اثر شوک گرمایی کوتاه مدت در ناحیه ریشه بر تبادلات گازی قلب ارغوان

نبی اله اشرفی*[۱] ، عبدالحسین رضایی‌نژاد[۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹٤/۱۱/۰٤
تاریخ تصویب:۱۳۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

تنشهای دمائی یکی از عوامل تنش زای متداول در گیاهان است. تبادلات گازی برگ جزء اولین فرآیندهایی است که در گیاهان، تحت تاثیر دما قرار می گیرد. به منظور بررسی اثر شوک دمایی کوتاه مدت بر رفتار روزنه ای و تبادلات گازی، آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام گرفت. بدین منظور ریشه گیاه قلب ارغوان تحت سه تیمار گرمایی (۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد) به مدت ده دقیقه قرار گرفت و رفتار روزنه ای و تبادلات گازی در زمانهای متفاوت بعد از اعمال تیمار بررسی گردید. در تیمار ۳۵ درجه بلافاصله بعد از اعمال تیمار حداکثر عرض منفذ، هدایت روزنه ای و فتوسنتز مشاهده گردید. نتایج نشان داد با افزایش دما به ۳۵ درجه میزان فتوسنتز ۷% و مساحت روزنه ۲۴% نسبت به شاهد افزایش یافت، ولی با افزایش دما به ۴۵ درجه میزان تعرق ۴۰ % و هدایت روزنه ای ۱۴% کاهش نشان داد. همچنین ۳۰ دقیقه بعد از اعمال تیمار دمایی ۴۵ درجه سانتی گراد، میزان فتوسنتز ۷۲% نسبت به زمان صفر کاهش نشان داد. به طور کلی نتایج نشان داد کنترل دمای ریشه نقشی اساسی در رفتار روزنه های هوایی، تبادلات گازی و فتوسنتز دارد.

واژه های کلیدی: تنش دمایی، فتوسنتز، مقاومت روزنه ای

*۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
(نویسنده مسئول nabi.ashrafi@gmail.com)
۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

مقدمه

تنش دمایی یکی از مهمترین تنشهای محیطی است که رشد و پراکندگی گیاهان را تحت تاثیر قرار می دهد. دمای پائین محیط ریشه، شروع رشد گیاهان را به تاخیر انداخته و موجب کاهش رشد و عملکرد آنها می گردد (Lopushinsky et al., 1984). اگرچه اثرات تنش معمولاً در ظاهر گیاه (مانند ارتفاع کم و زنده مانی) قابل مشاهده است ولی اولین علامت تنش در سطح برگ رخ می دهد (Reynolds-Henne et al., 2010)که دارای منافذی به نام روزنه می باشند و تبادلات گازی قسمت های داخلی گیاه را کنترل می-کنند (Rezaei- Nejad et al., 2008). روزنه ها علاوه بر نقشی که در تبادلات گازی دارند، برای کنترل دمای برگ نیز به کار می-روند. یکی از واکنش های اولیه به تنش، بسته شدن روزنه ها و کاهش تثبیت دی اکسیدکربن است(Haldimann et al., 2004). میزان فتوسنتز و مقاومت روزنه ای بستگی به خصوصیات گیاه و سیگنالهای دریافتی از محیط دارد (Reynolds-Henne et al., 2010). دما یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی موثر در باز و بسته شدن روزنه ها و محدود کردن رشد و زنده مانی گیاهان می باشد. تنش دمایی می تواند سرعت فرآیندهای بیوشیمیایی را تحت تاثیر قرار دهد و در نتیجه موجب عدم تعادل در فرآیندهای اصلی مسیرهای متابولیک گردد. در بعضی مناطق، در حالی که دما در قسمت های زیرین خاک، پائین می باشد تابش خورشید ممکن است منجر به افزایش دمای خاک سطحی تا ٤٠ درجه سانتی گراد گردد. افزایش دمای ناحیه ریشه موجب افزایش ارتفاع بوته، طول ریشه، میزان مادۀ خشک ریشه، شاخساره و گسترش سطح برگ در گونه های یونجۀ یکساله می گردد (Azizi et al., 2004). از طرفی تنش سرما با تاثیر بر بخش های مختلف دستگاه فتوسنتز، از جمله تنظیم قطر منافذ روزنه ها، سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی و غیره، فرآیند فتوسنتز را با مشکل مواجه ساخته و فعالیت آن را کاهش می دهد (Hutchison et al., 2000; Allen et al., 2001). با اینکه در مورد اثر دمای هوا بر رفتار روزنه ای گیاهان مطالعات زیادی انجام گرفته است ولی اطلاعات در مورد دمای ناحیه ریشه و اثر آن بر رفتار روزنه ای ناچیز می باشد. پژوهشگران گزارش کرده اند که شوک گرمایی در قسمتی از ریشه ممکن است موجب فعال شدن سیگنالهای راه دور گردد که بوسیله آبسیزیک اسید و یا pH شیره سلول، تولید گردیده و به این ترتیب موجب کنترل حرکات روزنه ای می گردد (Yang et al., 2006).

گیاه قلب ارغوان با نام علمی *Tradescantia pallida* از خانواده Commelinaceae یکی

از گیاهان زینتی است که به دلیل تکثیر و پرورش راحت و داشتن روزنه های بزرگ به عنوان گیاه مدل برای مطالعات روزنه ای به کار می رود. پژوهشگران گزارش کرده اند گیاهان برگ بیدی رشد کرده در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی بالا (۹۰%) میزان تعرق و هدایت روزنه ای بیشتری نسبت به گیاهان رشد کرده در رطوبت نسبی ۵۰% داشته اند. گیاهان رشد کرده در رطوبت بالا حساسیت کمتری در برابر کاهش محتوای آب برگ نشان دادند که دلیل آن را کمبود محتوی آبسیزیک اسید ذکر کرده اند (Rezaei Nejad et al., 2005). مطالعه و بررسی عوامل موثر بر سیگنالهای صادر شده از ریشه در درک فیزیولوژی تغذیه، تنش‌ها و راههای مقابله با تنش مفید خواهد بود. همچنین اطلاعات بیشتر در مورد ارسال سیگنالهای راه دور برای کشف چگونگی درک موضعی محرک توسط گیاه و پاسخ کلی گیاه در برابر تنش در مطالعات آینده مفید خواهد بود. ضمن آنکه با اثبات تاثیر دمای ناحیه ریشه بر تبادلات گازی و رفتار فتوسنتزی می توان در کشت های هیدروپونیک با کنترل دمای ناحیه ریشه، رشد گیاه را کنترل کرد. در مطالعات قبلی با تنش های دمایی طولانی مدت در ناحیه ریشه برگ بیدی، مشخص شد که رفتار روزنه ای و تبادلات گازی تحت تاثیر قرار می گیرد (Ashrafi et al., 2016) ولی در مورد اثرات تنش دمایی کوتاه مدت اطلاعاتی موجود نیست. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تبادلات گازی و رفتار روزنه ای گیاه قلب ارغوان بعد از قرارگیری در شوک گرمایی کوتاه مدت در ناحیه ریشه انجام گرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان روی گیاه قلب ارغوان انجام گرفت. گیاهان در گلدانهای با قطر دهانه ۱۷ سانتی متر در محیط کشت ماسه، خاک و کود با نسبت ۱:۱:۱ در شرایط گلخانه با دمای روزانه ۳۰-۲۷ و دمای شب ۲۰-۱۷ درجه سانتی گراد کشت گردیدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار شامل دما (در سه سطح ۲۵، ۳۵ و ٤٥ درجه سانتی گراد) و مدت زمان بعد از اعمال تیمار گرمایی (شامل صفر و۳۰و٦٠ دقیقه) در چهار تکرار انجام گرفت. ابتدا گیاهان به مدت ده دقیقه در دمای مورد نظر قرار گرفتند و سپس در زمانهای صفر، ۳۰ و٦٠ دقیقه بعد از اعمال تیمار فاکتورهای مورد نظر اندازه گیری شد. برای اعمال تیمار از حمام آب گرم تغییر یافته استفاده گردید. فاکتورهای تبادلات گازی شامل فتوسنتز، هدایت روزنه ای، تعرق و مقاومت روزنه ای توسط دستگاه اندازه گیری تبادلات گازی قابل حمل ساخت کشور انگلستان و در برگهای بالغ بالایی

اندازه گیری شد (LCA4, ADC Bioscientific, Ltd., Hoddesdon, England). در زمان اندازه گیری تبادلات گازی، سطح برگ زیر چمبر ٦ سانتی متر، دی اکسید کربن زیر روزنه (Cref) ۳۵۰ میکرومول در مول، دمای زیر چمبر ۲٦-۲۹ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ٦۲-۵۸ درصد بوده است. اساس کار این دستگاه بر اساس میزان دی اکسید کربن مصرفی می-باشد. صفات هدایت روزنه ای بر اساس مول (آب) بر متر مربع در ثانیه، سرعت تعرق بر اساس میلی مول (آب) بر متر مربع در ثانیه، سرعت فتوسنتز بر اساس میکرومول (دی اکسید کربن) بر متر مربع در ثانیه اندازه گیری شد. فاکتورهای روزنه شامل قطر منفذ، مساحت و طول منفذ با روش کپی برداری با استفاده از تکنیک نشانه گذاری لاستیک سیلیکون تعیین شد (Smith et al., 1989). به اینصورت که ابتدا با استفاده از خمیر زانتوپرن، برگ قالب گیری شده و بعد از سفت شدن خمیر، کپی برداری از آن انجام شده و زیر میکروسکوپ نوری (Nikone, Eclipse E600) با بزرگ نمایی x- ٤۰ عکسبرداری انجام گرفت. برای آنالیز عکس ها و اندازه گیری مساحت و قطر منفذ روزنه از نرم افزار Image Tool استفاده گردید (Rezaei-Nejad et al., 2005). برای اطمینان از صحت داده ها و کاهش خطای اندازه گیری چهار برگ بالایی در هر گیاه مشخص و اندازه گیری روی آنها انجام گرفت. آنالیز داده ها با کمک نرم افزار آماری statistix انجام گرفت و مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵% انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما بر فاکتورهای فتوسنتز، مساحت منفذ روزنه، قطر منفذ روزنه، تعرق و مقاومت روزنه ای معنی دار بوده است. اثر متقابل دما و زمان بر مقاومت روزنه ای و قطر منفذ روزنه معنی دار بود ولی بر سایر فاکتورها اثر معنی داری نداشته است (جدول ۱).

جدول ۱: تجزیه واریانس اثر دما و مدت زمان بعد از شوک گرمایی بر رفتار روزنه ای در گیاه

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		فتوسنتز	دی اکسید کربن داخلی	تعرق	هدایت روزنه-ای	مقاومت روزنه-ای	قطر منفذ روزنه	مساحت منفذ روزنه
زمان	۲	۴,۵^{ns}	۹۸۶,۶^{ns}	۰,۲۳^{ns}	۰,۰۰۱^{ns}	۱۳,۲۹^{ns}	۱۷,۹*	۴۳۱۱۴***
دما	۲	۴۴۵,۹***	۱۰۱۳۶*	۵,۱۸***	۰,۱۳***	۱۶۷,۶***	۴۵۶,۵***	۳۱۷۴۹۹**
زمان × دما	۴	۳,۶^{ns}	۷۵۶,۴^{ns}	۰,۶۵^{ns}	۰.۰۱^{ns}	۱۴,۵*	۱۰,۶*	۴۲۸۰^{ns}
خطا	۲۴	۱,۸	۲۲۳۴	۰,۳۳	۰,۰۱	۵,۲	۴,۰۳	۲۳۵۱
ضریب تغییرات		۲۷,۸	۱۵,۵	۱۶,۶	۶,۹	۳۰,۳	۱۶,۷	۱۷,۴

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، *: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ ، **: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ، ***: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰/۱٪

بررسی مقایسه میانگین اثر دما بر فتوسنتز نشان داد با افزایش دما از ۲۵ به ۳۵ درجه سانتی گراد، میزان فتوسنتز ۷% افزایش داشته است ولی با افزایش بیشتر دما به ٤٥ درجه میزان فتوسنتز ۱۲۸ درصد کاهش نشان داده است (جدول۲). بیشترین مساحت منفذ روزنه در دمای ۳۵ درجه مشاهده گردیده است که نسبت به دمای شاهد ($52C^{o}$)، ٢٤% افزایش داشته ولی با افزایش دما به ٤٥ درجه، مساحت منفذ روزنه ۲۳۳% کاهش نشان داده است. همبستگی مثبت و معنی داری بین میزان فتوسنتز و مساحت منفذ روزنه مشاهده گردید ($r =0/72, P = 00$). همچنین همبستگی مثبت و معنی داری بین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه ای ($r = 0.52, P = 0.001$) وجود داشته است. میزان تعرق نیز با افزایش دما به ٤٥ درجه نسبت به شاهد ٤٠% کاهش داشته است ولی تفاوت معنی داری بین دمای ۳۵ و ۲۵ درجه سانتی گراد برای تعرق مشاهده نگردید. نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد میزان هدایت روزنه ای با افزایش دما از ۲۵ به ٤٥ درجه ١٤% کاهش می یابد. بیشترین و کمترین میزان مقاومت روزنه ای را به ترتیب در تیمار ٤٥ و ۲۵ درجه شاهد بودیم. قطر منفذ روزنه در تیمار ۳۵ درجه نسبت به شاهد افزایش نشان داد (۲۲%) و کمترین میزان قطر منفذ روزنه در تیمار دمایی بالا (٤٥ درجه) مشاهده شد که نسبت به شاهد ۱۷۲% کاهش نشان داد. از طرفی مقاومت روزنه ای همبستگی منفی و معنی دار با میزان فتوسنتز ($r=-0/7, p=0/00$) و مساحت منفذ روزنه ($r=-0/73, p=0/00$) نشان داد.

جدول۲: اثر شوک گرمایی بر رفتار روزنه ای و تبادلات گازی در گیاه قلب ارغوان

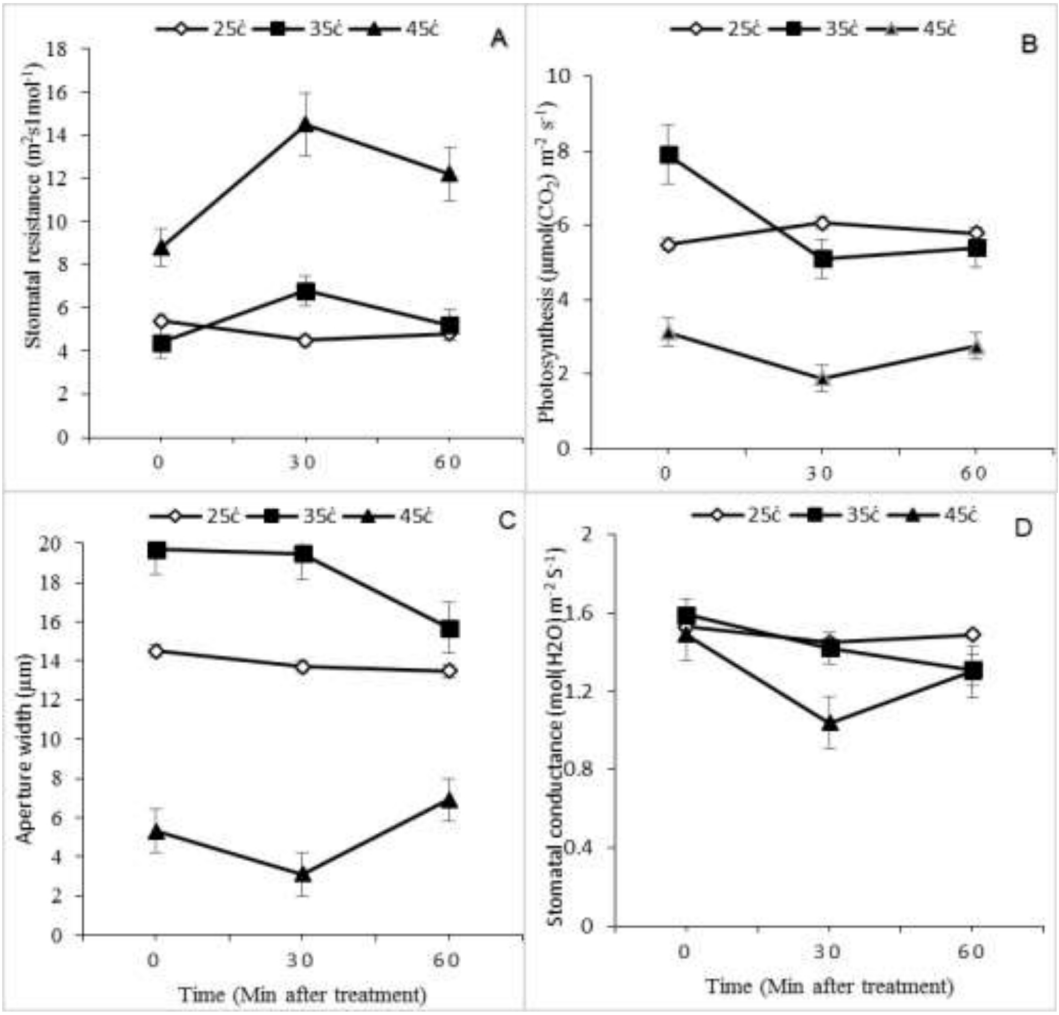
دما (سانتی‌گراد)	فتوسنتز (میکرومول بر متر مربع در ثانیه)	دی اکسید کربن داخلی (پاسکال)	تعرق (میلی مول بر متر مربع در ثانیه)	هدایت روزنه ای (مول بر متر مربع در ثانیه)	مقاومت روزنه‌ای (مول در متر مربع در ثانیه)	عرض منفذ روزنه (میکرومتر)	مساحت منفذ (میکرومتر مربع)
۲۵	۵،۷^{a}	۲۹۵،۶^{b}	۳،۸^{a}	۱،۵^{a}	۵،۲^{b}	۱۳،۹^{b}	۳۲۴،۷^{b}
۳۵	۶،۱^{a}	۲۷۹،۷^{b}	۳،۸^{a}	۱،۵۴^{a}	۵،۵^{b}	۱۷،۰۱^{a}	۴۱۲،۷^{a}
۴۵	۲،۵^{b}	۳۳۶،۱^{a}	۲،۷^{b}	۱،۳۴^{b}	۱۱،۸^{a}	۵،۱۳^{c}	۹۷،۵^{c}
LSD	۱،۱	۳۹،۸	۰،۴۸	۰،۰۸	۱،۹	۱،۶۹	۴۰،۸

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون *LSD* در سطح ۵ *%* اختلاف معنی‌دار ندارند.

بررسی اثر مدت زمان بعد از قرارگیری در شوک حرارتی ۳۵ درجه نشان داد که با گذشت زمان میزان فتوسنتز کاهش می یابد. بلافاصله بعد از قرارگیری گیاه در معرض دمای ۳۵ درجه میزان فتوسنتز۷/۹ میکرومول در متر مربع بر ثانیه بود که بعد از گذشت ۳۰ دقیقه این میزان به ۱/ ٥ میکرومول در متر مربع بر ثانیه کاهش پیدا کرد. در

بررسی اثر مدت زمان بعد از شوک دمایی ٤٥ درجه، کمترین میزان فتوسنتز در ۳۰ دقیقه بعد از تیمار مشاهده گردید که نسبت به زمان صفر بعد از تیمار دمایی ۷۲٪ کاهش داشته است. در حالی که بعد از گذشت ٦۰ دقیقه از تیمار ٤٥ درجه، میزان فتوسنتز در مقایسه با ۳۰ دقیقه ٤۷ درصد افزایش نشان داد (شکل-B۱). مقاومت روزنه ای در تیمار شاهد ($C۲۵^{\circ}$) با گذشت زمان اختلاف معنی داری نشان نداد ولی در دمای ۳٥ درجه این اختلاف معنی دار بود. بلافاصله بعد از تیمار ۳٥ درجه، کمترین میزان مقاومت روزنه ای ثبت گردید (٤/٤) ولی با گذشت ۳۰ دقیقه از تیمار حرارتی میزان مقاومت ٥٤٪ افزایش نشان داد و به بالاترین میزان خود رسید. با گذشت ٦۰ دقیقه از تیمار حرارتی میزان مقاومت روزنه ای نسبت به ۳۰ دقیقه، ۳۰٪ کاهش نشان داده است. در دمای ٤٥ درجه، زمان اثر معنی داری بر مقاومت روزنه‌ای نداشته است. بالاترین مقاومت روزنه‌ای در ۳۰ دقیقه بعد از اعمال تیمار مشاهده گردیده که نسبت به زمان صفر ٦٤٪ افزایش داشته است ولی با گذشت زمان دوباره مقاومت کاهش داشته است (شکل-A۱).

در تیمار شاهد (C° ۲٥) با گذشت زمان اختلاف معنی داری بین قطر روزنه مشاهده نشده است. در تیمار ۳٥ درجه بیشترین قطر روزنه بلافاصله بعد از اعمال تیمار به دست آمد و با گذشت زمان از مساحت روزنه کاسته شده ولی اختلاف معنی داری بین زمان ۳۰ دقیقه و صفر مشاهده نگردیده است. بعد از گذشت ٦۰ دقیقه قطر منفذ روزنه نسبت به زمان صفر، ۲٥ درصد کاهش نشان داد (شکل-*C1*). در دمای ٤٥ درجه بیشترین قطر منفذ مربوط به زمان ٦۰ دقیقه بعد از اعمال تیمار بود که نسبت به زمان صفر ۳۰ درصد و نسبت به زمان ۳۰ دقیقه بعد از اعمال تیمار ۱۰۰٪ افزایش نشان داده است. هدایت روزنه ای که همبستگی منفی با مقاومت روزنه ای نشان داده است، در دماهای ۲٥ و ۳٥ درجه اختلاف معنی داری نشان نداد. ولی در دمای ٤٥ درجه بیشترین هدایت روزنه ای را در زمان صفر داشته است که ۳۰ دقیقه بعد از اعمال تیمار ٤۳٪ کاهش نشان داده است. در زمان ٦۰ دقیقه بعد از اعمال تیمار ٤٥ درجه، میزان هدایت روزنه ای نسبت به ۳۰ دقیقه ۲٥ درصد افزایش نشان داد (شکل-*D*۱).



شکل۱: اثرمتقابل دما و مدت زمان بعد از اعمال تیمار بر فاکتورهای اندازه گیری شده در گیاه قلب ارغوان

بحث

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد افزایش دمای ناحیه ریشه به بالای ۳۵ درجه باعث بسته شدن روزنه ها و افزایش مقاومت روزنه ای می گردد. پژوهشگران نشان دادند که عامل کلیدی در پاسخ مناسب گیاه به تنش های محیطی، درک موضعی محرک می باشد. گیاهان قادرند به محرک های محیطی بوسیله سیگنالهای راه دور واکنش نشان دهند. به این معنی که مخابره سیگنالها باید در مراحل اولیه شروع تنش و زمانی که هنوز هیچ آسیبی به گیاه وارد نشده است انجام گیرد. پاسخ سیستمیک ایجاد شده بوسیله مخابره این سیگنالها فعالتر و سریعتر بوده و احتمالاً شبیه به سیستم عصبی حیوانات می باشد. پزوهشگران گزارش کرده اند که شوک گرمایی در قسمتی از ریشه ممکن است موجب فعال شدن سیگنالهای راه دور گردد (که بوسیله آبسیزیک اسید و یا

pH شیره سلولی تولید می گردد) که موجب کنترل حرکات روزنه ای خواهد شد (Yang et al., 2006).

تنش گرمایی در ناحیه ریشه موجب تغییر در غلظت و ترکیب یونی در شیره آوند آبکش، فعال شدن سیگنالهای الکتریکی و تولید H2O2 میگردد و در نتیجه موجب بسته شدن روزنه‌ها خواهد گردید(Yang et al., 2006) (Yang et al., 2012) . زمانی که گیاه در معرض تنش خشکی موضعی ریشه قرار می گیرد، قسمتی از ریشه که در معرض خشکی قرار دارد سیگنالهایی برای بستن روزنه و کاهش هدایت روزنه ای و تعرق به قسمت بالایی گیاه صادر می کند که پژوهشگران این سیگنال را pH معرفی کرده اند (Sobeih et al., 2004). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش دمای ناحیه ریشه به ۳۵ درجه سانتی گراد، میزان منفذ روزنه بیشتر شده و فتوسنتز افزایش می یابد. قبلاً پژوهشگران گزارش کردند که گرمای ناحیه ریشه تاثیر مثبتی بر تولید محصول دارد و دلیل آن را به کاهش مقاومت ریشه در برابر جریان آب نسبت دادند که موجب بهبود تعادل آبی در گیاه می گردد(Thompson et al., 1998) (Challa et al., 1991) . پژوهشگران نشان دادند با افزایش دمای ناحیه ریشه، وزن تر، وزن خشک، ارتفاع گیاه و طول ریشه افزایش پیدا کرد. افزایش وزن خشک و بیوماس گیاه ارتباط مستقیم با افزایش فتوسنتز دارد که در این پژوهش با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی گراد، میزان آن افزایش پیدا کرده است. محققان اثر دامنه دمایی ۱۰-۳۵ درجه را بر ریشه کلزا آزمایش کرده و نتیجه گرفتند که میزان رشد در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بیشترین میزان بوده است که دلیل آن را به جذب بیشتر نیترات از محلول نسبت دادند (Cumbus et al., 1982). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در دمای ٤٥ درجه سانتی گراد روزنه ها بسته شده، مقاومت روزنه ای افزایش و میزان فتوسنتز کاهش می یابد. محققان با بررسی اثر دمای بالا در ناحیه ریشه به این نتیجه رسیدند که دمای بالای موجب کاهش رشد ریشه و شاخساره می‌گردد که به دلیل تجمع اتانول در ناحیه ریشه و تنفس غیر هوازی بوده است. همچنین گزارش شده که دمای بالا در ناحیه ریشه باعث کاهش سیتوکینین در ریشه و برگها گردیده و موجب کاهش کلروفیل می گردد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهشگران دیگر مطابقت داشته است (Gur et al., 1972). از طرفی گزارشها نشان می دهد دمای زیر ده درجه باعث کاهش فتوسنتز گیاه می گردد (Lawrence et al., 1983).(Babalola et al., 1968) همچنین ماده خشک گیاه سویا تحت تاثیر دمای پائین منطقه ریشه قرار گرفته و کاهش می یابد (Zhang

.(et al., 1995

به طور کلی می توان نتیجه گرفت که دمای ناحیه ریشه تاثیر غیر مستقیم در رشد و بیوماس گیاه خواهد داشت و با افزایش دما تا حد مشخصی که بستگی به گونه گیاهی دارد فتوسنتز و تبادلات گازی افزایش خواهد یافت ولی بعد از آن افزایش دمای ناحیه ریشه موجب بسته شدن روزنه و افزایش مقاومت روزنه ای و درنتیجه کاهش فتوسنتز خواهد گردید. بسته شدن روزنه در نتیجه تولید سیگنالهای محرک در ناحیه ریشه و ارسال آن به قسمت های شاخساره می باشد. همچنین نتایج نشان داد با برطرف شدن تنش گرمایی در ناحیه ریشه، فعالیت متابولیکی گیاه به حالت اول برگشته و روزنه ها باز شده و فتوسنتز ادامه پیدا خواهد کرد.این نتایج می تواند در کشت های هیدروپونیک که دمای ناحیه ریشه قابل کنترل است مد نظر قرار گیرد.

منابع

Allen, D. J. and Ort, D. R. (2001) Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in plant science 6 (1): 36-42.

Ashrafi, N. and Nejad, A. R. (2016) Stomatal Movement in Response to Root Zone Temperature in Purple Heart (*Tradescantia pallida*). Journal of Ornamental Plants 6 (3): 133-139.

Azizi, K., Dehaghi A. and Abad H. S. (2004) Growth and development of threeannual medicago species under different air and root zone temperatures. Pajouhesh & Sazandegi 64: 58-66 (in Persian).

Babalola, O., Boersma L. and Youngberg C. (1968) Photosynthesis and transpiration of Monterey pine seedlings as a function of soil water suction and soil temperature. Plant Physiology 43 (4): 515-521.

Challa, H. and Van Straten G. (1991) Reflections about optimal climatecontrol ingreenhouse cultivation. Mathematical and Control Applications inAgriculture- and Horticulture 13: 13-18.

Cumbus, I. and Nye P. (1982) Root zone temperature effects on growth and nitrate absorption in rape (*Brassica napus* cv. Emerald). Journal of Experimental Bot-

any 33 (6): 1138-1146.

Gur, A., Bravdo B. and Mizrahi Y. (1972) Physiological responses of apple trees to supraoptimal root temperature. Physiologia Plantarum 27 (2): 130-138.

Haldimann, P. and Feller U. (2004) Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat dependent reduction of the activation state of ribulose1, 5bisphosphate carboxylase/oxygenase. Plant, Cell & Environment 27 (9): 1169-1183.

Hutchison, R. S., Groom Q. and Ort D. R. (2000) Differential effects of chilling-induced photooxidation on the redox regulation of photosynthetic enzymes. Biochemistry 39 (22): 6679-6688.

Lawrence, W. T. and Oechel W. C. (1983) Effects of soil temperature on the carbon exchange of taiga seedlings.: I. Root respiration. Canadian Journal of Forest Research 13 (5): 840-849.

Lopushinsky, W. and Kaufmann M. R. (1984) Notes: Effects of Cold Soil on Water Relations and Spring Growth of Douglas-fir Seedlings. Forest Science 30 (3): 628-634.

Reynolds-Henne, C. E., Langenegger A., Mani J., Schenk N., Zumsteg A. and Feller U. (2010) Interactions between temperature, drought and stomatal opening in legumes. Environmental and Experimental Botany 68 (1): 37-43.

Rezaei- Nejad, A. and van Meeteren U. (2008) Dynamics of adaptation of stomatal behaviour to moderate or high relative air humidity in Tradescantia virginiana. Journal of experimental botany 59 (2): 289-301.

Rezaei-Nejad, A. and Van Meeteren U. (2005) Stomatal response characteristics of Tradescantia virginiana grown at high relative air humidity. Physiologia Plantarum 125 (3): 324-332.

Rezaei Nejad, A. and Van Meeteren U. (2005) Stomatal response characteristics of Tradescantia virginiana grown at high relative air humidity. Physiologia Plantarum 125 (3): 324-332.

Smith, S., Weyers J. and Berry W. (1989) Variation in stomatal characteristics over the

lower surface of Commelina communis leaves. Plant, Cell & Environment 12 (6): 653-659.

Sobeih, W. Y., Dodd I. C., Bacon M. A., Grierson D. and Davies W. J. (2004) Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (Lycopersicon esculentum) plants subjected to partial root-zone drying. Journal of Experimental Botany 55 (407) : 2353-2363.

Thompson, H. C., Langhans R. W., Both A.-J. and Albright L. D. (1998) Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system. Journal of the American Society for Horticultural Science 123 (3): 361-364.

Yang, S., Huang C., Wu Z., Hu J., Li T., Liu S. and Jia W. (2006) Stomatal movement in response to long distance-communicated signals initiated by heat shock in partial roots of Commelina communis L. Science in China Series C 49 (1): 18-25.

Yang, Z., Sinclair T. R., Zhu M., Messina C. D., Cooper M. and Hammer G. L. (2012) Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit. Environmental and Experimental Botany 78: 157-162.

Zhang, F., Lynch D. H. and Smith D. L. (1995) Impact of low root temperatures in soybean [Glycine max.(L.) Merr.] on nodulation and nitrogen fixation. Environmental and Experimental botany 35 (3): 279-285.