش شدت تعرق در پایه‌های فرو، بابل و

ساقه در هر دو تنش در دو پایه بابل و فرو افزایش یافت (شکل ۸-الف). آنتی‌اکسیدان ریشه در پایه بابل داده‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نداشت و در فرو در گرمادگی کاهش یافت (شکل ۸-ب).

## بحث

اثر تنش سرما بر کاهش میزان رشد گیاه از واضح‌ترین پاسخ‌های گیاهان به سرما است. سالفجلد و جانسون (۲۷) در پژوهشی بر گیاه *Betula pendula* دریافتند که با اعمال تنش سرما ارتفاع، وزن خشک، سطح برگ و تعداد برگ‌ها در هر بوته افزایش یافت (۲۷). میزان پرولین تحت تأثیر تنش دمای کم در خیار غیرپیوندی، ساری، دامینوس، فرو نسبت به دمای بهینه آن پایه کاهش یافت، اما در کلیه گیاهان پیوندی با افزایش

کاهش وزن تازه ساقه فرو، بابل در دمای زیاد این نتایج هماهنگ است اما به علت تبخیر و تعرق بیشتر در دمای زیاد، وزن تازه ساقه در پایه‌ها کاهش یافت که با افزایش شدت تعرق در پایه‌های فرو، بابل و کاهش وزن تازه ساقه فرو، بابل در دمای زیاد این نتایج هماهنگ است. افزایش تعرق در پایه‌های دامینوس، اصفهان و غیرپیوندی با عدم تغییر وزن تازه ساقه در تنش دمای زیاد در پایه‌های دامینوس، اصفهان و غیرپیوندی قابل توجیه است. به نظر می‌رسد افزایش وزن تازه پایه‌های بابل و ساری و وزن خشک پایه‌های ساری، بابل و فرو نشان‌دهنده توانایی این پایه‌ها در بهبود جذب مواد غذایی و آب برای حفظ رشد است. همچنین افزایش رشد ریشه و بخش هوایی در این پایه‌ها علاوه بر افزایش توانایی جذب آب و مواد غذایی می‌تواند به دلیل آثار هورمونی پایه بر پیوندک و تحریک به رشد بیش‌تر توسط پایه نیز باشد (۱۴). در طول رشد رویشی دمای کم‌تر از حد مطلوب به‌طور عمده سرعت تشکیل و گسترش برگ جدید را کند می‌کند. کاهش در سرعت تشکیل و گسترش برگ جدید در دمای کم‌تر از حد مطلوب به علت کاهش عرضه آسمیلات‌ها نیست زیرا برگ میزان زیادی نشاسته را جمع‌آوری می‌کند (۲۸). به احتمال زیاد، به سیگنال‌های هورمونی ریشه مرتبط با جذب آب و مواد غذایی همراه با کاهش خاصیت کشسانی اپیدرم دیواره سلولی مربوط می‌شود.

فتوستتر یکی از حساس‌ترین فرآیندهای فیزیولوژیک به افزایش دما است و کاهش در فتوستتر در اثر افزایش دما منجر به کاهش رشد و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌شود. مشخص نیست که کدام‌یک از اجزای دستگاه فتوستتری به دمای زیاد حساسیت بیش‌تری داشته و محدودکننده فتوستتر است. اولین مکان‌های صدمه دیده از دمای زیاد واکنش‌های فتوشیمیایی در غشای تیلاکوئیدی و متابولیسم کربن در استرومای کلروپلاست است (۲). مهم‌ترین واکنش گیاهان به سرما، افزایش سریع بازداری فتوستتر است که حتی در شدت‌های متوسط نور نیز می‌تواند منجر به خسارت نوری و یا

اختلال در فعالیت فتوسیستم II شود. کلروپلاست و فرآیند فتوستتر بیش‌ترین آسیب را در اثر سرما می‌بیند. از آثار منفی تنش سرما بر کلروپلاست و فتوستتر می‌توان به کاهش توان دستگاه فتوستتری در تولید انرژی، آسمیلاسیون  $CO_2$  در چرخه تاریکی فتوستتر اشاره کرد که این موضوع باعث کاهش تولید کربوهیدرات می‌شود و کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را به دنبال دارد (۲). تنش دمای زیاد بیش‌ترین اثر را بر فتوستتر، هدایت روزنه‌ای، تبادلات گازی روزنه، و تبخیر و تعرق دارد. همچنین ردی و همکاران (۲۰) بیان کردند که کاهش فتوستتر کتان در شرایط تنش دمایی زیاد و کم مشاهده شد. در پژوهشی دیگر مشاهده شد که تنش دمای زیاد (۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس) باعث کاهش فعالیت فتوشیمیایی و فتوسیستم II و البته کاهش میزان فتوستتر در سورگوم شد. براساس این نتایج، این گیاه کم‌ترین میزان شاخص کلروفیل، فتوستتر، و مقاومت روزنه‌ای را در تیمار تنش گرمایی نشان داد. می‌توان نتیجه گرفت که کاهش شاخص‌های رشدی در خیار پیوندی تحت تأثیر تنش‌های دمایی زیاد و کم در اثر افزایش دمای برگ، شاخص کلروفیل، کاهش تعرق، کاهش فتوستتر و در نتیجه کاهش میزان آسمیلاسیون و رشد بوده است (۶).

بهره‌گیری از تعیین نشت الکترولیت‌ها و محاسبه شاخص پایداری غشا یکی از کاربردی‌ترین نشانگرهایی است که برای تخمین میزان اثر فرآیندهای تخریب‌گر غشا در بافت‌های گیاهی تحت تأثیر عوامل نامساعد محیطی استفاده می‌شود (۳). میزان زیاد نشت یونی توانایی غشا در حفظ ترکیبات درون سلولی، اختلال در فعالیت و انسجام غشاهای سلولی و خروج بیش‌تر الکترولیت‌ها از غشا است (۸). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اسیدهای چرب غیراشباع موجود در غشای سلولی در سیالیت غشا بسیار مهم هستند. دمای کم سبب تغییر سیالیت این اسیدهای چرب غشا از حالت نیمه‌مایع به حالت بلوری می‌شود (۲۲) و به دنبال آن، فعالیت غشا مختل شده و مقدار نشت یونی افزایش می‌یابد. تجمع ترکیبات با وزن مولکولی کم مانند پروتئین‌های محلول و پرولین به پایداری غشای سلولی و

باعث افزایش شدید پرولین شده است (جدول ۱) زیرا وقتی که تنش گرما اعمال می‌شود، گیاه شروع به ساخت ترکیباتی با وزن مولکولی کم و تجمع این مواد برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش می‌کند.

با افزایش سطح تنش خشکی به‌طور معنی‌داری مقدار فنول کل در برگ‌ها کاسته می‌شود. در خانواده تریتیکاسه، تنش خشکی باعث افزایش مقدار تولید ترکیبات فنولی در ارقام حساس شد، اما در ارقام مقاوم این تغییرات محدود بود (۱۳). مشابه این نتایج، در پژوهش حاضر تفاوت معنی‌داری در میزان فنول مشاهده شد که بیش‌ترین میزان فنول را پایه خیار نشان داد که به‌نظر می‌رسد به‌دلیل پاسخ‌های وسیع گیاه در سطوح مختلف، اندامک‌ها، ریزمولکول‌ها، درشت مولکول‌ها و در نهایت بیان متفاوت ژن‌های مرتبط باشد.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد دمای زیاد بیش از دمای کم باعث تأثیر منفی بر فرآیندهای فتوسنتزی و رشدی خیار نسبت به دمای کم می‌شود و پیوندزدن تا حد زیادی به‌ویژه در پایه‌های Rd، Res و Rcm می‌تواند به حفظ رشد با افزایش رشد ریشه و کنترل تعرق در شرایط تنش کمک کند.

اندامک‌ها طی تنش سرمایی کمک می‌کند و باعث کاهش نشت الکترولیتی در سلول‌های تحت تنش می‌شود (۳۰). کاهش میزان شاخص پایداری غشا تحت تأثیر تنش خشکی نیز در پژوهش‌های انجام‌گرفته روی گیاهان مختلف گزارش شده است. با افزایش شدت تنش خشکی، به‌طور معنی‌داری از میزان شاخص پایداری غشا در ژنوتیپ‌ها کاسته شد (۲۳). در پژوهش حاضر، دمای زیاد بیش از دمای کم باعث بهم‌ریختگی غشا و افزایش نشت یونی در کلیه پایه‌ها شد.

پایه‌های فرو و بابل با افزایش آنتی‌اکسیدان ساقه مقاومت خوبی نسبت به دما نشان دادند اما از طرفی به‌نظر می‌رسد تنش گرمایی و سرمایی در اکثر پایه‌ها به یک میزان باعث افزایش آنتی‌اکسیدان ساقه شد اما این روند در ریشه روند مشخصی نداشت. تولید رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش افزایش می‌یابد که در انتقال الکترون‌ها در کلروپلاست‌ها و میتوکندری اختلال ایجاد می‌کند و موجب تخریب و فروپاشی غشاها در شرایط تنش می‌شوند (۹). اسیدآمینه غیرساختاری پرولین نقش آنتی‌اکسیدانی دارد و در از بین بردن رادیکال‌های آزاد مؤثر است و از این طریق پروتئین‌ها و غشاها را در برابر آسیب‌ها محافظت می‌کند (۳۱). در پژوهش حاضر، بیش‌ترین میزان پرولین بر اثر تنش گرمادگی و در پایه ساری مشاهده شد به‌طوری که گرمادگی

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi, A., Baker, D.A., 2000. Gastric and non-stomatal factors limiting photosynthesis in wheat under drought stress conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 31 (4): 825–813. (In Persian)
- Allakhverdiv, S.I., Kreslavski, V.D., Klimov, V.V., Los, D.A., Carpentier, R., Mohanty, P., 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research* 98: 541–550.
- Azizpour, K., Shakiba, M.R., Khosh Kholg, N.A., Sima Mogaddam, M., Esfandiari, E., Pessarakli, M., 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Plant Nutrition* 33: 859–873.
- Bates, L.S., Waldron, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205–207.
- Bulder, H.A.M., Den Nijs, A.P.M., Speek, E.J., Van Hasselt, P.R., Kuiper, P.J.C., 1991. The effect of low root temperature on growth and lipid composition of low temperature tolerant rootstock genotypes for cucumber. *Journal of Plant Physiology* 138: 661–666.
- Djanaguiraman, M., Prasad, P.V., Seppanen, M., 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry* 48(12): 999–1007.
- Fisher, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.M., Candon, A.G., Saavedra, A.L., 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Journal of Crop Science* 38: 1467–1475.
- Hana, B., Bischofa, J.C., 2004. Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing.

*Cryobiology* 48: 8–21.

9. Hassibi, P., Moradi, F., Nabipour, M., 2007. Screening of rice genotypes for low temperature stress-using chlorophyll fluorescence. *Crop Science* 9(1): 14–31.
10. Haghighi, M., Abolghasemi, R., Jaime, A., da Silva, T., 2014. Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticulturae* 178: 231–240.
11. Hakam, P., Khanizade, S., Deell, J.R., Richr, C., 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. *Horticultural Science* 35: 184–186.
12. Hu, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X., Zhu, B., 2009. Grafting increase the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany* 66: 270–278.
13. Hura T., Grzesiak, S., Hura, K., Thiemt, E., Tokarz, K., Wedzony, M., 2007. Physiological and biochemical tools useful in drought-tolerance detection in genotypes of winter triticale: Accumulation of ferulic acid. *Annals of Botany* 100: 767–775.
14. Kafi, M., Borouzi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Publications University of Mashhad, Mashhad. (In Persian)
15. Kalantar, M., Khaliqi, A., Hassanpour, A., Jozei, A.A., 2008. Effects of auxin, ethephen and planting system on quantitative traits of hybrid (F1) cucumber Melita *Cucumis sativus* cv. Melita. *Journal of Research in Agricultural Science* 4 (2): 214–224. (In Persian)
16. Khodabandeh, N., 2000. Grains. University of Tehran Publications, Tehran. (In Persian)
17. Kochaki, A., Kheyaban, H., 1996. Fundamentals of Agricultural Ecology. Publications University of Mashhad, Mashhad. (In Persian)
18. Lee, J.M., 2003. Advances in vegetable grafting. *Scientia Horticulturae* 43: 13–19.
19. Lyons, M.J., Graham, D., Raison, J.K., 1979. Low Temperature Stress in Crop Plants: The Role of The Membrane. Academic Press, New York.
20. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Plant Physiology* 161: 1189–1202.
21. Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Romero, L., 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food, Agriculture & Environment* 1(1): 70–74.
22. Mahajan, S., Tuteja, N., 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 444: 139–158.
23. Mehrjerdi, M., Bagheri, Z., Bahrami, A., Vegetati, J., Masoumi, A.S., 2012. Influence of drought stress on photosynthetic properties of phenolic compounds and the inhibitory capacity of active radicals of different chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in aquatic environment. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 3(12): 59–76. (In Persian)
24. Momeni, D., Ghaffarinejad, A., 2010. The effect of different planting preparation methods on yield and yield components of greenhouse cucumbers. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1(3): 49–43. (In Persian)
25. Percival, G.C., Henderson, A., 2003. An assessment of the freezing tolerance of urban trees using chlorophyll fluorescence. *Horticultural Science* 78: 254–260.
26. Seppanen, M.M., 2000. Characterization of freezing tolerance in *Solanum commersonii* (dun.) with special reference of the relationship between and oxidative stress. *University of Helsinki, Department of Production, Section of Crop Husbandry* 56: 4–44.
27. Solfjeld, I., Johnsen, Ø., 2006. The influence of root-zone temperature on growth of *Betula pendula* Roth. *Trees* 20: 320–328.
28. Venema, J.H., Posthumus, F., Van Hasselt, P.R., 1999. Impact of suboptimal temperature on growth, photosynthesis, leaf pigments and carbohydrates of domestic and high altitude, wild *Lycopersicon* species. *Plant Physiology and Biochemistry* 155: 711–718.
29. Verona, C., Calcagno, F., 1991. Study of stomatal parameters for selection of drought resistant varieties in *Triticum durum*. *Euphytica* 57: 275–283.
30. Yelenosky, G., Guy, C.L., 1989. Freezing tolerance of citrus, spinach, and petunia leaf tissue. Osmotic adjustment and sensitivity to freeze induced cellular dehydration. *Plant Physiology* 89: 444–451.
31. Zhang, J., Kluera, N.Y., Wang, Z., Ray, W.U., Ho, T.D., Nguyen, H.T., 2000. Genetic engineering for abiotic stress resistance in crop plants. *In Vitro Cell Developmental Biology Plant* 36: 108–114.



## The Effect of Chilling and High-Temperature Stresses on the Growth and Physiological Changes of Grafted Cucumber in Iranian Endemic Squash and Cucumbers

M. Haghighi<sup>1\*</sup>, Z. Nazarri and H. Sajedimehr

(Received: 5 April 2020; Accepted: 26 December 2020)

### Abstract

To study the effect of grafting on the tolerance of chilling and high temperature, the grafting of Super daminos was done on *Cucurbita moschata* (Isfahan), (Babol), (Ferro), (Sari) rootstocks and then compared with non-grafted and self-grafted ones as a factorial experiment based on completely randomized design with three treatments. Temperature treatments were optimum temperature (25 °C), low temperature (4 °C) and high temperature (40 °C), with four replicates. The results showed that root length, root volume, rootstock diameter, and fresh and dry weights of shoot were increased in all rootstocks, as compared with the non-grafted ones. The highest fresh and dry weights of the shoot were observed in Sari and Isfahan rootstocks, and the highest dry weight was observed in Ferro rootstock. The interactive effect showed that the highest fresh and dry weights were measured in Isfahan rootstock and at the optimum temperature; meanwhile, the lowest fresh and dry weights were observed in non-grafted one and at the high temperature. Moreover, the highest dry weight was determined at both low and high temperatures in the non-grafted sample. The highest photosynthesis rate was recorded in Babol rootstock and at the optimum temperature, while the lowest one was observed in Babol rootstock and at the high temperature. The interactive effect of rootstock and temperature showed that the highest stomatal resistance and transpiration rate were measured in the non-grafted sample and at the optimum temperature, while the lowest one was recorded in Isfahan rootstock and the optimum temperature; meanwhile, the lowest transpiration rate was observed in Sari rootstock and high temperature. Therefore, the use of Ferro and Babol rootstock for their resistances to high and low temperatures could be recommended. It seems, therefore, that these rootstocks by maintaining photosynthesis rate and chlorophyll and lowering transpiration rate, can decrease the deleterious effect of temperature on growth.

**Keywords:** Photosynthesis, Transpiration rate, Stomatal resistance, Grafting, Rootstock

**Background and Objective:** Cucumber, following tomatoes, cabbage and onions, is one of the most widely consumed vegetables globally; it is also a cold-sensitive horticultural plant. The optimum growth temperature range for cucumber is 24–21 °C. The air temperature of 10 °C or below (i.e., cold stress) delays the seed germination, reduces or stops growth; temperatures above 35 °C (i.e., heat stress) could reduce pollination. Consequently, it reduces fruit formation, number and fruit weight, ultimately reducing the yield (1, 2). Furthermore, due to heat stress, the amount of free radicals is increased, while chlorophyll is decreased (3, 4). This study was conducted to examine the effect of high and low temperatures on the cucumber grafted on the endemic rootstock.

**Methods:** To investigate the effect of grafting on temperature tolerance of Super daminos cucumber scion on Super daminos cucumber rootstocks, (*Cucurbita moschata*) Sari accession (Rcm), Isfahan accession (Res), Babol accession (Rcb), Ferro accession (Rcf) and its comparison with grafted cucumber (Super daminos) (Rn) were performed

1. Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

\* Corresponding Author, Email: mhaghighi@iut.ac.ir



experimentally as a factorial experiment in a completely randomized design with three temperature treatments and four replications. The studied temperature treatments included optimum temperature ( $25 \pm 2$  °C), low temperature ( $4 \pm 2$  °C), and high temperature ( $40 \pm 2$  °C) in the incubator, which were applied gradually for 10 days. To prepare the seedlings, the seeds were soaked in water for 12 hours and then in pots containing a mixture of sand and garden soil in a volumetric ratio of 1:1 and for the scion of cucumber plants of Super daminos cultivar that 10 days before transplanting in a mixture of cocopeat and perlite with a volumetric ratio of 1:1. After the emergence of the true leaf and reaching the diameter each of 0.5 cm, the scion was cut from under the cotyledon leaves, and the hole graft was performed on different rootstock. After the emergence of a true leaf in the rootstock plant, its terminal bud was cut off, and a hole was made in the top of the rootstock plant by a drill. After two weeks and ensuring the grafting and after the operation of grafting plants for one week in 4 L pots containing a mixture of sand and garden soil in a ratio of 1 to 1 with a distance of  $30 \times 50$  cm, then the desired temperature treatments were applied. The number of nodes, internode length, root volume, shoot and root dry and fresh weight, Root and shoot length, Rootstock diameter, photosynthesis, and plant length was measured in the last stage of the experiment. The other parameters are also measured at the same time.

**Results:** Results showed that root length, root volume, rootstock diameter, and fresh and dry weights of shoot were increased in all rootstocks as compared with non-grafted ones. The interactive effect showed that the highest fresh and dry weights were in Isfahan and optimum temperature, and the lowest fresh and dry weights were in non-grafted and high temperatures. The highest photosynthesis rate was observed in Babol and optimum temperature and the lowest one was recorded in Babol and high temperature. The interactive effect of rootstock and temperature showed that the highest stomata resistance and transpiration were in non-grafted and optimum temperature, the lowest stomata resistance in Isfahan and optimum temperature, and the lowest transpiration in Sari and the high temperature were seen.

**Conclusions:** According to this experiment's results, using Ferro and Babol for high and low temperatures was recommended. It seems that these rootstocks, with the maintenance of photosynthesis and chlorophyll and decreasing transpiration, can decrease the deleterious effect of temperature on growth.

#### References:

1. Haghighi, M., Abolghasemi, R., Jaime, A., da Silva, T., 2014. Low and high temperature stress affect the growth characteristics of tomato in hydroponic culture with Se and nano-Se amendment. *Scientia Horticulturae* 178: 231–240.
2. Hu, Y., Zhu, Z., Yang, J., Ni, X., Zhu, B., 2009. Grafting increase the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environmental and Experimental Botany* 66: 270–278.
3. Kalantar, M., Khaliqi, A., Hassanpour, A., Jozei, A.A., 2008. Effects of auxin, ethephen and planting system on quantitative traits of hybrid (F1) cucumber Melita *Cucumis sativus* cv. Melita. *Journal of Research in Agricultural Science* 4(2): 214–224. (In Persian)
4. Lyons, M.J., Graham, D., Raison, J.K., 1979. Low Temperature Stress in Crop Plants: The Role of The Membrane. Academic Press, New York.