

تأثیر سیلیسیم و نور LED در افزایش مقاومت به تنش شوری-قلیائیت در گیاه عروسک پشت پرده (*Physalis angulata* L.)

میثم منظری توکلی^۱، بهمن زاهدی^{۱*} و حمید رضا روستا^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰)

چکیده

امروزه شور و قلیائی شدن آب و خاک به یک مشکل زیست محیطی تبدیل شده که تولید محصولات کشاورزی را محدود کرده است. نور از فاکتورهای اصلی تنظیم کننده رشد و نمو گیاهان است. سیلیسیم نقش بسیار مهمی در رشد و عملکرد گیاهان دارد. استفاده از سیلیسیم و نور LED می تواند سبب کاهش محدودیت تولید محصولات کشاورزی در شرایط شور و قلیائی شود. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار برای بررسی اثر غلظت های ۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر سیلیکات سدیم و چهار منبع نور طبیعی گلخانه (شاهد)، نور قرمز (۱۰۰٪)، نور آبی (۱۰۰٪) و نور قرمز ۷۰٪ + نور آبی ۳۰٪ با شدت ۲۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بر گیاه عروسک پشت پرده تحت غلظت های مختلف تنش بی کربنات سدیم + کلرید سدیم (شاهد، ۴۰ + ۱۰ و ۸۰ + ۲۰ میلی مولار) و ارزیابی کارایی آن ها در کاهش اثر تنش اجرا شد. نتایج نشان داد تغذیه برگی سیلیسیم همزمان با کاربرد نور LED هم در شرایط غیرتنش و هم در شرایط تنش ملایم و شدید باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و همچنین کارایی مصرف آب شد که این افزایش به ویژه در شرایط تنش شدید چشمگیر بود. استفاده از سیلیسیم میزان فنل و پرولین را هم در شرایط غیرتنش و هم در شرایط تنش افزایش داد و کاربرد نور LED به ویژه نور آبی + قرمز نیز باعث افزایش این شاخص ها شد. اگرچه اثر برهمکنش عوامل مورد بررسی بر میزان قندهای محلول، آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه و اندام هوایی، عناصر منگنز و روی و شاخص سبزیگی گیاه معنی دار نشد ولی کاربرد سیلیسیم و همچنین نور LED اثر افزایشی بر تمام این شاخص ها داشتند. بنابراین کاربرد سیلیسیم و نور LED می تواند سبب بهبود شاخص های رشدی گیاه عروسک پشت پرده و افزایش مقاومت این گیاه به تنش شوری-قلیائیت شود.

واژه های کلیدی: سیلیکات سدیم، بی کربنات سدیم، کلرید سدیم، شاخص بیوشیمیایی، روابط آبی گیاه.

مقدمه

دارد و در طب سنتی ایران و اکثر نقاط جهان کاربرد داشته است (۳۵). عروسک پشت پرده یکی از محصولات است که به واسطه امکان تولید زیاد آن در گلخانه و قابلیت فرآوری آن در صنایع تبدیلی و همچنین قیمت زیاد آن در بازارهای

گیاه عروسک پشت پرده (*Physalis angulata* L.) گیاهی گرمسیری، علفی، یکساله و از خانواده سولاناسه است. این گیاه از جمله گیاهانی است که جنبه زینتی، خوراکی و دارویی

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zahedi.b@lu.ac.ir

در همین ارتباط نقش سیلیسیم مورد توجه متخصصان تغذیه گیاه قرار گرفته است. سیلیسیم از نظر فراوانی موجود در خاک دومین عنصر بسیار فراوان است که تقریباً ۲۸ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (۲۳). اگرچه سیلیسیم در خاک فراوان است اما معمولاً با عناصر دیگر ترکیب شده و تشکیل اکسید یا سیلیکات می‌دهد که این ترکیبات به صورت نامحلول بوده و به شکل غیر قابل دسترس برای گیاهان هستند (۱۶). پژوهشگران نقش قابل توجه سیلیسیم را در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه تحت تنش شوری گزارش کرده‌اند (۳۹). بهبود مقاومت به تنش در گونه‌های مختلف گیاهان پس از استفاده برونزای سیلیسیم در محصولاتی مانند گندم، جو، کلزا، اسفناج، خیار و گوجه‌فرنگی گزارش شده است (۲۴). سیلیسیم سبب افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ می‌شود. با افزایش غلظت کلروفیل برگ، توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور زیاد شده و می‌تواند شرایط نامساعد محیطی را بهتر تحمل کند (۳۱). استفاده از سیلیسیم برونزا می‌تواند تحمل به تنش شوری را با افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی، جلوگیری از جذب سدیم از ریشه‌ها، تجمع اسمولیت‌های سازگار، بازیابی میزان فتوسنتز و یا تنظیم فیتورهورمون‌های درونزا افزایش دهد (۴۰ و ۵۲).

گیاهان برای فتوسنتز و رشد مناسب به نور احتیاج دارند و نشان داده شده است که طول موج‌های خاص از راه‌های مختلف برای گیاهان مفید هستند. به عنوان مثال هم نور آبی (۴۵۰-۴۷۰ نانومتر) و هم نور قرمز (۶۶۰ نانومتر) باعث افزایش تولید کلروفیل می‌شوند و نقش فعالی در فتوسنتز دارند. همچنین هر دو طول موج جنبه‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان را بهبود می‌بخشند (۲۵). نور تکمیلی با استفاده از لامپ‌های تولیدکننده نور مصنوعی در تولید محصولات گلخانه‌ای و به منظور ایجاد شرایط مطلوب رشد برای محصولات توصیه می‌شود. امروزه دیودهای پخش‌کننده نور (LED^۱) منابع نوری هستند که پژوهش‌ها بر روی آن‌ها

جهانی، امروزه مورد توجه بسیاری از تولیدکنندگان قرار گرفته است (۲۰).

با کاهش کیفیت و دسترسی به منابع آب شیرین در بسیاری از نقاط جهان، شوری و قلیائیت به یک چالش بزرگ تبدیل شده است زیرا تولید بسیاری از محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد (۲۲). مساحت زیادی از خاک‌های جهان شور، قلیائی یا شور-قلیائی است. افزایش جمعیت، امکان استفاده از آب با کیفیت مطلوب برای کشت گیاهان را محدود کرده است. شور و قلیائی بودن آب و خاک از مهم‌ترین شاخص‌های محیطی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران هستند. این شرایط برای بسیاری از گونه‌های گیاهی محدودکننده بوده و باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (۴۹). کربنات (CO_3^{2-}) و بی‌کربنات (HCO_3^-) از عوامل اصلی قلیائیت آب آبیاری هستند، درحالی که هیدروکسید، بورات، آمونیاک، بازهای آلی، فسفات‌ها و سیلیکات‌ها به عنوان عوامل جانبی شناخته شده‌اند. بی‌کربنات یون اصلی است که باعث قلیائیت آب و افزایش گنجایش بافری آن می‌شود، اما در غلظت‌های بیش از ۲ میلی‌مولار می‌تواند باعث توقف رشد گونه‌های حساس به pH زیاد آب شود (۴۵). قلیائی بودن از طریق کاهش حلالیت عناصر غذایی بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. کاهش فراهمی عناصر غذایی به دلیل افزایش pH همراه با افزایش غلظت کربنات و بی‌کربنات ایجاد می‌شود. pH زیاد ناشی از قلیائیت خاک ممکن است به طور مستقیم از رشد گیاهان حساس جلوگیری کند. با این حال در اکثر موارد این اثر pH نیست که سبب کاهش رشد گیاه می‌شود بلکه آثار سمی غلظت زیاد بی‌کربنات عامل اصلی این موضوع است (۴۵). شوری نیز در اکثر زمین‌های کشاورزی متأثر از کلرید سدیم است. به طور کلی تنش شوری در گیاهان موجب تنش خشکی و تنش سمیت یونی می‌شود. یعنی شوری خود ترکیبی از دو تنش اسمزی و یونی است. به علاوه، این دو تنش موجب ایجاد تنش‌های ثانویه به نام تنش اکسیداتیو می‌شوند (۳۶).

تغذیه صحیح گیاهان نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد.

1. Light Emitting Diode

سیلسیم بر بهبود کیفیت گیاهان که اکثر آنها در شرایط تنش گزارش شده است، تغییر در ویژگی‌های بیوشیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاهان با تابش نور LED و کاربرد عنصر سیلسیم نیز احتمالاً می‌تواند مقاومت گیاه به تنش شوری-قلیائیت را افزایش دهد. از آنجایی که بر اساس اطلاعات پژوهشی ما تاکنون تحقیق منتشر شده‌ای در مورد نقش سیلسیم و استفاده همزمان آن با نور LED بر گیاه عروسک پشت‌پرده وجود ندارد، پژوهش حاضر با هدف بررسی آثار سیلسیم و نور LED بر برخی صفات بیوشیمیایی، اکوفیزیولوژیک و فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز این گیاه در شرایط تنش شوری-قلیائیت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل با سه فاکتور شامل تنش شوری-قلیائیت در سه سطح شاهد (آب مقطر)، ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم + ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم + ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، فاکتور سیلیکات سدیم با دو غلظت صفر (شاهد) و ۷۵ میلی گرم بر لیتر و فاکتور طیف نوری در چهار سطح نور طبیعی گلخانه (شاهد)، نور قرمز (۱۰۰٪)، نور آبی (۱۰۰٪) و نور قرمز ۷۰٪ + نور آبی ۳۰٪ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام گرفت. میانگین مقادیر EC (dS/m) (۱/۶، ۵/۱ و ۷/۳) و pH (۶/۲، ۷/۹ و ۸/۱) در محلول غذایی محتوی ۰، ۱۰+۴۰ و ۲۰+۸۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم + کلرید سدیم بود. منبع نوری مورد استفاده نور LED با شدت ۲۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه بود. بذور عروسک پشت‌پرده در سینی نشا حاوی بستر کوکوپیت + پرلیت (۲ تا ۳ میلی‌متر) به نسبت ۱:۳ کشت شده و پس از مرحله چهار برگی به گلدان‌های ۴ لیتری پر شده با بستر مشابه منتقل شدند. آب مورد نیاز برای تهیه محلول غذایی از یک دستگاه تصفیه آب با پنج فیلتر و EC آب خروجی برابر ۱۴

متمرکز شده است و در تولیدات گیاهی پیشنهاد می‌شوند. وزن نسبتاً کم (کم‌تر از یک گرم)، حجم کم، دمای ساطع شده نسبتاً خنک، طول عمر بیش از ۱۰۰۰۰۰ ساعت، خروجی فوتون خطی، طول موج خاص و دامنه طول موج‌های احتمالی قابل ایجاد همگی ویژگی‌هایی هستند که LED ها را برای تولید محصول نسبت به منابع نور پیشین (مانند لامپ‌های فلورسنت و یا پرفشار سدیم) در گلخانه مناسب‌تر می‌سازد (۱۱). تحولات اخیر در زمینه فن‌آوری‌های منبع نور، دیدگاه‌های جدیدی را برای منابع نور پایدار و بسیار کارآمد در قالب LEDها برای تأمین نور گلخانه به ارمغان آورده است. نسبت نور آبی به قرمز مهم‌ترین عامل در هنگام استفاده از LEDها است زیرا استفاده از هر دو نور آبی و نور قرمز در مقایسه با گیاهانی که تنها در یکی از طول موج‌ها قرار گرفته‌اند رشد زیست‌توده گیاه و تولید میوه را افزایش می‌دهد (۱۱). کلروفیل‌ها همراه با کاروتنوئیدها رنگیزه‌های اصلی فتوسنتز هستند و هرگونه تغییر در این مواد شیمیایی گیاهی ناشی از تغییرات طیف نور عمده‌تأثیر بر روی فرآیند فتوسنتزی مؤثر است. در واقع گیاهانی که تحت ترکیبی از نور آبی و قرمز رشد کرده‌اند فتوسنتز بیشتری نسبت به گیاهانی که تحت نور قرمز به تنهایی پرورش یافته‌اند دارند. این تغییرات عملکرد فتوسنتزی تحت نور به نوبه خود بر رشد و توسعه گیاهان تأثیر دارد. در واقع، فرآیندهایی مانند جوانه‌زنی، طولیل شدن ساقه، باز شدن روزنه، فتوتروپیسم، رشد رویشی و گلدهی، رشد ریشه و بزرگ شدن برگ به‌طور متفاوتی تحت تأثیر طیف‌های مختلف نور قرار می‌گیرند (۸). امروزه با توجه به افزایش جمعیت و کمبود منابع آب در کشور امکان استفاده از آب با کیفیت مطلوب برای کشت گیاهان وجود ندارد، لذا کاربرد آب‌های با کیفیت نامطلوب یکی از مهم‌ترین راه‌کارها در بخش کشاورزی است. همچنین نور یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی برای رشد و نمو گیاه است و بدون آن سیستم‌های فتوسنتزی توانایی تولید را از دست می‌دهند. بنابراین تغییر در طول موج‌های نور می‌تواند در بهبود کارایی و عملکرد گیاه تأثیرگذار باشد. از طرفی با توجه به آثار مفید

شد و میزان جذب نوری در طول موج ۵۱۵ نانومتر ثبت شد (۱۰). اندازه‌گیری قند محلول با روش مک‌کریدی و همکاران (۱۹۵۰) انجام شد (۲۸). در این روش ۱/۰ میلی‌لیتر از عصاره الکلی که قبلاً برای پرولین تهیه شده بود با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون به علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط شد. سپس میزان جذب آن با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده و مقدار قندهای محلول محاسبه شد. اندازه‌گیری فعالیت گلوتامین سنتتاز بر اساس روش فیلمان و شاقینگ (۲۰۰۰) صورت گرفت. بدین جهت ۱/۰ گرم برگ و ریشه تازه وزن شده و در هاون کوبیده شد. سپس میزان گلوتامین سنتتاز از طریق روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۰۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (۱۴). برای اندازه‌گیری عناصر غذایی روی و منگنز برگ، ابتدا ۰/۵ گرم از اندام هوایی خشک آسیاب شده را وزن کرده و سپس در کوره با دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به مدت نیم ساعت و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شدند. سپس ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به هر نمونه افزوده شد و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس غلظت این عناصر با دستگاه جذب اتمی (مدل GBC AVANTA ساخت کشور استرالیا) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص سبزیگی (SPAD index) از هر گل‌دان تعداد ۴ برگ جوان انتخاب شده و شاخص سبزیگی توسط دستگاه کلروفیل‌متر (مدل Minolta SPAD-502) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش ریچی و همکاران (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شده و با فرمول زیر محاسبه شد (۴۰):

$$100 \times \frac{(\text{وزن خشک} - \text{وزن تازه})}{\text{وزن تازه}} = \text{آب نسبی محتوای درصد}$$

به‌منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول آب) نیز از روش ریچی و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شد که از تقسیم شدت فتوسنتز (از دستگاه فتوسنتزومتر IRGA (LCi Ultra Compact, ADC BioScientific

میکروموس بر سانتی‌متر موجود در گلخانه دانشکده کشاورزی تأمین شد. از فرمول محلول غذایی هوگلند تغییر یافته برای ساخت محلول غذایی استفاده شد. این محلول شامل: KH_2PO_4 ۱ میلی‌مولار، KNO_3 ۵ میلی‌مولار، $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ۵ میلی‌مولار، $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ۲ میلی‌مولار، NaCl ۱/۰ میلی‌مولار، Fe-EDDHA ۲۰ میکرومولار، $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ۷ میکرومولار، ZnCl_2 ۰/۷ میکرومولار، CuSO_4 ۰/۸ میکرومولار، H_3BO_3 ۲۰ میکرومولار و Na_2MoO_4 ۰/۸ میکرومولار بود (۴۱). گیاهان پس از انتقال به بسترهای کشت، روزانه سه بار و هر بار به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر با محلول غذایی آبیاری شدند. پس از ۴ هفته، تیمار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم هفته‌ای دو بار همراه با محلول غذایی اعمال شد. همچنین تیمار تغذیه برگی سیلیکات سدیم (pH=۵/۷) هفته‌ای یک بار (۹ و ۲۳) به‌صورت آبچک از سطح برگ‌ها اعمال شد. طول دوره آزمایش ۱۸۰ روز بود که میانگین دمای محیط گلخانه در طول این دوره 24 ± 3 درجه سلسیوس در روز و 21 ± 3 درجه سلسیوس در شب و میانگین رطوبت نسبی ۵۸ درصد بود. در پایان آزمایش برخی شاخص‌های بیوشیمیایی شامل فنل کل، پرولین، قندهای محلول گیاه، آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه و اندام هوایی، عناصر غذایی روی و منگنز موجود در اندام هوایی، شاخص سبزیگی، محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی، ۱/۰ گرم برگ تازه در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد سائیده شد. سپس با استفاده از معرف فولین-سیکالتو (Folin Ciocalteu) بر اساس روش آینسورث و گیلسپای (۲۰۰۷) میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) در طول موج ۷۲۰ نانومتر ثبت شد (۳). برای سنجش میزان پرولین، نیم گرم برگ توسعه یافته را با استفاده از ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و محلول حاصل را در لوله فالتون ریخته و عمل استخراج دو بار و هر بار با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد تکرار شد. روش انجام کار بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) بود و از معرف ناین هیدرین استفاده

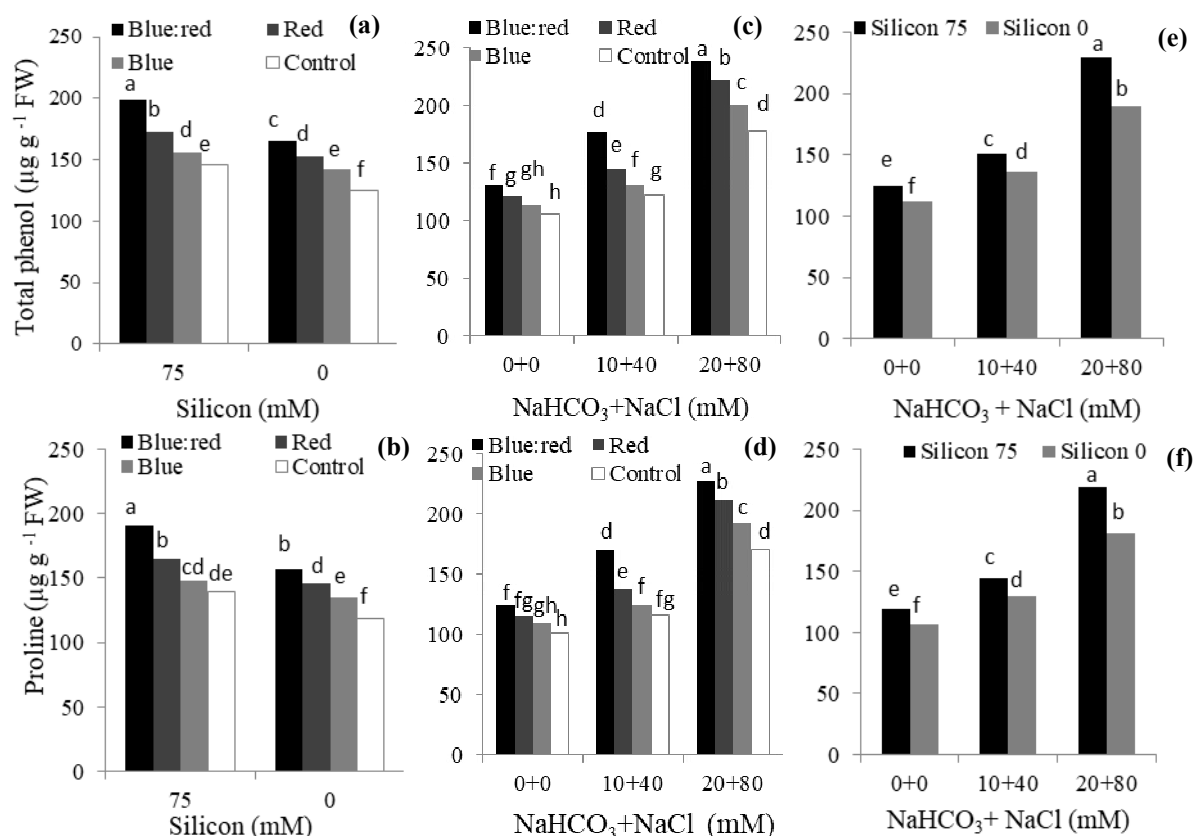
(Ltd., Herts, UK) استفاده شد) گیاه به شدت تعرق (از دستگاه فتوسنتز متر IRGA (LCi Ultra Compact, ADC BioScientific (Ltd., Herts, UK) استفاده شد) به دست آمد (۴۰). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار MS Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیبات فنلی و پرولین برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش، نور و سیلیسیم و برهم‌کنش‌های دوگانه آنها بر ترکیبات فنلی و پرولین برگ گیاه عروسک پشت‌پرده معنی‌دار شد. کاربرد نورهای LED چه همزمان با استفاده از سیلیسیم و چه بدون تغذیه برگ سیلیسیم میزان فنل و پرولین را افزایش داد که بیش‌ترین افزایش در هر دو مورد به ترتیب مربوط به نورهای آبی + قرمز، نور قرمز و نور آبی بود (شکل ۱ a, b). با توجه به شکل ۱ c, d) تنش شوری-قلیائیت به‌طور معنی‌داری میزان فنل و پرولین برگ را افزایش داده است. کاربرد نورهای LED چه در شرایط تنش و چه در شرایط غیرتنش میزان این دو شاخص را افزایش داد. در شرایط غیرتنش تنها نور آبی + قرمز تفاوت معنی‌داری در فنل با شاهد نشان داد و این افزایش به میزان ۲۳ درصد نسبت به نور طبیعی گلخانه بود. اما در مورد میزان پرولین برگ در شرایط غیرتنش هر سه منبع نوری این شاخص را افزایش دادند که این افزایش برای نورهای آبی + قرمز، قرمز و آبی به ترتیب ۲۳، ۱۵ و ۸ درصد بود. در شرایط تنش، کاربرد هر سه منبع نوری نسبت به نور طبیعی گلخانه سبب افزایش معنی‌داری در میزان فنل و پرولین برگ شدند. این افزایش در هر دو شاخص فنل و پرولین برگ برای نورهای آبی + قرمز، قرمز و آبی برای تنش ۴۰ + ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به ترتیب ۴۵، ۱۹ و ۷ درصد و برای تنش ۸۰ + ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به ترتیب ۳۳، ۲۵ و ۱۳ درصد بود. نتایج نشان داد چه در شرایط تنش و

چه در شرایط غیرتنش تغذیه برگ سیلیسیم میزان فنل و پرولین برگ را افزایش داد که این میزان افزایش هم برای فنل و هم پرولین برگ در شرایط معمولی غیرتنش و شرایط تنش ۴۰ + ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به میزان ۱۱ درصد و در شرایط تنش ۸۰ + ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به میزان ۲۱ درصد بود (شکل ۱ e, f). رنجبر و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند تنش شوری سبب افزایش ترکیبات فنلی برگ پسته شد و کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش این ترکیبات شد. یکی از سازوکارهای دفاع غیرآنزیمی برای رویارویی با تنش اکسایشی (اکسیداتیو) القاشده توسط تنش در گیاهان، تجمع ترکیبات فنلی است. ترکیبات فنلی به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیدکننده می‌شوند (۳۸). تأثیر سیلیسیم بر افزایش تولید ترکیبات فنلی شاید به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده و آنزیم فنیل‌آلانیل‌آمینولاز باشد. این آنزیم آغازکننده مسیر ساخت ترکیبات فنلی است و به احتمال زیاد سیلیسیم با افزایش فعالیت این آنزیم باعث افزایش میزان ترکیبات فنلی می‌شود (۱۲). کاربرد نورهای LED آبی و قرمز باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنلی در گیاهان می‌شود. توضیح احتمالی برای این نتایج ممکن است افزایش غلظت سیتوکینین تحت نور آبی و قرمز باشد که بیوسنتز ترکیبات فنلی را فعال می‌کند. با این حال، این تنها یک فرضیه است زیرا مکانیسم هنوز ناشناخته است (۸).

تجمع پرولین در اثر تنش یک واکنش عمومی است که به‌علت ساخت پرولین در بافت‌ها، جلوگیری از اکسایش پرولین و جلوگیری از شرکت پرولین در ساخت پروتئین‌ها صورت می‌گیرد. در شرایطی که تنش شدید یا متوسط باشد، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به دیگر اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد. نقش پرولین در هنگام تنش، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها، جلوگیری از تجزیه بزرگ مولکول‌ها، دخالت در حفظ استحکام دیواره سلولی و پاک‌سازی هیدروکسیل‌های تولیدی در گیاه



شکل ۱. مقایسه میانگین آثار برهمکنش دوگانه سیلیسیم و نور (a, b)، تنش شوری-قلیائیت و نور (c, d) و تنش شوری-قلیائیت و سیلیسیم (e, f)، بر میزان فنل کل (a, c, e) و میزان پرولین (b, d, f) در گیاه عروسک پشت پرده؛ ستون‌های با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار هستند ($p < 0.05$, LSD).

Fig. 1. Mean comparisons of the interaction effects of silicon and LED light (a, b), salinity-alkalinity stress and LED light (c, d), and salinity-alkalinity stress and silicon (e, f) on total phenol content (a, c, e) and proline content (b, d, f) of *Physalis angularata* L.; Columns with different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

باعث کاهش گونه‌های فعال اکسیژن شده، و میزان پراکسید هیدروژن نیز به شدت کاهش می‌یابد و به همین دلیل یکی از عامل‌های متابولیسم پرولین از بین رفته و میزان پرولین افزایش می‌یابد (۲). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با ترکیب دو طول موج قرمز و آبی، فتوسنتز خالص افزایش پیدا کرده و هدایت روزنه‌ای به واسطه تنظیم دهانه روزنه‌ها افزایش می‌یابد و باعث بهبود مقاومت به تنش‌ها به واسطه افزایش غلظت آنتی‌اکسیدانت‌ها مانند پرولین می‌شود (۴۳).

قندهای محلول برگ: قندهای محلول برگ در سطح یک درصد تحت تأثیر تنش شوری-قلیائیت، نور و سیلیسیم قرار گرفتند اما هیچ یک از اثر برهمکنش‌های این منابع بر این

تحت تنش است (۶). در پژوهشی که بر روی گندم در شرایط تنش خشکی انجام شد سیلیسیم با افزایش محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی (پرولین و گلیسین بتائین) و حفظ تعادل آبی سلول از کاهش شدید محتوای نسبی آب برگ جلوگیری کرده و این امر سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش کم‌آبی شد (۱). رنجبر و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند با اعمال تنش شوری، محتوای پرولین برگ پسته افزایش پیدا کرد اما کاربرد سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش شوری و بدون تنش باعث افزایش محتوای پرولین شد (۳۸). احمد و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه رسیدند که در حضور سیلیسیم، افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده مانند کاتالازها و سوپر اکسید دیسموتازها

جدول ۱. مقایسه میانگین آثار تنش شوری-قلیائیت ($\text{NaCO}_3 + \text{NaCl}$)، نور (LED light) و سیلیسیم (Silicon) بر قند محلول (Soluble sugar) (میلی گرم بر گرم وزن تازه)، فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه (Root GS) و فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز اندام هوایی (Shoot GS) (میکرومول گلوتامیل هیدروکسامات بر گرم وزن تازه بر ساعت)، عناصر غذایی منگنز (Mn) و روی (Zn) (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) شاخساره و شاخص سبزینگی (SPAD index) گیاه عروسک پشت پرده.

Table 1. Mean comparisons of salinity-alkalinity stress ($\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl}$), LED light, and silicon on soluble sugar (mg g^{-1} FW), glutamine synthetase activity of root (Root GS), glutamine synthetase activity of shoot (Shoot GS) ($\mu\text{mol GH g}^{-1}$ FW h^{-1}), Mn and Zn of shoot (mg kg^{-1} DW), and SPAD index of *Physalis angulata* L.

Treatment	Soluble sugar	Root GS	Shoot GS	Mn	Zn	SPAD index
$\text{NaHCO}_3 + \text{NaCl}$ (mM)						
0 + 0	3.76 ^a	5.51 ^a	8.57 ^a	40.87 ^a	36.87 ^a	54.03 ^a
10 + 40	2.58 ^b	4.38 ^b	6.53 ^b	31.37 ^b	34.82 ^b	50.99 ^b
20 + 80	2.13 ^c	3.40 ^c	4.63 ^c	21.46 ^c	30.61 ^c	47.86 ^c
LED light						
Blue + Red	3.26 ^a	4.99 ^a	7.66 ^a	39.27 ^a	35.48 ^b	55.10 ^a
Red	2.91 ^b	4.65 ^{ab}	6.70 ^b	31.16 ^b	37.43 ^a	55.78 ^a
Blue	2.69 ^{bc}	4.33 ^b	6.36 ^b	28.97 ^b	33.25 ^c	47.59 ^b
Control	2.42 ^c	3.76 ^c	5.58 ^c	25.54 ^c	30.25 ^d	45.37 ^c
Silicon (mM)						
75	3.02 ^a	4.71 ^a	7.27 ^a	34.73 ^a	35.01 ^a	52.23 ^a
0	2.62 ^b	4.15 ^b	5.88 ^b	27.74 ^b	33.19 ^b	49.68 ^b

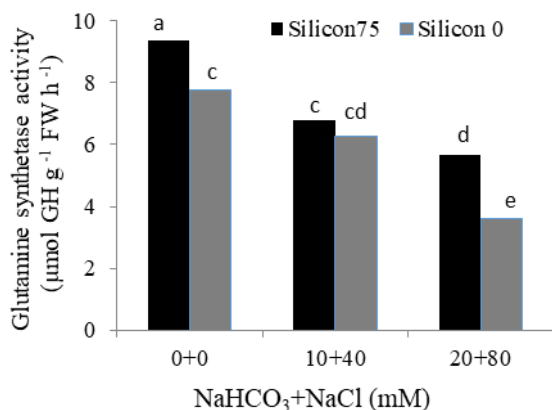
در هر ستون و در هر گروه میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارد.

In each column and each group, means with the same letters are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

اکسیدشدن محافظت کرده و باعث بقای ساختار پروتئین‌ها خواهد شد (۴۶). قندهای محلول به‌عنوان مواد اسمولیت، شیب جریان آب به سلول‌ها را افزایش داده و از طریق تنظیم محتوای آب، تورژسانس سلول‌ها را حفظ می‌کنند (۱۹). میس و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که ترکیب نور LED قرمز و آبی فعالیت فتوسنتزی بیشتری نسبت به نور قرمز یا آبی به تنهایی نشان داد در نتیجه، ترکیب نور باعث تحریک بهتر گیرنده‌های نوری از جمله فیتوکروم‌ها، کریپتوکروم‌ها و فتوروپین‌ها می‌شود و منجر به فعالیت فتوسنتزی بیشتر شد (۲۹). در گیاهان عالی، فتوستت در برگ‌ها، فرآورده‌هایی همچون کربوهیدرات‌ها را تولید می‌کند. کربوهیدرات‌های حاصل از فتوستت از راه آوندهای آبکش به بافت‌ها و اندام‌های مختلف گیاه راه می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که سیلیسیم با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، سطح برگ، تعداد برگ، فعالیت آنزیم روبیسکو و ظرفیت فتوسنتزی، کاهش تنش اکسیداتیو و حفاظت ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین‌ها و غشای کلروپلاستی و غشای سلولی باعث افزایش فتوستت شده و به

شاخص معنی‌دار نشد. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود تنش شوری-قلیائیت $40 + 10$ و $80 + 20$ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به‌ترتیب میزان قندهای محلول برگ را ۴۵ و ۷۶ درصد کاهش دادند. نتایج نشان داد کاربرد سیلیسیم میزان قندهای محلول را ۱۵ درصد نسبت به شاهد بدون تغذیه برگ سیلیسیم افزایش داد و کاربرد نور LED نیز سبب افزایش قندهای محلول برگ گیاه عروسک پشت پرده نسبت به نور طبیعی گلخانه شد. این افزایش برای نور آبی معنی‌دار نبود و برای نورهای آبی + قرمز و قرمز به‌ترتیب ۳۵ و ۲۰ درصد نسبت به نور طبیعی گلخانه بیشتر بود (جدول ۱).

رنجبرو همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند تنش شوری میزان کربوهیدرات محلول برگ پسته را کاهش داده و کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش کربوهیدرات‌ها شد (۳۸). با توجه به اظهار نظر ورما و دوبیم (۲۰۰۱) می‌توان گفت که سیلیسیم ذخیره کربوهیدراتی گیاهان تحت تأثیر تنش را برای فرآیندهای متابولیک در حد مطلوب نگه داشته و با افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش شوری، گیاهان را از تخریب



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش شوری-قلیائیت و سیلیسیم بر فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز اندام هوایی گیاه عروسک پشت پرده؛ ستون‌های با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار هستند ($p < 0.05$, LSD).

Fig. 2. Mean comparisons of the interaction effect of salinity-alkalinity stress and silicon on shoot glutamine synthetase activity of *Physalis angulata* L.; Columns with different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

مرتبط است، بنابراین محدودیت در فتوسنتز و رشد در اثر تنش‌های محیطی احتمالاً نتیجه وقوع تغییر در مقادیر نیتروژن و نیز قابلیت دسترسی گیاه به این عنصر است (۳۴). نصر اصفهانی و مددکار (۲۰۱۵) نشان دادند در یکی از ارقام سویا در پاسخ به تنش خشکی تفاوت معنی‌داری در آنزیم گلوتامین سنتتاز مشاهده نشد اما در رقم دیگر پس از ۷ روز توقف آبیاری فعالیت این آنزیم در مقایسه با شاهد کاهش یافت (۳۴). ناجی و همکاران (۲۰۱۳) نیز کاهش فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز در پاسخ به تنش خشکی در یک رقم حساس گندم را گزارش کردند (۳۳).

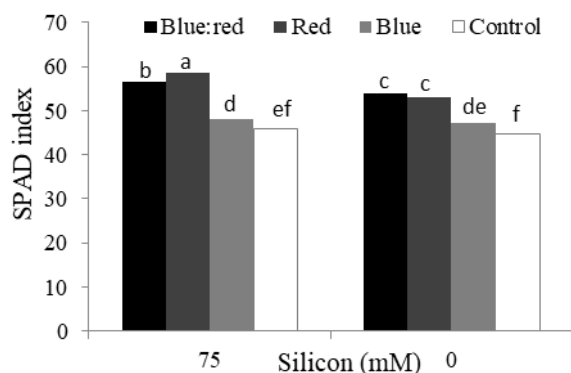
عناصر منگنز و روی: نتایج تجزیه واریانس تیمارها نشان داد اثر نور، سیلیسیم و تنش شوری-قلیائیت در سطح احتمال یک درصد بر غلظت عنصر منگنز و روی اندام هوایی گیاه معنی‌دار شد. میزان اثر این شاخص‌ها بر عنصر منگنز شدیدتر از عنصر روی بود. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود تنش ۴۰ + ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم سبب کاهش ۳۰ درصدی عنصر منگنز و ۱۲ درصدی عنصر روی و تنش ۸۰ + ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم سبب

تبع آن میزان قندهای محلول موجود در گیاهان را افزایش می‌دهد (۴۲).

آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه و اندام هوایی: فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه و اندام هوایی در سطح یک درصد تحت تأثیر تنش شوری-قلیائیت، نور و سیلیسیم قرار گرفتند. اثر برهم‌کنش سیلیسیم و تنش شوری-قلیائیت بر فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز اندام هوایی نیز معنی‌دار شد. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود تنش شوری-قلیائیت ۴۰ + ۱۰ و ۸۰ + ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به ترتیب فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه را به میزان ۲۵ و ۶۲ درصد و فعالیت این آنزیم در اندام هوایی را ۳۱ و ۹۸ درصد نسبت به شرایط غیرتنش کاهش دادند. تغذیه برگ‌گی سیلیسیم سبب افزایش ۱۳ درصدی فعالیت این آنزیم در ریشه و افزایش ۲۳ درصدی این آنزیم در اندام هوایی گیاه عروسک پشت پرده نسبت به عدم تغذیه برگ‌گی شد. نورهای آبی + قرمز، قرمز و آبی نیز به ترتیب فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز ریشه را ۳۲، ۲۴ و ۱۵ درصد و فعالیت این آنزیم در اندام هوایی را ۳۷، ۲۰ و ۱۴ درصد نسبت به نور طبیعی گلخانه افزایش دادند.

نتایج اثر برهم‌کنش سیلیسیم و تنش شوری-قلیائیت نشان داد هم در شرایط تنش و هم در شرایط غیرتنش کاربرد سیلیسیم سبب افزایش فعالیت آنزیم گلوتامین سنتتاز اندام هوایی گیاه عروسک پشت پرده شد که این افزایش در تنش ۴۰ + ۱۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم معنی‌دار نبود درحالی که در شرایط غیرتنش این افزایش به میزان ۲۱ درصد و در شرایط تنش ۸۰ + ۲۰ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم به میزان ۵۶ درصد بود (شکل ۲).

آنزیم گلوتامین سنتتاز نقش مهمی در متابولیسم نیتروژن دارد و به‌عنوان یک شاخص مهم در تعیین مقاومت به تنش پیشنهاد شده است (۳۳). تنش، دسترسی گیاه به نیتروژن، توان جذب نیتروژن و نیز فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر آسمیلاسیون نیتروژن، عمدتاً نترات ردوکتاز و گلوتامین سنتتاز را کاهش می‌دهد. از آنجا که ظرفیت فتوسنتزی گیاه با میزان نیتروژن برگ



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش سیلیسیم و نور بر شاخص سبزینگی گیاه عروسک پشت پرده؛ ستون‌های با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار هستند (LSD, $p < 0.05$).

Fig. 3. Mean comparisons of the interaction effect of silicon and LED light on SPAD index of *Physalis angulata* L.; Columns with different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

شاخص سبزینگی (SPAD): بر اساس نتایج تجزیه واریانس شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر نور، سیلیسیم و تنش شوری-قلیائیت قرار گرفت. اثر برهمکنش سیلیسیم و نور نیز در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سبزینگی معنی‌دار شد. تنش $40 + 10 + 80 + 20$ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم شاخص سبزینگی را به ترتیب ۶ و ۱۳ درصد کاهش دادند. نورهای LED مورد استفاده به‌ویژه نور قرمز شاخص سبزینگی را نسبت به نور طبیعی افزایش دادند که البته این نور با نور آبی + قرمز تفاوت معنی‌داری نشان نداد. از طرفی کاربرد سیلیسیم نیز این شاخص را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۱). با توجه به شکل (۳) بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی در گیاهان تغذیه‌برگی شده با سیلیسیم پرورش یافته در نور قرمز و پس از آن نور آبی + قرمز مشاهده شد درحالی که کم‌ترین مقدار مربوط به نور طبیعی گلخانه با و بدون کاربرد سیلیسیم بود.

شاخص کلروفیل که بیانگر غلظت کلروفیل در واحد سطح است از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز است و به گونه‌ای قدرت منبع را مشخص می‌کند. هنگامی که محیط‌های شور دارای یون‌های CO_3^{2-} و HCO_3^- باشند pH زیاد شده و

کاهش ۹۰ درصدی غلظت عنصر منگنز و ۱۷ درصدی عنصر روی در اندام هوایی شد. نتایج نشان داد کاربرد نور آبی + قرمز، نور قرمز و نور آبی به‌ترتیب سبب افزایش ۵۴، ۲۲ و ۱۳ درصدی عنصر منگنز و افزایش ۱۵، ۱۹ و ۹ درصدی عنصر روی نسبت به نور طبیعی گلخانه شد. استفاده از سیلیسیم ۷۵ میلی‌مولار نیز غلظت عنصر منگنز را به میزان ۲۵ درصد و غلظت عنصر روی را به میزان ۵ درصد نسبت به شاهد بدون سیلیسیم افزایش داد.

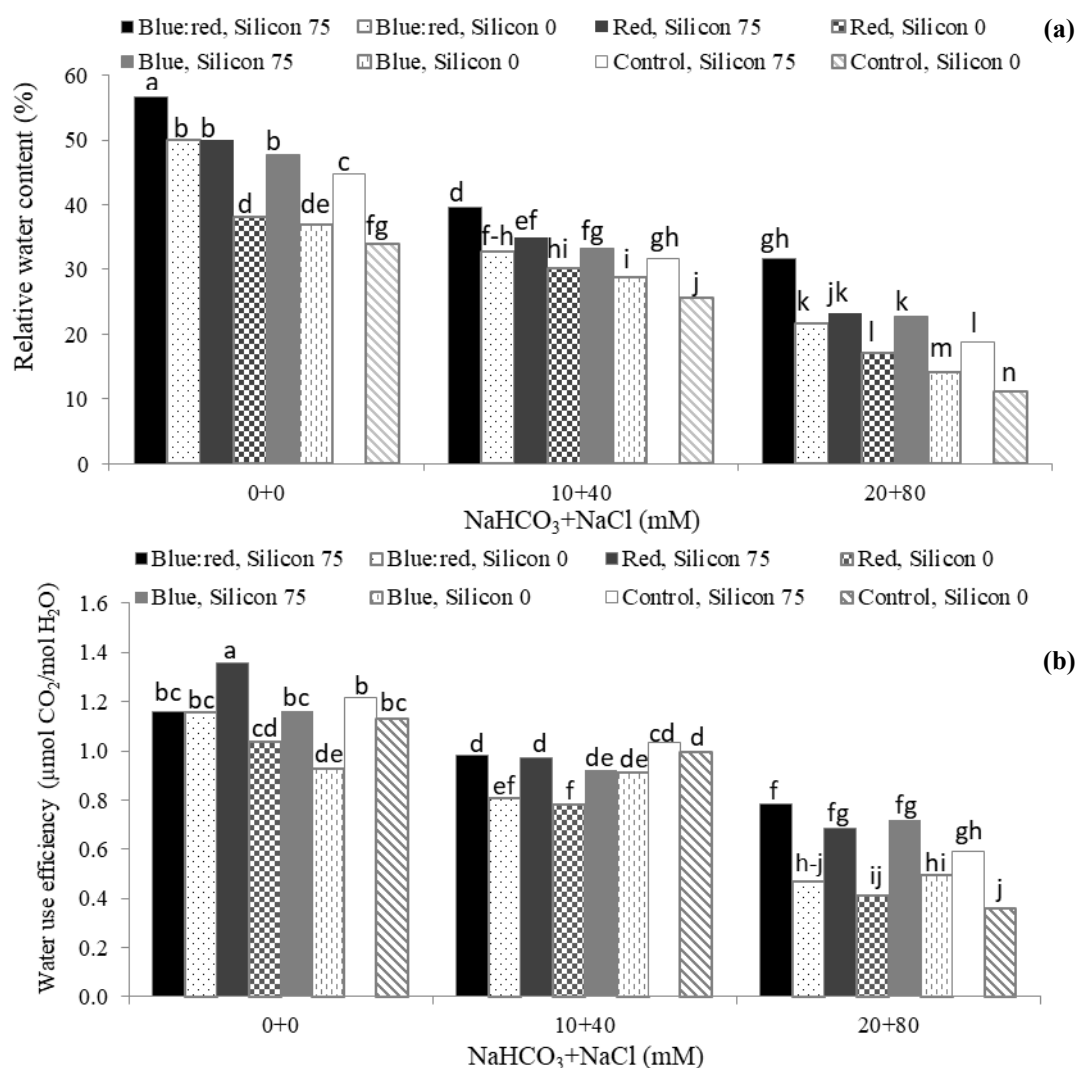
شبه به نتایج این پژوهش، تنش شوری کلرید سدیم و کلسیم میزان جذب منگنز شاخساره را در گوجه‌فرنگی کاهش داد (۵۱). افزایش شوری جذب منگنز در بادام وحشی را نیز کاهش داد (۲۱). کاربرد سیلیسیم باعث کاهش علائم سمیت منگنز در گیاهان می‌شود. اما در پژوهش حاضر سطوح منگنز به حد سمیت نرسید و در محدوده بهینه قرار داشت. دلیل اثر سیلیسیم بر کاهش سمیت منگنز توزیع همگن آن در برگ‌ها و ممانعت از رسوب در یک نقطه خاص است. گزارش‌هایی وجود دارد که سیلیسیم باعث افزایش منگنز در گیاه ژربرا و کوکب می‌شود که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد (۳۱). مشابه نتایج این آزمایش، منظری توکلی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند تیمار بی‌کربنات سدیم به‌طور چشمگیری میزان روی اندام هوایی گردو را کاهش داد. بی‌کربنات عامل اصلی در ایجاد کمبود روی در گیاهان است. بی‌کربنات از جذب روی توسط ریشه‌ها ممانعت کرده و از انتقال آن از ریشه‌ها به اندام هوایی جلوگیری می‌کند (۲۷). هم‌سو با نتایج این آزمایش، در پژوهشی استفاده از سیلیکات سدیم و کلسیم سبب افزایش میزان روی برگ داوودی شد (۱۸) و در پژوهشی دیگر کاربرد سیلیکات پتاسیم میزان روی در برگ جعفری را افزایش داد (۴۴). سیلیسیم علائم کمبود روی را که در اثر زیادی فسفر ایجاد می‌شود کاهش می‌دهد. فسفر و روی واکنش منفی نسبت به هم دارند. سیلیس علائم کمبود روی را از طریق افزایش روی محلول در آب به روی کل کاهش داده و از بروز کمبودهای عنصر روی ناشی از زیادی فسفر جلوگیری می‌کند (۳۷).

گیاهان تحت تأثیر آثار زیانبار هر دو نوع تنش شوری و قلیایی قرار می‌گیرند. pH بالا و تجمع زیاد Na^+ توسط تنش شوری-قلیائیت باعث کمبود پروتون و تخریب شیب پتانسیل الکتروشیمیایی در سلول‌های ریشه می‌شود که این باعث تغییر بسیاری از کارکردهای فیزیولوژیک مانند جذب آب و یونها می‌شود. با توجه به این تغییرات در عملکرد فیزیولوژیک ریشه، تنش قلیائیت سبب کاهش رشد و فتوسنتز در گیاهان می‌شود. کاهش فتوسنتز در اثر سطح کم‌تر رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه به‌علت رسوب منیزیم در ریزوسفر است (۴۸). آرویی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند تنش شوری سبب کاهش شاخص کلروفیل در گیاه شنبلیله شده و کاربرد سیلیس در همه سطوح شوری سبب افزایش شاخص کلروفیل شد (۵). از طرفی فانی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند تحت شرایط تنش خشکی کاربرد سیلیسیم نیز باعث افزایش شاخص کلروفیل شد. افزایش شاخص کلروفیل توسط سیلیسیم می‌تواند به‌علت نقش این عنصر در ساخت کلروفیل در گیاه باشد (۱۳). تأثیر سیلیسیم بر افزایش مقدار کلروفیل برگ از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز، افزایش کارایی فتوسیستم II و جلوگیری از تخریب کلروفیل است (۴). همچنین آثار مثبت تغذیه برگی سیلیسیم ممکن است به‌دلیل نقش آن در حفاظت از دستگاه فتوسنتزی باشد (۱۳). نور آبی تشکیل زیرواحدهای رویسکو، پروتئین‌های بین کلروفیل a و b، شکل‌گیری کلروفیل و نمو کلروپلاست را افزایش می‌دهد. همچنین این نور از طریق کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها باز شدن روزنه‌ها را تنظیم می‌کند و از طریق گیرنده فتوتروپین I باعث افزایش رشد ریشه‌های سطحی شده که در نتیجه آن افزایش عملکرد گیاه در تنش حاصل می‌شود. از طرفی جذب نور قرمز توسط فیتوکروم‌ها سبب افزایش رشد گیاه، ارتفاع ساقه، زیست‌توده گیاه شده و با تحریک توسعه کلروپلاست باعث ایجاد حداکثر ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (۵۰).

محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب: جدول تجزیه واریانس نشان داد آثار برهم‌کنش تنش شوری-قلیائیت، و نور و

سیلیسیم بر محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در شرایط غیرتنش کاربرد نور آبی + قرمز، نور قرمز و نور آبی همراه با سیلیسیم به‌ترتیب محتوای نسبی آب برگ را به میزان ۶۵، ۴۷ و ۳۸ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش داد درحالی که این افزایش برای کارایی مصرف آب تنها برای نور قرمز معنی‌دار و به میزان ۲۰ درصد بود. در شرایط تنش ۴۰ + ۱۰ میلی مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم، این افزایش برای محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب ۵۳، ۳۶ و ۳۳ درصد بود درحالی که تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت. در شرایط تنش ۸۰ + ۲۰ میلی مولار بی‌کربنات سدیم و کلرید سدیم کاربرد نور آبی + قرمز، نور قرمز و نور آبی همراه با تغذیه برگی سیلیسیم محتوای نسبی آب برگ را به میزان ۱۸۰، ۱۱۰ و ۱۱۰ درصد و کارایی مصرف آب را به‌ترتیب به میزان ۱۱۶، ۸۹ و ۹۷ درصد نسبت به گیاهان شاهد افزایش داد.

محمدنیا و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند با افزایش دور و فاصله آبیاری، محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب در گیاه ریحان کاهش یافته و کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش آنها شد (۳۲). مام رش پور و نظری دلجو (۲۰۱۹) نیز در گیاه لیلیوم نشان دادند کاربرد سیلیسیم محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد (۲۶). نتایج این پژوهش‌ها با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. به‌طور کلی محتوای نسبی آب برگ، وضعیت آب برگ و فرایندهای متابولیکی سلول را بیان می‌کند. کاهش محتوای نسبی آب برگ از طریق بسته شدن روزنه‌ها سبب افت هدایت روزنه‌ای و درنهایت کاهش فتوسنتز شده، از طریق تقلیل تولید ATP و NADPH سبب کاهش قابل توجهی در مقدار الکترون انتقال‌یافته در واکنش‌های نوری فتوسنتز شده و در نهایت کارایی دستگاه فتوسنتز کم می‌شود (۷). کاهش محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب در شرایط تنش شوری ناشی از کاهش میزان رشد ریشه، بسته شدن روزنه‌های هوایی، کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه و همچنین افزایش تجمع یون‌ها به‌ویژه یون‌های سدیم و کلر است (۱۷).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش شوری-قلیائیت، سیلیسیم و نور بر محتوای نسبی آب (a) و کارایی مصرف آب (b) گیاه عروسک پشت‌پرده؛ ستون‌های با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار هستند (LSD, $p < 0.05$).

Fig. 4. Mean comparisons of the interaction effect of salinity-alkalinity stress, silicon and LED light on relative water content (a) and water use efficiency (b) of *Physalis angulata* L.; Columns with different letters are significantly different (LSD, $p < 0.05$).

جذب عناصر غذایی همچون پتاسیم و انتقال آن‌ها به گیاه، باعث تجمع یون‌ها در واکوئل‌های سلول‌های برگ شده و با کاهش پتانسیل اسمزی سبب حفظ آب در گیاه شده و محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (۲۶).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش حاکی از آثار نامطلوب تنش شوری-قلیائیت بر گیاه عروسک پشت‌پرده است. نتایج نشان

سیلیسیم با رسوب در دیواره خارجی سلول‌های اپیدرم برگ، میزان اتلاف آب از طریق روزنه‌ها، تبخیر و تعرق را کاهش داده و موجب حفظ آب سلول‌ها و افزایش محتوای نسبی آب می‌شود (۱۵). همچنین سیلیسیم با رسوب در دیواره سلولی و در ترکیب با درشت‌ملکول‌های آلی (شامل سلولز، پکتین، گلیکوپروتئین‌ها و لیگنین) ترکیب‌های کلونیدی بی‌شکل با سطح جذب زیاد را تشکیل داده و در نتیجه سیلیسیم در انتقال و جذب آب تأثیرگذار است (۴۷). به‌علاوه سیلیسیم با افزایش

می‌شود تأثیر این تیمارهای آزمایشی بر میزان عملکرد و تولید محصول گیاه فیسالیس بررسی شود. همچنین بررسی نورهای مختلف به‌عنوان نور تکمیلی در گلخانه‌های تجاری تولید این گیاه انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از گروه باغبانی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان برای در اختیار قراردادن گلخانه هیدروپونیک تشکر و قدردانی می‌شود.

داد کاربرد همزمان سیلیسیم و نور LED به‌ویژه ترکیب ۷۰٪ نور قرمز با ۳۰٪ نور آبی باعث بهبود شاخص‌های مربوط به روابط آبی گیاه شامل محتوای نسبی آب برگ و کارایی مصرف آب به‌ویژه در شرایط تنش شدید شوری-قلیائیت شد. سیلیسیم و نور LED همچنین با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند فنل، پرولین، قندهای محلول و بازیابی میزان فتوسنتز با افزایش تجمع آنزیم گلوتامین سنتتاز در ریشه و اندام هوایی و افزایش شاخص سبزی‌نگی گیاه آثار نامطلوب تنش شوری-قلیائیت بر گیاه عروسک پشت‌پرده را کاهش دادند. در پایان پیشنهاد

منابع مورد استفاده

- Ahmad, S.T., Haddad, R., 2011. Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47(1): 17–27.
- Ahmed, M., Hassen, F.U., Qadeer, U., Aslam, M.A., 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research* 6(3): 594–607.
- Ainsworth, E.A., Gillespie, K.M., 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2(4): 875–877.
- Al-aghabar, K., Zhu, Z., Shi, Q., 2005. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 27: 2101–2115.
- Arouiee, H., Nasser, M., Neamati, H., Kafi, M., 2012. Effects of silicon on salinity tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Agronomy Journal (Sazandegi & Pajouhesh)* 27(104): 165–172. (in Persian with English abstract)
- Askarnejad, M., Sodaeeizadeh, H., Mosleh, A., Yazdani, B., 2019. Effect of Silicon on Some Characteristics of Purple Basil (*Ocimum basilicum*) Under Drought Stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 20(1): 21–30. (in Persian with English abstract)
- Baker, N.R., Rosenqvist, E., 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany* 55(403): 1607–1621.
- Bantis, F., Karamanoli, K., Ainalidou, A., Radoglou, K., Constantinidou, H.I.A., 2018. Light emitting diodes (LEDs) affect morphological, physiological and phytochemical characteristics of pomegranate seedlings. *Scientia horticulturae* 234: 267–274.
- Barakatain, L., Nikbakht, A., Etemadi, N., Khajeh Ali, J., 2013. Effect of source and method of silica application on some of the quantitative and physiological characteristics of *Gerbera jamesonii* L. *Journal of Soil and Plant Interactions* 4(1): 39–47. (in Persian with English abstract)
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39(1): 205–207.
- Brazaitytė, A., Duchovskis, P., Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Kazėnas, V., Kasiulevičiūtė-Bonakėrė, A., Bliznikas, Z., Novičkovas, A., Breivė, K., 2009. After-effect of light-emitting diodes lighting on tomato growth and yield in greenhouse. *Sodininkystė Ir Daržininkystė* 28(1): 115–126.
- Cai, K., Gao, D., Luo, S., Zeng, R., Yang, J., Zhu, X., 2008. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. *Physiologia Plantarum* 134(2): 324–333.
- Fani, E., Hassibi, P., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, Kh., Seyed Ahmadi, S.A., 2019. Evaluation of the effect of drought stress and silica spraying on some physiological characteristics of canola cultivars. *Crop Physiology* 11(42): 5–15. (in Persian with English abstract)
- Finnemann, J., Schjoerring, J.K., 2000. Post-translational regulation of cytosolic glutamine synthetase by reversible phosphorylation and 14-3-3 protein interaction. *The Plant Journal* 24(2): 171–181.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., Zhang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169(2): 313–321.
- Gunes, A., Inal, A., Bagci, E.G., Coban, S., Sahin, O., 2007. Silicon increases boron tolerance and reduces oxidative

- damage of wheat grown in soil with excess boron. *Biologia Plantarum* 51(3): 571–574.
17. Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, N., Laiegh, S.F., Poschenrieder, C., 2010. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Plant and Soil* 331(1): 313–327. (in Persian with English abstract)
 18. Hajipour, H., Jabbarzadeh, Z., Rasouli Sadaghiani, M.H., 2019. Effect of foliar application of silica on some growth, biochemical and reproductive characteristics and leaf elements of chrysanthemum (*Dendranthema ×grandiflorum* cv. Fellbacher Wein). *Soil and Plant Interaction* 10(1): 29–46. (in Persian with English abstract)
 19. Henriot, C., Draye, X., Oppitz, I., Swennen, R., Delvaux, B., 2006. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled conditions. *Plant and Soil* 287(1): 359–374.
 20. Ivanova, T., Popova, V., Mazova, N., Stoyanova, A., Damyanova, S., 2019. Extracts from physalis leaves (*Physalis peruviana* L.) for prospective application in medicine and cosmetics. *Ukrainian Food Journal* 8(1): 34–44.
 21. Jahanbazi, H., Nasr, S.M.H., Saghebtabi, Kh., Hojjati, S.M., 2014. Effect of salinity on growth factors, proline, pigments and absorption of elements in shoot of four wild Almond. *Iranian Journal of Biology* 27(5): 777–787. (in Persian with English abstract)
 22. Kaloterakis, N., van Delden, S.H., Hartley, S., De Deyn, G.B., 2021. Silicon application and plant growth promoting rhizobacteria consisting of six pure *Bacillus* species alleviate salinity stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Scientia Horticulturae* 288: 110383.
 23. Kamenidou, S., Cavins, T.J., Marek, S., 2009. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Scientia Horticulturae* 123(3): 390–394.
 24. Khan, A., Khan, A. L., Muneer, S., Kim, Y.H., Al-Rawahi, A., Al-Harrasi, A., 2019. Silicon and salinity: crosstalk in crop-mediated stress tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science* 10: 1429.
 25. Lu, N., Maruo, T., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Ito, Y., Ichimura, T., Shinohara, Y., 2012. Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes (LEDs) on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density. *Environmental Control in Biology* 50(1): 63–74.
 26. Mamrashpour, O., Nazaridjoui, M.J., 2019. Vase life and physiological reaction of oriental lily "Casa Blanca" to silicon as a quasi-essential element under soilless cultivation system. *Iranian Journal of Horticultural Science* 50(1): 141–150. (in Persian with English abstract)
 27. Manzari Tavakkoli, M., Bagheri, V., Karimi, H.R., Roosta, H. R., 2016. Evaluation of some the physiological and growth responses of three walnut genotypes to different bicarbonate concentrations in irrigation water. *Iranian Journal of Horticultural Science* 46(4): 549–561. (in Persian with English abstract)
 28. McCready, R. M., Guggolz, J., Silveira, V., Owens, H.S., 1950. Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry* 22(9): 1156–1158.
 29. Meas, S., Luengwilai, K., Thongket, T., 2020. Enhancing growth and phytochemicals of two amaranth microgreens by LEDs light irradiation. *Scientia Horticulturae* 265: 109204.
 30. Meena, V.D., Dotaniya, M.L., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S., Rao, A.S., 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 84(3): 505–518.
 31. Mills, T.S., 2017. Effect of LED Lighting and Silicon Supplementation on Growth and Flowering of Cut Flowers. PhD Thesis, Oklahoma State University, USA.
 32. Mohammadnia, R., Rezaeinejad, A., Bahraminejad, S., 2018. Effect of irrigation interval and silicon on some morpho-physiological and biochemical properties of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science* 49(1): 37–45. (in Persian with English abstract)
 33. Nagy, Z., Németh, E., Guóth, A., Bona, L., Wodala, B., Pécsváradi, A., 2013. Metabolic indicators of drought stress tolerance in wheat: glutamine synthetase isoenzymes and Rubisco. *Plant Physiology and Biochemistry* 67: 48–54.
 34. Nasr Esfahani, M., Maddakar, H.M., 2015. response of Glycine max to drought stress in relation to growth parameters and some key enzymes of carbon and nitrogen metabolism. *Iranian Journal of Plant Biology* 7(24): 77–98. (in Persian with English abstract)
 35. Parchianloo, S., Kheiri, A., Arghavani, M., Amiri, M.S., 2017. The effects of nitroxin and biosulfur biofertilizers on morphological and phytochemical traits of winter cherry (*Physalis alkekengi*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 27(4): 39–49. (in Persian with English abstract)
 36. Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60(3): 324–349.
 37. Pulz, A.L., Crusciol, C.A.C., Lemos, L.B., Soratto, R.P., 2008. Silicate and limestone effects on potato nutrition, yield and quality under drought stress. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 32(4): 1651–1659.
 38. Ranjbar, M., Esmailzadeh, M., Karimi, H.R., Shamshiri, M.H., 2017. Study of foliar application effect of silicon and potassium elements on some biochemical and ecophysiological traits of Pistachio seedlings cv. Badami E-Riz Zarand Kerman under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 47(4): 739–752. (in Persian with English abstract)

39. Rios, J.J., Martínez-Ballesta, M.C., Ruiz, J.M., Blasco, B., Carvajal, M., 2017. Silicon-mediated improvement in plant salinity tolerance: the role of aquaporins. *Frontiers in Plant Science* 8: 948.
40. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30(1): 105–111.
41. Roosta, H.R., 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese, and zinc concentrations in lettuce. *Journal of Plant Nutrition* 34(5): 717–731.
42. Savvas, D., Ntatsi, G., 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 66–81.
43. Savvides, A., Fanourakis, D., van Ieperen, W., 2012. Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances a cross light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany* 63: 1135–1143.
44. Sivanesan, I., Son, M.S., Lee, J.P., Jeong, B.R., 2010. Effects of silicon on growth of *Tagetes patula* L. 'Boy Orange' and 'Yellow Boy' seedlings cultured in an environment controlled chamber. *Propagation of ornamental plants* 10: 136–140.
45. Valdez Aguilar, L.A., 2004. Effect of Alkalinity in Irrigation Water on Selected Greenhouse Crops. PhD Thesis, Texas A&M University, Texas, USA.
46. Verma, S., Dubey, R.S., 2001. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. *Biologia Plantarum* 44(1): 117–123.
47. Wang, J., Naser, N., 1994. Improved performance of carbon paste amperometric biosensors through the incorporation of fumed silica. *Electroanalysis* 6(7): 571–575.
48. Xu, J., Liu, T., Qu, F., Jin, X., Huang, N., Wang, J., Hu, X., 2021. Nitric oxide mediates γ -aminobutyric acid-enhanced muskmelon tolerance to salinity-alkalinity stress conditions. *Scientia Horticulturae* 286: 110229.
49. Yang, C., Shi, D., Wang, D., 2008. Comparative effects of salt and alkali stresses on growth, osmotic adjustment and ionic balance of an alkali-resistant halophyte *Suaeda glauca* (Bge.). *Plant Growth Regulation* 56(2): 179–190.
50. Yu, W., Liu, Y., Song, L., Jacobs, D.F., Du, X., Ying, Y., Shao, Q., Wu, J., 2017. Effect of differential light quality on morphology, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation* 36: 148–160.
51. Zahedifar, M., Ronaghi, A.M., Moosavi, S.A.A., Safarzadeh Shirazi, S., 2010. Influence of salinity and nitrogen levels on growth, yield and nutrients uptake of tomato in hydroponics culture. *Interaction* 1(2): 31–40.
52. Zhu, Y.X., Gong, H.J., Yin, J.L., 2019. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: a review. *Plants* 8(6): 147.



The Effect of Silicon and LED Light on Increasing The Resistance to Salinity-Alkalinity Stress in *Physalis angulata* L.

M. Manzari Tavakoli¹, B. Zahedi^{1*} and H. R. Roosta²

(Received: 24 December 2021; Accepted: 19 February 2022)

Abstract

Today, soil salinization and alkalization have become an environmental problem that has limited agricultural production. The use of silicon and LED light can reduce the limitation of agricultural production in saline and alkaline conditions. For this purpose, a factorial experiment based on a completely randomized design in three replications was implemented to investigate the effect of sodium silicate and light sources in reducing salinity and alkalinity stress on *Physalis angulata* L. Treatments included sodium silicate at 0 and 75 mg L⁻¹, four sources of natural light greenhouse (control), red light (100%), blue light (100%) and 70% red light + 30% blue light and NaHCO₃ + NaCl at 0, 10 + 40 and 20 + 80 mM. The results showed that simultaneous use of silicon and LED light in all three conditions of non-stress, mild and severe stresses increased the leaf relative water content and water use efficiency, particularly in severe stress condition. The use of silicon increased the contents of phenol and proline in both non-stress and stress conditions, and the use of LED especially blue + red light, also increased these factors. Although the interactions of the studied factors were not significant on the amount of soluble sugars, glutamine synthetase enzyme of root and shoot, Mn and Zn and SPAD index, the application of silicon as well as LED light had an increasing effect on all these factors. Therefore, the use of silicon and LED light can improve the growth factors of *Physalis angulata* L. and increase the resistance of this plant to salinity-alkalinity stress.

Keywords: Biochemical index, Plant water relations, Sodium bicarbonate, Sodium chloride, Sodium silicate.

Background and objective: Today, due to rapid population growth and lack of water resources, it is not possible to use high-quality water for plant cultivation, so the use of poor quality water is one of the essential solutions in the agricultural sector (2). Changes in the biochemical and eco-physiological properties of plants with LED light and silicon application can probably increase plant resistance to stresses including salinity-alkalinity stress, besides improving plant quality. There is no published information about the role of silicon and its simultaneous use with LED light on *Physalis angulata* L. in Iran. This study aimed to investigate the effects of silicon and LED light on some biochemical parameters, nutrients, and water relations in this plant under salinity-alkalinity stress conditions.

Methods: This research was carried out in a factorial based on a completely randomized design with 3 replications. Experimental treatments included salinity-alkalinity stress in three levels of control (distilled

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Iran.

*: Corresponding author, Email: zahedi.b@lu.ac.ir

water), 10 mM NaHCO₃ + 40 mM NaCl, and 20 mM NaHCO₃ + 80 mM NaCl, sodium silicate (two concentrations of 0 and 75 mg L⁻¹), and the light spectrum was in four levels of natural light of greenhouse (control), red light (100%), blue light (100%) and red light 70% + blue light 30%. The light source used was LED light with an intensity of 200 μmol photons m⁻² s⁻¹. At the end of the experiment, some biochemical parameters including total phenol, proline, soluble sugars of the plant and glutamine synthetase of root and shoot, some nutrients including Mn and Zn of shoot, SPAD index, leaf relative water content and water use efficiency were measured.

Results: The results showed that mild and severe stress affected all the studied factors. In non-stress, mild and severe stress conditions, application of silicon increased both phenol and proline levels by 11, 11 and 21%, respectively. The use of LED light also increased these compatible osmolytes, which for blue + red light, the rate of increase in non-stress, mild and severe stress conditions were 23, 45 and 33%, respectively. Glutamine synthetase of root and shoot, Mn content and SPAD index increased with the application of silicon, by 13, 23, 25 and 5%, respectively. Also application of blue + red light increased these factors by 32, 37, 54 and 21%, respectively. The leaf relative water content in non-stress conditions with simultaneous use of silicon and blue + red light increased by 65% compared to control, which was 53 and 180% for mild and severe stresses, respectively. Water use efficiency also increased by 20% under non-stress conditions with the use of silicon and red light. This factor did not show a significant difference between treatments for mild stress, while in the severe stress, application of silicon and blue + red light caused an increase of 116% of this factor compared to the control. Arouiee et al. (2012) reported similar results in pistachio and fenugreek plants in relation to salinity stress and silicon application (1).

Conclusions: The results indicated the adverse effects of salinity-alkalinity stress on *Physalis angulate* plant. The simultaneous application of silicon and LED light, especially the combination of 70% red light with 30% blue light, improved the factors related to plant water relations, especially in severe stress conditions. Silicon and LED also reduced the adverse effect of salinity-alkalinity stress on *Physalis angulata* L. by accumulation of compatible osmolytes such as phenol, proline, soluble sugars and also restoring of the photosynthesis rate by increasing the accumulation of glutamine synthetase in root and shoot and SPAD index of the plant.

References:

1. Arouiee, H., Nasser, M., Neamati, H., Kafi, M. 2012. Effects of silicon on salinity tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Agronomy Journal (Sazandegi Pajouhesh)* 27(104): 165–172.
2. Yang, C., Shi, D., Wang, D. 2008. Comparative effects of salt and alkali stresses on growth, osmotic adjustment and ionic balance of an alkali-resistant halophyte *Suaeda glauca* (Bge.). *Plant Growth Regulation* 56(2): 179–190.