تأثیر سیلیسیم بر ویژگی‌های کیفی و بیوشیمیایی گل رُز بریدنی در شرایط تنش آبی

علی دولتخواهی[۱]، محمود شور[۱*]، محمد بنایان اول[۲]، علی تهرانی‌فر[۱] و امین علیزاده[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۲)

چکیده

سیلیسیم یکی از عناصر مفید در رشد گیاهان بوده و اثرهای مثبت آن در مقاومت به تنش‌های غیر زیستی، از جمله شوری و خشکی، در برخی مطالعات به اثبات رسیده است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرهای سیلیسیم و تنش آبی بر صفات کیفی و بیوشیمیایی گل رُز بریدنی رقم کلاب نیکا، با سه غلظت سیلیکات پتاسیم (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و سه سطح تنش آبی (۱۰۰ (شاهد)، ۷۵ و ۵۰٪ نیاز آبی گیاه) به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار، در شرایط گلخانه انجام شد. در این پژوهش، شاخص‌های کیفی همچون تعداد شاخه‌های ممتاز، قطر شاخه و قطر گل و همچنین پارامترهای بیوشیمیایی نظیر محتوای کلروفیل و پرولین برگ ها اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که گیاهان پرورش یافته در تیمار آبیاری ۱۰۰٪، قطر شاخه، تعداد شاخه‌های ممتاز، وزن تر و خشک شاخه گل‌دهنده، قطر گل، سطح برگ و محتوای نسبی آب بیشتری نسبت به گیاهان واقع در شرایط تنش آبی داشتند. زمان لازم برای جوانه‌زنی جوانه‌ها در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی در مقایسه با گیاهان تحت شرایط تنش، سریع‌تر (حدود ۶/۸۳ روز) اتفاق افتاد. این در حالی است که تیمارهای تنش آبی (۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی) تأثیر معنی‌داری بر تعداد کل شاخه های برداشت شده، محتوای کلروفیل و میزان پرولین برگ ها نشان ندادند. در این پژوهش، اگرچه کاربرد سیلیکات پتاسیم در غلظت یک میلی‌مولار توانست بیشتر صفات کیفی رُزهای شاخه بریدنی را بهبود بخشد، این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که عدم معنی‌داری تیمارهای سیلیسیمی، مرتبط با نحوه توزیع سیلیسیم در برگ‌ها و عدم کارایی این تیمارها بر تعرق کوتیکولی و هدایت روزنه‌ای باشد. به‌طور کلی، نتایج بیانگر این واقعیت است که فرایند سازگاری رُزهای شاخه بریدنی به تنش آبی از طریق مکانیزم‌های مورفولوژیک اتفاق افتاده و فرایندهای اسمزی نظیر سنتز اسید آمینه پرولین و کاربرد سیلیسیم دخالتی نخواهند داشت.

کلمات کلیدی: رُز بریدنی، کشت بدون خاک، پرولین، فرایند سازگاری

مقدمه

گل رُز با نام علمی *Rosa hybrida* یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه بریدنی است که به جهت تنوع رنگ و زیبایی گل، یکی از پرفروش‌ترین و محبوب‌ترین گل‌های بریدنی در سراسر دنیا می‌باشد (۵ و ۱۱). تولید زیست‌توده در گیاهان متأثر از میزان آب مورد استفاده و همچنین کارایی مصرف آب است (۱۹). در

۱. گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shoor@um.ac.ir

بیشتر محصولات باغبانی، زمانی می‌توان عملکرد حداکثری انتظار داشت که آب در دسترس بوده و فشار تورژسانس سلول در سراسر فصل رشد زیاد باشد (۲۹). علاوه بر این، تأمین بهینه آب برای رشد و نمو گیاهان در کشت‌های بدون خاک به‌دلیل تأثیر آن بر محیط ریزوسفر، پتانسیل آب بستر و همچنین جلوگیری از تجمع نمک در بستر کشت اطراف محیط ریشه، ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۸ و ۳۷). رُزهای شاخه بریدنی، برخلاف بیشتر محصولات زینتی، به‌دلیل برداشت مستمر در طول فصل، نوسانات زیادی در سطح تعرقی خود نشان می‌دهند. علاوه بر برداشت شاخه گل، تولید مداوم برگ‌های جوان، باعث حساسیت زیاد رُزهای بریدنی به تنش آبی می‌شود (۳۷). لیث و برگر (۲۹) گزارش کردند که کاهش جزیی در فشار تورژسانس سلول، منجر به توقف استحکام دیواره سلولی و به تبع آن توقف رشد و کاهش طول شاخه گل در گیاهان زینتی شاخه بریدنی، نظیر گل داودی و گل رُز، می‌شود. آنچه مسلم است اینکه کاهش میزان آب در مراحل مختلف تولید رُزهای شاخه بریدنی، اثرهای مخرب و زیانباری بر خصوصیات کمی و کیفی آنان ایفا می‌نماید (۷).

سیلیسیم یکی از عناصر مفید در رشد گیاهان بوده و اثرهای مثبت آن در مقاومت به تنش‌های غیر زیستی، از جمله تنش شوری و خشکی، در برخی مطالعات به اثبات رسیده است (۳۱،۱۷، ۳۲، ۴۳ و ۴۷). گزارش شده است که کاربرد سیلیسیم، تحمل به خشکی در گیاهانی همچون خیار و فلفل را افزایش می‌دهد (۲۰ و ۳۰). علاوه بر این، کاربرد سیلیسیم اثر تنش آبی را تعدیل و رشد گیاه را افزایش می‌دهد. آزمایشی که کایا و همکاران (۲۶) روی گیاه ذرت انجام دادند نشان داد که تحت شرایط تنش آبی، وزن تر و خشک گیاه و محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و کاربرد سیلیسیم در این شرایط منجر به افزایش این پارامترها شده و رشد گیاه و مقدار تولید را افزایش می‌دهد. گائو و همکاران (۱۶) نشان دادند که محلول‌پاشی هفتگی گیاه ذرت با تیمارهای سیلیکات پتاسیم بر کنترل تعرق و افزایش مقاومت برگی اثر داشته و کاربرد سیلیسیم از طریق تأثیر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها منجر به کاهش تعرق می‌شود. در پژوهشی که توسط ساواس و همکاران (۳۸) انجام گردید نشان داده شد که سیلیسیم رشد رویشی رُزهای شاخه بریدنی را تحت شرایط تنش شوری افزایش داد. ولی سیلیسیم قادر نبود اثرات مخرب کلرید سدیم بر تولید و کیفیت رُزهای شاخه بریدنی را بهبود دهد. علاوه بر نقش مؤثر سیلیسیم در القای مقاومت به تنش‌های غیر زیستی، گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر سودمند آن بر کیفیت و کمیت برخی محصولات گلخانه‌ای نظیر خیار و رُزهای بریدنی در شرایط بدون تنش وجود دارد (۱۰). با این حال، کاربرد این عنصر مفید در گیاه ژربرا نتوانست ویژگی‌های کمی این گل بریدنی را بهبود بخشد (۱ و ۳۳).

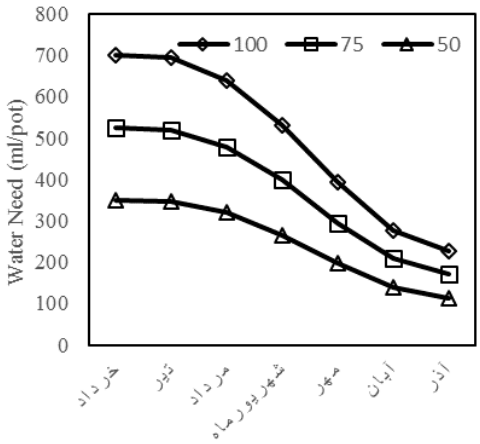
مقایسه نتایج حاصل از مطالعات مختلف ممکن است همیشه امکان‌پذیر نباشد. زیرا تفاوت‌های معنی‌داری در میان گونه‌ها و ژنوتیپ‌های گیاهان وجود دارد که ارائه یک الگوی واحد پاسخ فتوسنتزی به خشکی را مشکل می‌سازد (۵). با توجه به اینکه فهم و درک پاسخ گیاهان به تنش آبی برای شناسایی و اصلاح گونه‌های گیاهی مقاوم به تنش اهمیت زیادی دارد و همچنین از آنجایی که اطلاعات محدود و متناقضی در مورد اثرهای سیلیسیم و تنش آبی بر صفات بیوشیمیایی و کیفی رُزهای شاخه بریدنی در کشت‌های بدون خاک در دسترس می‌باشد، بنابراین پژوهش حاضر با هدف مطالعه اثر سیلیسیم، تنش آبی و برهمکنش آنها بر پارامترهای کیفی و بیوشیمیایی رُزهای شاخه بریدنی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

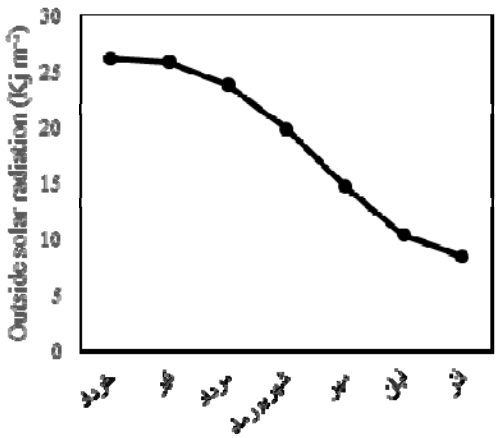
این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه غلظت سیلیکات پتاسیم (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) و سه سطح تنش آبی (۱۰۰ (شاهد)، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)، با چهار تکرار، در شرایط گلخانه، در دانشگاه فردوسی مشهد، انجام شد. گلخانه از نوع سقف مثلثی (Venlo type) با پوشش شیشه و مجهز به سیستم گرمایش و سرمایش فن و پد بود. قلمه‌های ریشه‌دار شده رُز رقم کلاب

جدول ۱. غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در محلول غذایی (میلی‌مول بر لیتر)

NO_3^-	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Mo	B
۱۱/۲۵	۱/۲۵	۴	۲	۱/۲۵	۰/۵	۱/۲	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۷۵	/۰۰۰۵	۰/۰۲



شکل ۱. میزان نیاز آبی محاسبه شده بر طبق ر ابطه (۱)



شکل ۲. میزان تابش خورشیدی بر حسب کیلوژول بر متر مربع

نیکا (Club-Nika)، در گلدان‌های پلاستیکی ۴ لیتری محتوی پرلیت با قطر متوسط پرورش یافتند. در طول انجام آزمایش، میانگین دمای گلخانه ۲۵ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی حدود ۵۰٪ بود. محلول غذایی براساس ترکیب دی هوگ (۸)، که بین تولیدکنندگان معمول است، آماده گردید (جدول ۱). در این آزمایش، از فرم سیلیسیم، سیلیکات پتاسیم محلول در آب که نسبت K_2O: SiO_2 آن برابر ۱:۲ بود، استفاده گردید. pH محلول سیلیکات پتاسیم با اسید نیتریک در ۵/۵ تنظیم گردید.

به منظور برآورد واقعی از نیاز آبی گیاهان، از رابطه زیر استفاده گردید (۱۶):

$$E=T_r/(1-D) \qquad [۱]$$

در این فرمول، E میزان آب مورد استفاده (نیاز آبی گیاه) برحسب کیلوگرم در متر مربع، D میزان آب زهکش شده و T_r تعرق محصول براساس میلی‌متر در روز می‌باشد. به‌منظور اطمینان از تأمین آب بهینه برای گیاهان در تیمار ۱۰۰٪ نیاز واقعی گیاه، میزان زهکش (D) در حدود ۲۰٪ در نظر گرفته شد. تعرق نیز براساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$T_r=\eta\ R_{GO} \qquad [۲]$$

ضریب η نیز به صورت زیر محاسبه شد:

$$\eta = K_c\tau\alpha\ /\lambda \qquad [۳]$$

که K_c ضریب محصول (۰/۸)، τ ضریب انتقال از پوشش گلخانه (۰/۹)، R_{GO} شدت نور تجمعی روزانه در واحد متر مربع، α ضریب تبخیر (۰/۶) و λ گرمای نهان تبخیر آب (۲۴۵۰ کیلوژول بر کیلوگرم) می‌باشد (۳ و ۲۵). میزان نیاز آبی محاسبه شده برای تیمارهای مختلف آزمایش در شکل (۱) و میانگین تابش خورشیدی ماهانه در شکل (۲) آمده است. آبیاری گیاهان توسط قطره‌چکان‌هایی که به‌طور مستقیم محلول غذایی را در پای گیاه و در محیط ریشه وارد می‌کنند، انجام گردید. در پایان هر هفته، برای شست‌وشوی املاح موجود در بستر کشت، آب‌شویی با استفاده از آب معمولی صورت گرفت. سطوح ثابت تغذیه‌ای برای تمامی تیمارهای آبیاری اعمال گردید (لازم به ذکر است که مقدار پتاسیم اضافه شده در اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم از منابع تأمین کننده کودهای پتاسیمی نظیر نیترات پتاسیم کسر گردید و برای تأمین میزان نیترات

کاهش یافته از اسید نیتریک استفاده گردید). در این پژوهش، میزان نیاز تغذیه‌ای گیاهان در ابتدای آزمایش براساس منابع علمی معتبر برآورد شده و به همان میزان در اختیار گیاهان قرار داده بطوریکه و هر گیاه در پایان دوره رشد عناصر غذایی مورد نیاز خود را دریافت نموده است. به عبارت ساده‌تر، مقدار عناصر دریافتی مشابه، ولی مقدار آب دریافتی براساس تیمارها متفاوت بود. همچنین، pH محلول غذایی توسط اسید نیتریک بین ۵/۵ تا ۶ تنظیم شد. هدایت الکتریکی محلول غذایی بین ۱/۶ تا ۲ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر تنظیم شد.

در این آزمایش، صفات رشدی و کیفی همچون سرعت جوانه‌زنی جوانه‌ها، تعداد کل شاخه‌های تولید شده در گلدان، تعداد شاخه‌های ممتاز، قطر شاخهٔ گل‌دهنده، قطر گل، وزن تر و خشک شاخه گل، سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ‌ها، محتوای کلروفیل (a و b و کل) و میزان پرولین برگ‌ها اندازه‌گیری شدند. ملاک اندازه‌گیری رشد جوانه، رسیدن جوانه‌ها به مرحله یک سانتی‌متری بود. بعد از برداشت، ساقه‌های گل‌ها توسط ترازوی دیجیتالی وزن شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، شاخه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (Li-Cor, Li-1300, USA) اندازه‌گیری شد. محتوای آب نسبی برگ‌ها نیز طبق روش یاماساکی و دیلنبرگ (۴۵) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، از برگ‌های جوان توسعه یافته، نمونه‌ای انتخاب شده و بعد از اندازه‌گیری وزن تر (FM)، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند. سپس، وزن تورژسانس (TM) آن اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک (DM) به مدت ۴۸ ساعت در دمای آون ۸۰ درجه قرار داده شدند. محتوای آب نسبی برگ‌ها از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC\ (\%) = \left[(FM - DM)/(TM - DM)\right] \times ۱۰۰ \qquad [۴]$$

میزان پرولین با استفاده از روش رنگ‌سنجی (۴) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۰/۱ گرم بافت تازه برگی برداشت و با اسید سولفوسالیسیک ۳٪ مخلوط گردید. پس از افزودن محلول نین‌هیدرین و اسید استیک، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در انتها، میزان جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، ۲۰۰ میلی‌گرم بافت برگی تازه در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ (v/v %) به‌خوبی ساییده شده و سپس جذب آن در طول موج ۶۶۶ و ۶۵۳ نانومتر برای تعیین کلروفیل a و b انجام گردید (۲۸).

$$C_a = ۱۶/۷۲\ A_{۶۶۵/۲} - ۹/۱۶\ A_{۶۵۲/۴} \qquad [۵]$$

$$C_b = ۳۴/۰۹\ A_{۶۵۲/۴} - ۱۵/۲۸\ A_{۶۶۵/۲} \qquad [۶]$$

آنالیز نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها توسط روش توکی ($P<۰/۰۵$) انجام گردید.

نتایج و بحث

قطر شاخه و قطر گل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی بر قطر شاخه گل‌دهنده و قطر گل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی با میانگین ۸/۷۳ میلی‌متر بیشترین و رژیم آبی ۵۰٪ با میانگین ۷/۵۴ میلی‌متر، کمترین قطر شاخه را دارا بودند. علاوه بر این، بررسی قطر گل تیمارهای آزمایش نشان داد که شاخه‌های گل پرورش یافته در تیمار ۱۰۰٪ نیاز واقعی گیاه، قطر گل بزرگتری (۲۷/۰۵ میلی‌متر) در مقایسه با تیمار ۷۵٪ (۲۶/۱۶ میلی‌متر) و ۵۰٪ (۲۵/۳۷ میلی‌متر) نیاز آبی داشتند (جدول ۳). قطر شاخه و قطر گل از فاکتورهای کیفی مهم در گل‌های شاخه بریدنی به شمار می‌روند. افزایش در اندازه گیاه و شاخه وابسته به طویل شدن سلول بوده، که معمولاً حساسیت زیادی به کمبود آب دارند. از این‌رو، زیاد نگه داشتن محتوای آبی گیاهان، یک هدف عمده برای پرورش‌دهندگان رُزهای بریدنی می‌باشد (۴۴).

علاوه بر این، براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سیلیکات پتاسیم بر صفت قطر گل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲)، به‌طوری که بیشترین قطر گل (۲۷/۱۷ میلی‌متر) در

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در رُز شاخه بریدنی رقم کلاب- نیکا

منابع تغییرات	درجه آزادی	رشد جوانه	تعداد شاخه ممتاز	تعداد کل شاخه	وزن تر شاخه گل	وزن خشک شاخه گل	سطح برگ	قطر شاخه	قطر گل	محتوای نسبی آب برگ‌ها	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	میزان پرولین
بلوک	۳	۰/۱۰۲ns	۲/۴۰ns	۰/۶۳ns	۴۳۳۱/۶**	۱۳/۵۱ns	۲۶۲۵۹۲/۳ns	۰/۳۷۳ns	۲/۲۹ns	۵/۱۷ns	۶/۶۸ns	۶۸/۰۸ns	۱۱۷/۳۳ns	۰/۰۱۰ns
تنش آبی (A)	۲	۶/۰۸**	۳/۶۹*	۲/۱۱ns	۱۲۷۴/۴۴*	۸۰/۱۴**	۳۴۸۶۵۲/۰۹**	۴/۶۰**	۸/۴۵**	۱۲۰/۹۱**	۷/۲۹ns	۸۷/۷۷ns	۱۴۵/۶۶ns	۰/۰۰۴ns
سیلیسیم (B)	۲	۰/۵۸۳ns	۰/۳۶۱ns	۰/۴۴ns	۶۳/۳۰ns	۱۷/۵۳ns	۲۵۴۰۶/۵۷ns	۰/۳۴۱ns	۸/۶۵**	۷/۹۳ns	۷/۷۲ns	۸۶/۹۳ns	۱۴۶/۳۶ns	۰/۰۱۸ns
B * A	۴	۰/۴۱۷ns	۰/۶۵۳ns	۲/۱۵ns	۳۰۳/۶ns	۱۰/۰۵ns	۹۳۱۴۷/۴۵ns	۰/۱۲۶ns	۱/۵۶ns	۱۹/۶۱ns	۲/۱۴ns	۲۱/۲۶ns	۳۶/۷۵ns	۰/۰۱۳ns
خطا	۲۴	۰/۸۹۴	۰/۸۰۳	۱/۳۱	۳۵۸/۲۵	۱۴/۲۳	۵۸۲۳۰/۶۵	۰/۲۰۰	۱/۰۵	۹/۹۵	۴/۳۱	۴۳/۶۱	۷۵/۲۷	۰/۰۱۱

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی‌دار (آزمون توکی)

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک و بیوشیمایی اندازه‌گیری شده در رز بریدنی رقم کلاب نیکا تحت سطوح مختلف تنش آبی و تیمار سیلیسیم

تیمار	تعداد کل شاخه	تعداد شاخه ممتاز	جوانه زنی جوانه(day)	وزن تر شاخه (g)	وزن خشک شاخه (g)	سطح برگ (cm^{2})	قطر شاخه (mm)	قطر گل (mm)	محتوای نسبی آب (٪)	کلروفیل a (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	پرولین (µmol/ g FW)
تنش آبی													
٪۱۰۰	۵/۶۶a	۱/۳۳a	۶/۸۳a	۶۹/۳۴a	۱۸/۲۹a	۱۰۶۳/۴۵ a	۸/۷۳a	۲۷/۰۵ a	۹۳/۲۱ a	۲۰/۷۸ a	۶۵/۳۸ a	۸۶/۱۶ a	.۰/۱۳۵ a
٪۷۵	۵/۳۳a	۰/۵۸۳ab	۷/۶۶ ab	۵۴/۸۶ab	۱۴/۷۵ ab	۸۲۷/۵۳ ab	۷/۸۴b	۲۶/۱۶ab	۸۹/۱۲b	۲۰/۰۶a	۶۲/۸۹ a	۸۲/۹۶ a	۰/۱۳۴ a
٪۵۰	۴/۸۳a	.۰/۲۵b	۸/۲۵b	۴۹/۴۰ b	۱۳/۲۶b	۷۳۲/۳۸ b	۷/۵۴ b	۲۵/۳۷ b	۸۶/۹۵ b	۱۹/۲۲ a	۵۹/۹۷ a	۷۹/۲۰ a	۰/۱۰۱ a
سیلیسیم (میلی‌مولار)													
۱	۵/۵۰a	۰/۹۱۷a	۷/۸۳a	۶۰/۱۳ a	۱۶/۸۰ a	۹۰۳/۸۷ a	۸/۲۲ a	۲۷/۱۷ a	۸۹/۲۰ a	۱۹/۱۰ a	۵۹/۶۵ a	۷۸/۷۵ a	۰/۱۶۰ a
۰/۵	۵/۱۶ a	۰/۶۶۷a	۷/۵۰ a	۵۷/۹۳a	۱۴/۵۳ a	۸۲۱/۴۳ a	۸/۰۰ a	۲۵/۷۲ b	۹۰/۶۹ a	۲۰/۴۵ a	۶۴/۰۲ a	۸۴/۴۸ a	۰/۰۸۴ a
۰	۵/۱۶a	۰/۵۸۳a	۷/۴۱a	۵۵/۵۴ a	۱۴/۹۶ a	۸۹۸/۰۶ a	۷/۸۹ a	۲۵/۶۸ b	۸۹/۳۹ a	۲۰/۵۱ a	۶۴/۵۶ a	۸۵/۰۸ a	۰/۱۲۶ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵٪ آزمون توکی هستند

تیمار یک میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم مشاهده شد. شاخه‌های تغذیه شده با محلول سیلیکات پتاسیم قطر شاخه بیشتری داشتند، با این حال، صفت قطر شاخه به‌طور معنی‌داری متأثر از تیمارهای سیلیسی قرار نگرفت. در موافقت با یافته‌های این پژوهش، کاربرد سیلیسیم باعث بهبود قطر گل در ژربرا، آفتابگردان زینتی و گل صد تومانی گردید (۲۳، ۲۴ و ۴۶). کامنیدو و همکاران (۲۴) اظهار داشتند که استفاده از سیلیسیم در قسمت‌های هوایی گیاه مانند برگ، گل و ساقه گل‌دهنده به‌طور معنی‌داری از گیاهان شاهد بیشتر بوده، که بیانگر آن است که سیلیسیم در اندام‌های هوایی گیاه جذب شده است. از طرف دیگر، تأثیر سیلیسیم در افزایش تعداد و اندازه سلول در گیاه نیشکر گزارش شده است (۱۳). دیفرولیک و فرولیک اسید به عنوان باندهای عرضی پلی‌ساکاریدهای زمینه‌ای، نقش مؤثری در کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول از طریق ایجاد اختلال در فرایند تجزیه آنزیمی پلی‌ساکاریدهای زمینه‌ای دارند (۱۵). حسین و همکاران (۲۱) گزارش کردند که محلول‌پاشی برگی سیلیسیم در گیاه یولاف، میزان دیفرولیک اسید را در پلی‌ساکاریدهای زمینه‌ای کاهش می‌دهد. بنابراین، به نظر می‌رسد که سیلیسیم از طریق کاهش باندهای عرضی فنولیک اسیدی پلی‌ساکاریدهای زمینه‌ای باعث افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلول و افزایش اندازه سلول می‌شود.

تعداد کل شاخه و تعداد شاخه‌های ممتاز

طول شاخه، شاخص اصلی برای بیان ارزش اقتصادی رُزهای شاخه بریدنی می‌باشد. شاخه‌هایی با طول کمتر از ۳۰ سانتی‌متر به عنوان شاخه‌های غیرقابل عرضه در بازار، شاخه‌هایی با طول بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر با ارزش متوسط اقتصادی و شاخه‌های طویل‌تر از ۶۰ سانتی‌متر به عنوان شاخه‌های با کیفیت عالی و ممتاز محسوب می‌شوند (۲۵). صفت تعداد شاخه‌های ممتاز به‌طور معنی‌داری ($P<0/05$) متأثر از تیمار تنش آبی قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری که بیشترین تعداد شاخه‌های ممتاز در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه با میانگین ۱/۳۳ شاخه برداشت شد. در این پژوهش، تعداد کل شاخه‌های تولید شده در گلدان به‌طور معنی‌داری متأثر از تنش آب واقع نشد (جدول ۲). در بیشتر محصولات باغبانی، زمانی می‌توان انتظار عملکرد حداکثری داشت که آب در دسترس بوده و فشار تورژسانس سلول در سراسر فصل رشد زیاد باشد. حتی کاهش اندک در فشار تورژسانس باعث توقف استحکام دیواره شده و این به نوبه خود منجر به توقف رشد، به‌ویژه در محصولات زینتی مانند داودی و رز که طول زیاد شاخه گل آنان مد نظر است، می‌شود (۲۹). این امر منجر به کاهش رشد رویشی، متعاقباً کاهش سطح برگ موجود برای فتوسنتز و نهایتاً کاهش عملکرد می‌شود (۵ و ۶). در موافقت با نتایج این آزمایش، بولا و همکاران (۶) گزارش کردند که تعداد شاخه‌های رُز قابل عرضه به بازار در گیاهان واقع در شرایط تنش آبی ۶۷٪ کاهش معنی‌داری نشان داد.

در این پژوهش، با وجود افزایش جزیی در تعداد کل شاخه و همچنین تعداد شاخه‌های ممتاز در غلظت یک میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم، این تفاوت‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۲). در برخی ارقام برنج، گزارش شده است که جیبرلیک اسید (GA_1) و پیش‌سازهای جیبرلیک ۲۰ (GA_{20}) در اثر تغذیه نیتروژن و سیلیسیم افزایش می‌یابد (۲۲). شاید سیلیسیم با اثر بر محتوای جیبرلین کل منجر به افزایش ارتفاع شاخه شده است. ساواس و همکاران (۳۸) نیز گزارش کردند که علی‌رغم تحریک رشد رویشی رُزهای شاخه بریدنی توسط سیلیسیم، تعداد گل در گیاه، طول شاخه گل و میانگین وزن تر گل در اثر کاربرد سیلیسیم افزایش نیافت. همچنین، گزارش مویر و همکاران (۳۳) بیانگر عدم تأثیر سیلیسیم بر افزایش تعداد گل در ژربرا بوده است.

وزن تر و خشک شاخهٔ گل

وزن تر و خشک شاخه‌ها به‌عنوان معیاری از درجه استحکام و طول عمر شاخه مورد توجه می‌باشد. اختلاف معنی‌داری بین سه رژیم آبی از نظر صفت وزن تر و خشک شاخه گل وجود

دارد (جدول ۲). بررسی وزن تر شاخه‌ها نشان داد که سنگین‌ترین وزن تر شاخه متعلق به تیمار آبی ۱۰۰٪ با میانگین ۶۹/۳۴ گرم و کمترین وزن تر شاخه گل مربوط به رژیم آبی ۵۰٪ با میانگین ۴۹/۴۰ گرم بود. در این پژوهش، به موازات افزایش سطح تنش آبی، از میزان وزن خشک شاخه‌های گل کاسته شد. به گونه‌ای که گیاهان واقع در ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه با میانگین ۱۸/۲۹ گرم بیشترین و گیاهان واقع در تنش آبی ۵۰٪ با میانگین ۱۳/۲۶ گرم، کمترین وزن خشک شاخه گل را دارا بودند (جدول ۳). تولید زیست‌توده در گیاهان به شدت وابسته به میزان آب مورد استفاده و همچنین کارایی مصرف آب است (۱۹). یکی از مکانیسم‌های اجتناب از تنش در بسیاری از گیاهان، کاهش رشد رویشی می‌باشد. تنش آبی اثر غیرمستقیم مهمی بر جذب عناصر غذایی دارد که می‌تواند بر رشد گیاه اثرگذار باشد. در گیاهان تحت تنش آبی، محتوای نیتروژن و فعالیت نیترات ردوکتاز کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند کاهش رشد رویشی گیاه را به دنبال داشته باشد (۱۸).

با وجود افزایش جزیی در وزن تر و خشک شاخه‌ها در غلظت یک میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم، این تفاوت‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نگردید (جدول ۲). در موافقت با یافته‌های این آزمایش، برکتین و همکاران (۱) در بررسی خود روی گل ژربرا گزارش کردند که استفاده از ترکیبات سیلیسی اثر معنی‌داری بر وزن خشک گل و میزان فتوسنتز ژربرا نداشته است. با این حال، ساواس و همکاران (۳۸) گزارش کردند که کاربرد سیلیسیم در غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در محیط کشت رزهای بریدنی قادر است رشد رویشی رزهای شاخه بریدنی را صرف نظر از تیمار شوری افزایش دهد. تحریک رشد گیاه توسط سیلیسیم می‌تواند ناشی از اثرات محافظت کننده سیلیسیم بر علیه پاتوژن‌های گیاهی یا به صورت مستقیم در اثر تغییرات مورفولوژیک و یا فیزیولوژیک در گیاهان باشد (۳۸).

زمان جوانه‌زنی جوانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی بر زمان سبز شدن جوانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). در این پژوهش، به موازات افزایش شدت تنش آبی، تعداد روز تا سبز شدن جوانه افزایش یافت، به‌طوری که سریع‌ترین زمان جوانه‌زنی در تیمار ۱۰۰٪ نیاز واقعی گیاه با میانگین ۶/۸۳ روز و دیرترین زمان جوانه‌زنی در تیمار تنش آبی ۵۰٪ با میانگین ۸/۲۵ روز مشاهده گردید (جدول ۳). در این پژوهش، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمار سیلیسیم از نظر صفت زمان جوانه‌زنی جوانه‌ها مشاهده نشد (جداول ۲ و ۳). زمان جوانه‌زنی جوانه‌ها (مرحله یک سانتی‌متری) یکی از شاخص‌های اقتصادی مهم در رابطه با زمان تولید می‌باشد. در پژوهش انجام شده، اگر چه تنش آبی باعث تأخیر در زمان جوانه‌زنی جوانه‌ها شد، با این حال تفاوت معنی‌داری در زمان گل‌دهی مشاهده نشد. با توجه به اینکه انتقال مواد فتوسنتزی در آوند آبکش وابسته به فشار تورژسانس است، از این‌رو، کاهش پتانسیل آب تحت شرایط تنش ممکن است از جابجایی مواد فتوسنتزی در آوند آبکش جلوگیری نماید. با این وجود، برخی گزارش‌ها مؤید این مطلب هستند که انتقال مواد فتوسنتزی تا انتهای دوره تنش، وقتی فرایندهای دیگر هم چون فتوسنتز متوقف نشده است، تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. این عدم حساسیت در انتقال مواد فتوسنتزی، به گیاهان اجازه داده تا از مواد ذخیره‌ای خود در مکان‌هایی که به آن نیاز دارند، بهره ببرند (۴۲). به نظر می‌رسد گیاهان واقع در شرایط تنش آبی، از طریق کاهش در رشد رویشی و کاهش سطح برگ، زمان گل‌دهی خود را با تیمار آبیاری ۱۰۰٪ تنظیم و همزمان نموده‌اند.

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر صفت سطح برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). به گونه‌ای که گیاهان آبیاری شده با ۱۰۰٪ نیاز واقعی با میانگین ۱۰۶۳/۴۵ سانتی‌متر مربع بیشترین و گیاهان واقع در تنش آبی ۵۰٪ با میانگین ۷۳۲/۳۸ سانتی‌متر مربع کمترین سطح برگ تولیدی را دارا بودند (جدول ۳). همچنین،

سطوح مختلف غلظت سیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر صفت سطح برگ نداشت (جدول ۲). نخستین فرایندی که پس از کاهش محتوای آب گیاه اتفاق می‌افتد، کاهش توسعه سلولی و تقلیل توسعه برگ‌ها و ریشه‌ها می‌باشد (۳۴ و ۴۲). کاهش رشد رویشی در اثر تنش آب منجر به کاهش سطح برگ شده و به تبع آن فتوسنتز و عملکرد را کاهش می‌دهد. پسرکلی (۳۶) نیز بر این باور است که تنش آبی، رشد گیاهان را از طریق کاهش سطح برگ- مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار بر تولید محصول- تحت تأثیر قرار می‌دهد.

محتوای نسبی آب برگ‌ها

محتوای آب نسبی برگ‌ها به عنوان یک معیار برای ارزیابی وضعیت آبی گیاه در نظر گرفته می‌شود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش آبی بر محتوای نسبی آب برگ‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۲). در این مطالعه، بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب به ترتیب به گیاهان آبیاری شده با ۱۰۰٪ نیاز واقعی با میانگین ۹۳/۲۱ درصد و گیاهان واقع در تنش آبی ۵۰٪ با میانگین ۸۶/۹۵ درصد اختصاص داشت (جدول ۳). همچنین، براساس یافته‌های پژوهش حاضر، سطوح مختلف غلظت سیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر صفت محتوای نسبی آب برگ‌ها نشان ندادند (جدول ۲). کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها در گیاهان تحت تنش به کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش آبی، نتیجه مستقیمی از کمبود فراهمی آب در محیط ریشه گیاهان می باشد (۳۹). در موافقت با نتایج این آزمایش، بولا و همکاران (۶) گزارش کردند که تنش آبی (۶۷٪ نیاز واقعی) اگر چه باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید، اما باعث کاهش محتوای آب نسبی برگ رزهای بریدنی نیز شد. علاوه بر این، فاسلا و همکاران (۱۴) در بررسی خود روی رزهای شاخه بریدنی، مشاهده نمودند که رزهای بریدنی پرورش یافته با مصرف آب کمتر، کارایی مصرف آب بیشتری نشان دادند. این در حالی است که گیاهان پرورش یافته با عرضه آب بیشتر، کارایی مصرف آب کمتری داشتند.

محتوای کلروفیل و میزان پرولین برگ‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مؤید عدم معنی‌داری اثر سطوح مختلف تنش آبی و سیلیکات پتاسیم بر محتوای کلروفیل (a و b) و نیز کلروفیل کل بود (جدول ۲). در این پژوهش، گیاهان واقع در تنش آبی ۵۰٪، میزان کلروفیل a و b و نیز کلروفیل کل کمتری نسبت به گیاهان آبیاری شده با ۱۰۰٪ نیاز واقعی گیاه داشتند. با این وجود، این تفاوت به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). بولا و همکاران (۶) گزارش کردند که تنش آبی ملایم، محتوای کلروفیل برگ را در رز رقم یورورد (Eurored) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد که از دست رفتن فعالیت‌های متابولیک و بیوشیمایی تنها در شرایط تنش‌های شدید اتفاق می‌افتد (۴۰). در موافقت با یافته‌های آزمایش حاضر، سیروس و همکاران (۴۱)، تفاوت معنی‌داری در محتوای کلروفیل گل ژربرا رقم لیلابلا (Lilabella) واقع شده در شرایط محدودیت آبی مشاهده نکردند. این امر ممکن است به توانایی و استفاده گیاهان از هر دو مکانیزم آنزیمی و غیرآنزیمی در تحمل سطوح مختلف تنش‌های اکسیداتیو، نسبت داده شود (۱۲). در این پژوهش، غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل برگ‌ها نشان ندادند (جدول ۲). لوباتو و همکاران (۳۰) گزارش کردند که افزودن سیلیسیم، رنگدانه‌های فتوسنتزی در فلفل تحت تنش آبی را ثابت نگه می‌دارد. این امر ممکن است به بهبود ساختار کلروپلاست و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شود.

همچنین، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از عدم معنی‌داری تنش آبی و تیمارهای سیلیسیم بر تجمع اسید آمینه پرولین بود (جدول ۲). تنش آبی، تجمع برخی مواد سازگار (Compatible solutes) همچون گلیسرول، قند، بتایین و پرولین را باعث می‌شود (۲۷). در حالی که برخی گزارش‌ها از وجود

یک همبستگی مثبت بین تجمع پرولین و سازگاری به تنش آبی خبر می‌دهند. با این حال، این موضوع در برخی مطالعات دیگر تأیید نمی‌شود (۹). اشرف و فولاد (۲) بر این باورند که اگر چه پرولین یک اسمولایت بوده که در برخی از گونه‌های گیاهی در پاسخ به تنش‌های خشکی یا شوری تجمع می‌کند، با این وجود، همه گونه‌های گیاهی قادر به تولید این آمینو اسید در پاسخ به تنش نیستند. عدم همبستگی مثبت بین تجمع پرولین در برگ‌ها و تحمل به تنش در برخی گونه‌های گیاهی به‌دلیل عدم تأثیر پرولین در فرایند سازگاری نیست. بلکه ممکن است منعکس کننده غالبیت مکانیزم‌های دیگر همچون مورفولوژیک و فیزیولوژیک نسبت به تنظیم اسمزی باشد (۹).

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش حاکی از اثرهای نامطلوب تنش آبی بر شاخص‌های کیفی و کمی رُزهای شاخه بریدنی بود. به‌طور کلی، نتایج حاکی از اثرهای نامطلوب تنش آبی بر پارامترهای کیفی رُزهای شاخه بریدنی نظیر تعداد شاخه‌های ممتاز و قطر گل بود. از این‌رو، پیشنهاد می‌گردد در فراهمی آب بهینه جهت حصول کیفیت مطلوب رُزهای شاخه بریدنی اهتمام گردد. همچنین، عدم معنی‌داری اثر سطوح تنش آبی بر محتوای کلروفیل برگ‌ها و نیز عدم تجمع پرولین در برگ‌ها می‌تواند مرتبط با ظرفیت و پتانسیل زیاد رُزهای شاخه بریدنی برای سازگاری با محدودیت آبی از طریق مکانیزم‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک و نه صرفاً تجمع مواد تنظیم کننده اسمزی باشد. با توجه به عدم معنی‌داری اثر سیلیسیم بر صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش، به نظر می‌رسد که اثر ترکیب‌های مختلف سیلیسیمی به میزان زیادی وابسته به گونه باشد. نظر به اینکه تأثیر سیلیسیم بر رشد گیاهان بیشتر در ارتباط با تغییرات در میزان تعرق است، از این‌رو نتایج متفاوت و ضد و نقیض در گزارش‌های مختلف می‌تواند ناشی از شرایط محیطی و همچنین محیط رشد گیاه باشد. در شرایط کشت خاکی، گیاهان مواجه شده با تنش به‌طور کلی ریشه‌های طویل‌تری دارند و همچنین سطح ریشه بیشتری برای افزایش دستیابی به آب دارند. این در حالی است که در کشت‌های بدون خاک، به جهت اینکه ریشه‌ها معمولاً در تماس نزدیک با آب هستند، اغلب به تنش آبی از طریق بهبود هدایت هیدرولیکی داخلی‌شان در مسیرهای انتقال آب پاسخ می‌دهند.

منابع مورد استفاده

۱. برکتین، ل.، ع. نیکبخت، ن. اعتمادی و ج. خواجه علی. ۱۳۹۲. اثر منبع و نحوه استفاده از سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های کمی و فیزیولوژیک گل ژربرا (*Gerbera jamesonii* L.). علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱۳: ۳۹-۴۶.

2. Ashraf, M. and M. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ. Exp. Bot. 59(2): 206-216.
3. Baille, A. 1999. Energy cycle. PP. 265-286. *In:* Stanhill, G. and H. Zvi Encoch (Eds.), Ecosystems of the World-20-Greenhouse ecosystems.
4. Bates, L.S., R.P. Waldern and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207.
5. Bolla, A., M. Koukourikou-Petridou, D. Voyiatzis and D. Chimonidou. 2009. Physiological responses associated to substrate water availability of Rosa 'Eurored' plants grown in soilless greenhouse conditions. Sci. Hort. 121(1): 80-83.
6. Bolla, A., D. Voyiatzis, M. Koukourikou-Petridou, and D. Chimonidou. 2010. Photosynthetic parameters and cut-flower yield of rose 'Eurored'(HT) are adversely affected by mild water stress irrespective of substrate composition. Sci. Hort. 126(3): 390-394.
7. Chimonidou-Pavlidou, D. 1996. Effect of water stress at different stages of rose development. Acta Hort. 424: 45-51.
8. De Hoog, J. 2001. Handbook for Modern Greenhouse Rose Cultivation. Applied Plant Research, The Netherlands, 220 p.

9. Delauney, A.J. and S. Verma Desh Pal. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J. 4(2): 215 - 223.
10. De Kreij, C., W. Voogt and R. Baas. 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG), Naaldwijk, The Netherlands, Brochure 196.
11. Dole, M.J. and M.H. Wilkins. 1999. Floriculture: Principles and Species. Prentice Hall, New Jersey, 728 p.
12. Egert, M. and M. Tevini. 2002. Influence on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). Environ. Exp. Bot. 48: 43-49.
13. Elawad, S.H., J.J. Street and G.J. Gascho. 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. Agron. J. 74: 481-484.
14. Fascella, G., S. Agnello, P. Maggiore, G. Zizzo and L. Guarino. 2010. Effect of controlled irrigation methods using climatic parameters on yield and quality of hydroponic cut roses. Acta Hort. 870: 69-72.
15. Fry, S.C. 1986. Cross-linking of matrix polymers in the growing cell walls of angiosperms. Ann. Rev Plant Physiol. 37: 165-186.
16. Gao, X., C. Zou, L. Wang and F. Zhang. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. J. Plant Nutr. 29: 1637-1647.
17. Gong, H.J., X.Y. Zhu, K.M. Chen, S. Wang and C.L. Zhang. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Sci. 169: 313-321.
18. Gorbe Sánchez, E. 2009. Study of nutrient solution management in soilless rose cultivation, through the analysis of physiological parameters and nutrient absorption. PhD Thesis, Universidad Politecnica De Valencia, Spain.
19. Hanks, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agron. J. 66: 660-664.
20. Hattori, T., K. Sonobe, S. Inanaga, P. An and S. Morita. 2008b. Effects of silicon on photosynthesis of young cucumber seedlings under osmotic stress. J. Plant Nutr. 31: 1046-1058.
21. Hossain, M.T., K. Soga, K. Wakabayashi, S. Kamisaka, S. Fujii, R. Yamamoto and H. Takayuki. 2007. Modification of chemical properties of cell walls by silicon and its role in regulation of the cell wall extensibility in oat leaves. J. Plant Physiol. 164: 385-393.
22. Hwang, S.J., M. Hamayun, H.Y. Kim, C.I. Na, K.U. Kim, D.H. Shin, S.Y. Kim and I.J. Lee .2008. Effect of nitrogen and silicon nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. J. Crop Sci. Biotech. 10: 281-286.
23. Kamenidou, S., T.J. Cavins and S. Marek. 2008. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse produced ornamental sunflowers. Hort. Sci. 43: 236-239.
24. Kamenidou S., T.J. Cavins and S. Marek. 2010. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. Sci. Hort. 123: 390-394.
25. Katsoulas, N., C. Kittas, G. Dimokas and C. Lykas. 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. Biosys. Eng. 93(2): 237-244.
26. Kaya, C., L. Tuna and D. Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress condition. J. Plant Nutr. 29: 1469-1480.
27. Knipp, G. and B. Honermeier. 2006. Effect of water stress on proline accumulation of genetically modified potatoes (*Solanum tuberosum* L.) generating fructans. J. Plant Physiol. 163(4): 392-397.
28. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol. 148: 350-382.
29. Lieth, J.H. and D.W. Burger. 1989. Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. J. Am. Soc. Hort. Sci. 114: 387-392.
30. Lobato, A.K.S., G.K. Coimbra, M.A.M. Neto, R.C.L. Costa, B.G.S. Filho, C.F.O. Neto, L.M. Luz, A.G.T. Barreto, B.W.F. Pereira, G.A.R. Alves, B.S. Monteiro and C.A. Marochio. 2009. Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. Res. J. Biol. Sci. 4: 617-623.
31. Ma, J.F. and N. Yamaji. 2015. A cooperative system of silicon transport in plants. Trends Plant Sci. 20(7): 435-442.
32. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
33. Moyer, C., N.A. Peres, L.E. Datnoff, E.H. Simonne and Z. Deng. 2010. Evaluation of silicon for managing powdery mildew on Gerbera Daisy. J. Plant Nutr. 31: 2131-2144.
34. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Ann. Rev. Plant Biol. 59: 651-681.
35. Nayyar, H. and D.P. Walia. 2003. Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. Biol. Plant. 46: 275-279.
36. Pessarakli, M. 2005. Handbook of Photosynthesis. Taylor & Francis Group, 883 p.
37. Raviv, M. and T.J. Blom. 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. Sci. Hort. 88: 257-276.
38. Savvas, D., G. Gizas, G. Karras, N. Lydakis-Simantiris, G. Salahas, M. Papadimitriou and N. Tsouka. 2007. Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. Eur. J. Hort. Sci. 72(2):

73-79.
39. Shalhevet, J. 1993. Plants under water and salt stress. PP. 133-154. ***In:*** Fowden, L., T. Mansfield and J. Stoddart (Eds.), Plant Adaptation to Environmental Stress, Chapman and Hall, New York.
40. Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel and C.X. Zhao. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. C R Biol. 331(3): 215-225.
41. Syros, T., T. Yupsanis, M. Omirou and A. Economou. 2004. Photosynthetic response and peroxidases in relation to water and nutrient deficiency in gerbera. Environ. Exp. Bot. 52(1): 23-31.
42. Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant Physiology. 3rd ed., Sinauer Associates, Massachusetts, USA.
43. Tripathi, D.K., V.P. Singh, S. Gangwar, S.M. Prasad, J.N. Maurya and D.K. Chauhan. 2014. Role of silicon in enrichment of plant nutrients and protection from biotic and abiotic stresses. PP. 39-56. *In:* Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes, Springer, New York.
44. Urban, L., C. Fabret and L. Barthelemy. 1995. Changes in stem diameter depend upon variations in water content in rose plants. Acta Hort. 424: 67-72.
45. Yamasaki, S. and L.C. Dillenburg. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*.
46. Zhao, D., Z. Hao, J. Tao and C. Han. 2013. Silicon application enhances the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony *(Paeonia lactiflora* Pall.). Sci. Hort. 151: 165-172.
47. Zhu, Y. and H. Gong. 2014. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. Agron. Sustain. Dev. 34(2): 455-472.