Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.301196.668582 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۲، اسفند ماه ۱۳۹۹ (ص ۳۱۱۳-۳۱۰۳)

The Effect of Different Levels of Silicon from a Source of Silicic Acid on *Aloe vera* L. Growth Traits under Cold Stress

SEYED PEIMAN AZARFAM[1*], HABIBOLLAH NADIAN[2], ABDOLAMIR MOEZZI[3], ALI GHOLAMI[1]
1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran.
2. Department of Soil Science, Agricultural Science and Natural Resources, University of Khuzestan, Ahvaz, Iran.
3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
(Received: May. 7, 2020- Revised: Oct. 10, 2020- Accepted: Oct. 20, 2020)

ABSTRACT

Due to the importance of useful elements such as silicon in improving plant resistance to environmental and biological stresses, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in Hashtgerd city, hydroponic greenhouse No. 256. Experimental factors included temperature at 4°C (stress temperature) and 25°C (optimum growth temperature) and application of silicon fertilizer from source of silicic acid at five levels; 0, 500, 1000, 1500 and 2000 mg/kg with three replications, in total 30 pots. The measured traits included the activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), antioxidant enzymes and the qualitative characteristics of aloe vera consist of Mannose, Glucomannan and Aloin concentrations and the plant growth characteristics including aloe vera gel and leaf weight, which were tested at 4˚C as cold stress temperature and 25˚C as the optimum growth temperature of the plant. The obtained results after applying cold stress showed that the effect of silicon fertilizer levels applied on (SOD) and (CAT) and Glucomannan and Mannose activities were significant at 1% level. It was also observed that the interaction of different concentrations of silicon fertilizer and temperature stress is significant at 1% level on all compounds. For vegetative and biochemical traits, the highest interaction was observed in treatment of 2000 mg/kg silicic asid fertilizer at 25°C. For antioxidants, the highest interaction was found in treatment of 2000 mg/kg silicic acid and stress temperature of 4°C. Therefore, the application of 2000 mg/kg pure silicon could have positive effects on the activity of antioxidant enzymes and vegetative traits at normal temperature and a more favorable effect on biochemical traits under temperature stress. Consequently, the silicium fertilizer can be applied as a useful and suitable element in ncreasing the quantity and quality of aloe vera plant.

Keywords: Silicon, Temperature Stress, Growth Traits, Antioxidant.

* Corresponding Author's Email: sir.rezamalmir@yahoo.com
www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم از منبع سیلیسیک اسید بر بهبود صفات رویشی گیاه دارویی آلوئه ورا *Aloe vera* L. تحت تنش سرما

سید پیمان آذرفام*[۱]، حبیب‌الله نادیان[۲]، عبدالامیر معزی[۳]، علی غلامی[۱]

۱.گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۱۹- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۲۹)

چکیده

با توجه به اهمیت عناصر مفیدی همچون سیلیسیم در بهبود مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی و زیستی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شهرستان هشتگرد گلخانه هیدروپونیک شماره ۲۵۶ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از دما شامل دو دمای ۴°c (دمای تنش) و ۲۵°c (دمای مناسب)، سطح مصرف کود سیلیسیم از منبع سیلیسیک‌اسید شامل پنج سطح صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و۱۵۰۰و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سه تکرار و مجموعاً ۳۰ گلدان. در این پژوهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و خصوصیات کیفی گیاه آلوئه ورا شامل غلظت‌های منوز، گلوکومانان، آلوئین و خصوصیات رشد رویشی شامل وزن ژل و برگ گیاه آلوئه ورا اندازه‌گیری شدند. نتایج به‌دست‌آمده پس از اعمال تنش سرمایی، نشان داد که اثر سطوح مصرفی سیلیسیم بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و گلگونان و منوز در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل سطوح مختلف غلظت سیلیسیم و تنش دمایی بر تمامی ترکیبات در سطح یک درصد معنی‌دار شد. برای صفات رویشی و بیوشیمیایی، بیشترین اثر متقابل در تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دمای شاهد ۲۵°c و برای آنتی‌اکسیدان‌ها در تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید سیلیسیک و تنش دمایی ۴°c مشاهده شد. بنابراین مصرف سیلیسیم خالص در مقدار ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌تواند اثرات مثبتی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و صفات رویشی در دمای نرمال و تأثیر مطلوب‌تری بر صفات بیوشیمیایی در شرایط تنش دمایی داشته باشد. بنابراین می‌توان از کود سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید و مناسب در افزایش کمیت و کیفیت گیاه آلوئه ورا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: سیلیسیم، تنش دمایی، صفات رویشی، آنتی‌اکسیدان.

مقدمه

عنصر غذایی سیلیسیم باید به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان عالی در نظر گرفته شود؛ زیرا گیاهان در شرایط عدم وجود سیلیسیم در محیط، تمایل به رشد غیرطبیعی از خود نشان می‌دهند، درحالی‌که در حضور سیلیسیم رشد طبیعی دارند (Agarie *et al*., 1992). علاوه بر این هنگامی‌که مقدار سیلیسیم در خاک بسیار زیاد باشد برای گیاه سمیت ایجاد نمی‌کند (Epstein 1994; Ma *et al*., 2001). بااین‌حال، هم‌اکنون مقدار آن در اغلب خاک‌ها محدودکننده نیست و محصولات زراعی می‌توانند با نرخ بسیار بیشتر از سیستم‌های طبیعی سیلیسیم را جذب کنند. مقدار برداشت سیلیسیم از خاک توسط گیاه نیشکر ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال (Meyer & Keeping., 2001) و برنج ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال (Makabe *et al*., 2009) در مقایسه با ۴۱ تا ۶۷ کیلوگرم در هکتار در سال برای جنگل‌های استوایی (Lucas *et al*., 1993; Alexandre *et al*., 1997) ۲۲ تا ۶۷ کیلوگرم در هکتار در سال برای مراتع ایالات‌متحده (Blecker *et al*., 2006) و ۲,۳ تا ۴۴ کیلوگرم در هکتار در سال برای جنگل‌های معتدل (Bartoli., 1985; Gerard *et al*., 2008; Cornelis *et al*. 2010) است. (Matichenkov & bocharnikova, 1997) محاسبه کردند که هرساله ۲۱۰ تا ۲۴۰ میلیون تن سیلیسیم از خاک‌های زیر کشت کشاورزی تخلیه می‌شود. گیاه آلوئه ورا با نام علمی *Aloe vera. L* از خانواده لیلیاسه، گیاهی علفی، چندساله، بادوام، دارای گونه‌های مختلف، بدون ساقه و یا دارای ساقه‌ای کوتاه، برگ‌های ضخیم گوشتی با حاشیه کمی پیچ‌وخم دار و دارای تیغ

* نویسنده مسئول: sir.rezamalmir@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد. این گیاه بومی آفریقای جنوبی و آمریکای لاتین می‌باشد. گیاه آلوئه ورا حاوی کمپلکس از ترکیبات فعال و قوی است که از آن جمله می‌توان به ویتامین‌ها، آنزیم‌ها، مواد معدنی، قند، لیگنین، ساپونین، اسیدهای آمینه و چربی اشاره نمود (Surjushe & Saple., 2008). ازجمله مواد مؤثر موجود در گیاه آلوئه ورا می‌توان گلوکومانان (Glocomannnan)، آلوئین (Aloein)، آنتراکینون (Anthraquinon)، آنترون (Anthrones)، استیلیت مانان (Acetylated mannas)، امودین مانان (Emodin Mannas) و لکتین (Lectin). اشاره کرد (Surjushe & Saple., 2008). گیاه آلوئه ورا به‌عنوان یک گیاه دارویی با کاربرد وسیع در بخش صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی شناخته‌شده است (Ni and Tizard, 2004) گیاه آلوئه ورا حاوی مقادیر زیادی آنتی‌اکسیدان بسیار قوی است. گیاه آلوئه ورا قارچ‌کش، باکتری‌کش و ویروس‌کش بسیار قوی است. از گیاه آلوئه ورا در مبارزه با سرطان، بیماری ایدز، بیماری‌های پوستی، سوختگی، ناراحتی دستگاه گوارش، تقویت اعصاب، ضدافسردگی و تقویت قوای ذهنی استفاده می‌شود (Reynolds., 2009). عنصر سیلیسیم در کاهش تنش‌های زیستی مانند بیماری‌های گیاهی و خسارت آفت و تنش‌های غیر زیستی مانند شوری، خشکی، سمیت آلومینیوم، مسمومیت با فلزات سنگین، عدم تعادل مواد مغذی، خوابیدگی یا ورس، تابش‌های زیان‌آور، درجه حرارت بالا، سرما و انجماد و زخمی شدن نقش بسزایی دارد (Richmond & Sussman., 2003; Ma & Yamaji., 2006; Liang *et al*., 2007; Kim *et al*., 2011). مصرف سیلیسیم می‌تواند با تأثیر بر روی سیستم آنتی‌اکسیدان گیاه سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش سرمایی و کاهش اثرات مخرب سرما در گیاه شده و از طرفی در شرایط دمایی مناسب می‌تواند باعث بهبود رشد و خواص دارویی گیاه آلوئه ورا گردد. (Habibi, 2019)

پژوهش حاضر به بررسی اثر سیلیسیم بر خصوصیات رویشی برگ گیاه آلوئه ورا (وزن‌تر و خشک، طول، جرم حجمی، وزن ژل و پوسته) و همچنین ویژگی‌های کیفی گیاه شامل: غلظت منوز، غلظت گلوکومونان، غلظت آلوئین و در نهایت اندازه‌گیری آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز با هدف بررسی اثر سیلیسیم بر مقاومت و تحمل گیاه آلوئه ورا به تنش سرمایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمارشامل دما در دو سطح، ۴°c (به‌عنوان دمای تنش سرمایی) و ۲۵°c (به‌عنوان دمای عادی و رشد بهینه) و مقدار سیلیسیم در پنج سطح مصرفی (۰،۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با سه تکرار جمعاً در ۳۰ گلدان در استان البرز شهرستان هشتگرد مجتمع گلخانه شماره ۲۵۶ هیدروپونیک، طراحی و اجرا گردیده است. لازم به ذکر است سطوح مصرفی سیلیسیم بر اساس تحقیقات پیشین محققان (Xu *et al*., 2015 & Cheng-Xiang *et al*., 2007) انتخاب گردید. گلخانه با پوشش دولایه از جنس پلاستیک ضد بخار و ضد اشعه ماورا بنفش[1] دارای سیستم گرمایشی بخاری گازسوز، سیستم خنک‌کننده فن و پد و دریچه‌های کناری و سختی می‌باشد. گلخانه مجهز به سیستم کنترل دما و رطوبت اتوماتیک است. این طرح در دو گلخانه با دمای کنترل‌شده ۴°c و ۲۵°c انجام شد. بدین منظور نسبت به انتخاب گلخانه‌های شماره یک و دو در کنار هم با موقعیت مکانی یکسان ازلحاظ شرایط تابش خورشید و سایر شرایط محیطی یکسان اقدام لازم صورت پذیرفت. اسید سیلیسیک مصرفی ساخت شرکت ETABANK ترکیه به فرم منو سیلیسیک‌اسید (H_4SiO_4) با مشخصات فنی CASNumber: 1343-98-2, EC Number: 215-68-2, Pubchem substance ID: 24881977, Purity: 99% می‌باشد. برای تهیه فاکتورهای سطوح کود سیلیسیم ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع اسید سیلیسیک به ترتیب مقدار ۱/۷، ۳/۴، ۵/۱ و ۶/۸ گرم توسط ترازوی دیجیتال و با دقت یک‌صدم توزین و در بالون ژوژه یک لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد.

بستر کشت هیدروپونیک مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت به نسبت وزنی ۵۰ درصد برای هرکدام که در گلدان‌های شماره ۱۰ به ابعاد ۱۸×۱۴ سانتیمتر از جنس پلی‌اتیلن، مخلوط و پر گردیده است. در تمامی ۶۰ گلدان با بستر هیدروپونیک گیاه آلوئه ورا از جنس و گونه *Aloe barbadensis Mill. (= A. vera L.)* به طول تقریبی ۱۵ تا ۱۸ سانتی‌متر و دارای سه برگ اصلی، کشت شد. گلدان‌ها برای خط انتقال آب آبیاری به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرارگرفته و به کمک دو قطره‌چکان، ۴ لیتر در ساعت آبیاری شدند. طبق مرجع (Cavallini *et al*., 1991) گونه Aloe barbadensis Mill. همان (A. vera L.) می‌باشد. محلول غذایی استفاده‌شده در سیستم هیدروپونیک بر اساس فرمولاسیون محلول‌های هوگلند و ماسانتینی (Jones., 1997) و راهنمای کشت بدون خاک، سازمان خواربار جهانی FAO تهیه و شامل سه استوک A- B – C می‌باشد. استوک A، حاوی عناصر ماکرو، استوک B، حاوی عناصر میکرو و استوک C، حاوی کلسیم آهن و تنظیم‌کننده pH محلول غذایی بود. استوک A, B صبح ساعت

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰ و استوک C در عصر ساعت ۱۷ همراه با آب آبیاری به گلدان‌ها داده و مدت‌زمان آبیاری در صبح و عصر هرکدام به مدت نیم ساعت بود. تعداد ۱۵ گلدان در گلخانه شماره یک و تعداد ۱۵ گلدان در گلخانه شماره ۲ قرار داده شد. در ابتدای کاشت دمای هر دو گلخانه روی ۲۵°c تنظیم گردید. پس از گذشت دو ماه از کشت و شماره‌گذاری گلدان‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی، اعمال تیمارهای کلی شامل منبع کودی و سطوح مصرفی انجام پذیرفت. بدین منظور هر دوشنبه صبح پس از آبیاری صبحگاهی ۲۰ میلی‌لیتر از تیمارهای تهیه‌شده به‌صورت دستی به هر گلدان اضافه گردید. پس از گذشت یک ماه از اعمال تیمار کودی به‌منظور ایجاد تنش سرمایی، تنظیمات دمایی گلخانه شماره ۲ بر روی دمای ۴°c تنظیم و تنش سرمایی آغاز گردید. به‌منظور بررسی و مقایسه اثر تنش دمایی روی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز قبل از کاهش دما، نمونه‌برداری از برگ‌های دوم انجام و جهت تعیین فعالیت به آزمایشگاه مرجع ارجاع گردید. با توجه به پژوهش‌های گذشته (Liang *et al*., 2007; Karimzadeh *et al*., 2013) فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز پس از گذشت هفت روز از تنش سرمایی در گیاه کلزا و ۴ روز در گیاه گندم افزایش و به حداکثر خود رسیده است. (Nayyar & Walia., 2003) با بررسی برای گیاه چه های ۱۴ روزه تحت تنش سرما، مشاهده کردند که کاهش دما، به ۴°c باعث ۵۰ درصد تراوش یونی گردید. درحالی‌که با تطابق با دمای پایین به میزان ۱۰°c به مدت ۶ روز با کاهش تولید پراکسید هیدروژن مواجه شده است. بدین منظور پس از گذشت هفت روز از اعمال تنش سرمایی، نمونه‌برداری از برگ دوم انجام و جهت تعیین فعالیت به آزمایشگاه مرجع ارسال گردید. به‌منظور بررسی مؤلفه‌های رویشی و خواص دارویی پس از گذشت ۹۰ روز از اعمال تیمارها، از گلخانه شماره یک با دمای ۲۵°c نمونه‌برداری انجام و به آزمایشگاه ارسال گردید. وزن‌تر برگ پس از برداشت نمونه‌ها و قبل از ارسال به آزمایشگاه با ترازوی دقیق دیجیتالی برحسب گرم اندازه‌گیری شد. طول برگ بر اساس واحد سانتی‌متر از انتهای برگ محل دم برگ تا نوک سبز اندازه‌گیری شد. پوسته سبز برگ پس از جداسازی از ژل توسط ترازوی دقیق اندازه‌گیری و بر اساس واحد گرم قرائت گردید. برای اندازه‌گیری حجم برگ از استوانه مدرج استفاده شد. بدین‌صورت که استوانه را تا حجم معین از آب پرکرده سپس برگ گیاه به‌طور کامل وارد آب می‌گردد. در اثر وارد شدن برگ آلوئه ورا در استوانه مدرج حجم آب درون استوانه بالا آمده و پس از غوطه‌وری کامل آلوئه‌ورا با افزایش آب در استوانه مدرج و بالا آمدن آب همراه است (Sojka., 1988). اختلاف حجم آب اولیه و حجم پس از غوطه‌وری آلوئه ورا در آب نشان‌دهنده حجم برگ می‌باشد. وزن حجمی با استفاده از حجم برگ و وزن برگ و فرمول $\rho = m/v$ قابل‌محاسبه می‌باشد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز طبق دستورالعمل ژیانو پلیتسیس و رایس (Ginnopolitis and Rice, 1977)، فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس پروتکل چانس و ماهلی (Chance *et al*., 1995) اندازه‌گیری شد. غلظت منوز بر اساس روش استاندارد فامارکوبه ۲۰۰۳، با استفاده از معرف آنترون و استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری UV-visible و بر اساس واحد درصد غلظت منوز در برگ مشخص شد. غلظت گلوکومانان، بر اساس روش استاندارد فارماکوپه ۲۰۰۳، استفاده از معرف کونگورت و NaOH ۰/۱ نرمال و تیتراسیون و در نهایت استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر-UV visibleانجام و بر اساس واحد درصد غلظت گلوکومانان در برگ گزارش شد. غلظت آلوئین موجود در پوسته سبز برگ آلوئه ورا بر اساس استاندارد فارماکوپه ۲۰۰۳ و مصرف منیزیم استات و استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UVvisible انجام و بر اساس واحد درصد غلظت آلوئین در پوسته سبز برگ گزارش شد (Grindlay & Reynolds., 1986).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و بررسی کیفیت و چگونگی روند تأثیرات عوامل مختلف آزمون، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح پنج درصد انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد اثر سطوح مصرفی غلظت سیلیسیم و دما پس از اعمال تنش سرمایی ۷ روزه، بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اثرات متقابل سطح غلظت سیلیسیم و دما بر مقدار فعالیت هر دو آنزیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). به‌منظور بررسی کیفیت و چگونگی روند تأثیرات عوامل مختلف بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، آزمون مقایسه میانگین‌ها انجام گردید. نتایج اثرات متقابل در جدول‌های (۲ تا ۴) ارائه‌شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس آنتی‌اکسیدان‌ها

منبع تغییر	درجه آزادی	سوپراکسیدیسموتاز	کاتالاز
سطح غلظت سیلیسیم	۴	۸۲/۶۸۰**	۰/۵۵۹۷**
دما	۱	۱۳۲۷/۱۶۸**	۰/۴۳۵۹**
سطح غلظت *دما	۴	۵۷/۱۸۷**	۰/۲۲۳۰**
ضریب تغییرات (درصد)	-	۰/۸۶۷	۱/۱۸۳

**و* : معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

اثرات متقابل دما × سطح غلظت سیلیسیم

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس (جدول۱) مشاهده شد،

www.SID.ir

Archive of SID

اعمال ۷ روز تنش سرمایی تأثیر قابل‌توجهی بر مقدار فعالیت‌های آنتی‌اکسیدان داشت که احتمالاً دلیل آن به نقش مثبت سیلیسیم در مکانیزم القا مقاومت به گیاه در برابر تنش سرمایی باشد (Ma & Yamaji, 2006; Liang *et al*., 2007; Kim *et al*., 2011). اثرات متقابل دما و سطح غلظت معنی‌دار بوده و نتایج آن نشان می‌دهد بیشترین مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مربوط به تیمار تحت تنش سرمایی با غلظت ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام و کمترین مربوط به تیمار دمای شاهد بدون اضافه کردن کود سیلیسیم می‌باشد و اختلاف بین بیشترین و کمترین مقادیر آنتی‌اکسیدان‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در هر دو تیمار تحت تنش و فاقد تنش، بیشترین مقادیر در غلظت‌های بالای سیلیسیم مشاهده گردید و به‌طورکلی غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام حد وسط تیمار شاهد و غلظت‌های بالای سیلیسیم قرار گرفتند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های دما در سطح غلظت

دما	سطح غلظت (ppm)	سوپراکسید دیسموتاز (µmon/min)	کاتالاز (µmon/min)
شاهد ۲۵ درجه سانتی گراد	۰	۲۵/۵۱^{d}	۱/۸۴^{bc}
	۵۰۰	۲۷/۱۹^{cd}	۱/۹۱^{bc}
	۱۰۰۰	۲۷/۸۹^{cd}	۱/۹۲^{bc}
	۱۵۰۰	۲۸/۱۸^{c}	۱/۹۶^{b}
	۲۰۰۰	۲۹/۳۱^{c}	۲/۲۴^{ab}
تنش ۴ درجه سانتی گراد	۰	۲۸/۸۶^{c}	۱/۵۹^{c}
	۵۰۰	۳۷/۷۹^{b}	۲/۰۶^{b}
	۱۰۰۰	۳۸/۸۷^{b}	۲/۲۲^{ab}
	۱۵۰۰	۴۰/۱۸^{a}	۲/۳۵^{ab}
	۲۰۰۰	۴۰/۴۱^{a}	۲/۵۰^{a}

میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ درصد ندارند.

به‌طورکلی تنش سرما کوتاه‌مدت (پس از ۷ روز) باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌ها شده است. با افزایش غلظت سیلیسیم فعالیت هر دو آنزیم افزایش یافت.

طبق گزارش‌ها (Ma *et al*., 2001; Ma & Takahashi, 2001; Hodson *et al*.t 2005)، غلظت‌های بسیار بالای سیلیسیم از لحاظ سمیت برای گیاه و یا خطر زیست‌محیطی، مشکلی را ایجاد نمی‌کند و با افزایش مقدار سیلیسیم در خاک، تمایل گیاه به جذب بیشتر سیلیسیم افزایش می‌یابد. گونش و همکاران در سال ۲۰۰۸ (Gunes *et al*., 2008) دریافتند که سیلیسیم بسته به نوع گونه و رقم گیاه بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز تأثیرگذار است. در پژوهش انجام‌شده با ایجاد تنش سرمایی، گیاه فعالیت آنتی‌اکسیدان خود را افزایش داده تا بتواند تنش را خنثی یا به حداقل برساند. کاربرد تیمار سیلیسیم باعث افزایش سیستم تدافعی گیاه از طریق افزایش سنتز بیشتر آنتی‌اکسیدان شده است. دمای ۴°c به‌عنوان تنش سرمایی و تیمارهای مختلف سیلیسیم توانسته‌اند سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و درنتیجه تعدیل اثرات تخریبی ناشی از تنش گردد و این توانایی سیلیسیک‌اسید به‌علت pH:۳/۵، فعال بودن یون H^{+} و حلالیت زیاد آن در pH اسیدی و قدرت جذب منوسیلیسیک در pH اسیدی می‌باشد. (Liang *et al*., 2007) نشان دادند که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز پس از گذشت ۴ روز از تنش سرمایی در گیاه گندم افزایش‌یافته و به حداکثر فعالیت خود رسیده است. امام و همکاران در سال ۲۰۱۳ (Emam *et al*., 2013)نشان دادند که فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز پس از ۷ روز از تنش سرمایی در کلزا به حداکثر فعالیت رسیده است. در پژوهش انجام‌شده، تنش سرمایی پس از ۷ روز توانسته بر روی غلظت کاتالاز تأثیرگذار باشد که این امر نشان‌دهنده افزایش فعالیت سیستم دفاعی و آنتی‌اکسیدانی گیاه در مواجهه با شرایط تنش است. سیلیسیم به‌عنوان یک عامل تقویت‌کننده سیستم دفاعی توانسته نقش خود را با تأثیر بر فعالیت کاتالاز ایفا کند. بدین‌صورت که قرار گرفتن گیاه در تنش سرمایی و استفاده از تیمار سیلیسیم نسبت به شاهد تأثیر بیشتری بر فعالیت کاتالاز داشت. در میان تنش‌های مختلف غیرزنده، تنش سرمایی یکی از رایج‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاه است (Adam & Murthy, 2014).

قرار گرفتن کوتاه‌مدت گیاهان در تنش سرمایی ممکن است تغییرات گذرا در آن‌ها ایجاد کند، اما آنها زنده می‌مانند. با این‌حال قرار گرفتن در معرض تنش سرمایی به مدت طولانی باعث نکروزه، پژمردگی و زردی و درنهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Levitt., 1980).

به‌طورکلی تنش سرمای کوتاه‌مدت (پس از ۷ روز) باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز شد. با افزایش غلظت سیلیسیم فعالیت هر دو آنزیم افزایش یافت. طبق گزارش‌ها (Brahma *et al*.,2020; Ma *et al*., 2006; Hodson *et al*., 2005) غلظت‌های بسیار بالای سیلیسیم ازلحاظ سمیت برای گیاه و یا خطر زیست‌محیطی، مشکلی را ایجاد نمی‌کند و با افزایش مقدار سیلیسیم در خاک، تمایل گیاه به جذب بیشتر سیلیسیم افزایش می‌یابد. (Gunes *et al*., 2008; Joudmand & Hajiboland., 2019; Qian *et al*., 2019) دریافتند که سیلیسیم بسته به نوع گونه و رقم گیاه بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز تأثیرگذار است. در پژوهش انجام‌شده با ایجاد تنش سرمایی، گیاه فعالیت آنتی‌اکسیدان خود را افزایش داده تا بتواند تنش را خنثی یا به حداقل برساند. کاربرد تیمار سیلیسیم باعث افزایش سیستم تدافعی گیاه از طریق افزایش سنتز بیشتر آنتی‌اکسیدان شده است. دمای ۴°c به‌عنوان

www.SID.ir

Archive of SID

تنش سرمایی و تیمارهای مختلف سیلیسیم توانسته‌اند سبب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و درنتیجه تعدیل اثرات تخریبی ناشی از تنش گردد. اسید سیلیسیک به‌علت دارا بودن pH:۳/۵ و فعال بودن یون H^+ و حلالیت بالای آن در pH اسیدی، قدرت جذب منو سیلیسیک در pH اسیدی را دارد. لیانگ و همکاران (۲۰۰۸) و کریم زاده و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز پس از گذشت ۴ و ۷ روز از تنش سرمایی به ترتیب در دو گیاه گندم و کلزا افزایش‌یافته و به حداکثر فعالیت خود رسید. در پژوهش انجام‌شده، تنش سرمایی پس از هفت روز توانسته بر غلظت کاتالاز تأثیرگذار باشد که این امر نشان‌دهنده افزایش فعالیت سیستم دفاعی و آنتی‌اکسیدانی گیاه در مواجهه با شرایط تنش است. سیلیسیم به‌عنوان یک عامل تقویت‌کننده سیستم دفاعی توانسته نقش خود را با تأثیر بر فعالیت کاتالاز ایفا کند. بدین‌صورت که قرار گرفتن گیاه در تنش سرمایی و استفاده از تیمار سیلیسیم نسبت به شاهد تأثیر بیشتری بر فعالیت کاتالاز داشت.

صفات رویشی گیاه آلوئه ورا

اثرات اصلی فاکتورهاشامل غلظت سیلیسیم و دما، همچنین اثرات متقابل بین آن‌ها، بر روی صفت ژل برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی دار می‌باشد. عامل سطح غلظت و همچنین دما به‌طور قابل‌توجه و معنی‌دار بر وزن پوسته سبز برگ گیاه تأثیر داشت. اثرات متقابل دما ×سطح غلظت (در سطح ۱٪) بر وزن پوسته سبز برگ معنی‌دار می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس برای صفت طول برگ نیز شبیه نتایج وزن پوسته سبز برگ بود. در مورد وزن برگ، اثر سطوح غلظت و اثر دما در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج اثرات متقابل بیان می‌کند که اثر متقابل دما در غلظت در سطح کمتر از ۱٪ معنی‌دار است. در مورد حجم برگ کلیه اثرات اصلی و اثرات متقابل دوگانه در سطح کمتر از ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۳).

اثرات متقابل دما × سطح غلظت سیلیسیم

به دلیل تأثیر زیاد دمای محیط رشد، بیشترین مقادیر ویژگی‌های رویشی گیاه در غلظت‌های مربوط به دمای شاهد (۲۵°c) مشابه می‌شود. بیشترین مقدار وزن ژل برگ، مربوط به غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام سیلیسیم در دمای شاهد می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌دار با سایر غلظت در این دما و دمای تنش دارد. غلظت ۱۵۰۰ پی پی ام سیلیسیم در دما شاهد با ۲۰۰۰ پی پی ام و ۱۰۰۰ پی پی ام در همین دما، اختلاف معنی‌دار وجود دارد درحالی‌که اختلاف موجود بین غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام با ۵۰۰ پی پی ام و ۵۰۰ پی پی ام با تیمار صفر پی پی ام معنی‌دار نیست. در دمای پایین (۴°c) شدت تأثیر غلظت سیلیسیم نسبت به دمای بالا (۲۵°c) کمتر بوده به‌طوری‌که درمجموع بین غلظت‌های ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام اختلاف معنی‌داری به لحاظ ویژگی‌های رویشی وجود ندارد. تقریباً غلظت‌های ۵۰۰ و صفر پی پی ام نیز در یک گروه قرارگرفته‌اند و به‌طور میانگین به لحاظ صفات رویشی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی گیاه آلوئه ورا

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن ژل (gr)	وزن پوسته سبز (gr)	طول برگ (cm)	وزن برگ (gr)	حجم برگ (cm^3)	وزن حجمی برگ (gr/cm^3)
سطح غلظت سیلیسیم	۴	۲۷۰**	۲۸**	۳۷**	۲۲۸**	۲۴۶**	۰/۳۰**
دما	۱	۴۳۳**	۷۵۹۳**	۲۲۴**	۶۷۸۶**	۱۰۴**	۰/۰۵**
سطح غلظت *دما	۴	۱۹۰**	۷**	۲**	۴۷**	۷۷۷**	۰/۰۶**
CV (٪)	____	۰/۷۲۰	۰/۷۶۰	۱/۳۳۹	۰/۴۴۱	۱/۲۶۰	۰/۶۵۵

ns عدم معنی‌داری ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما و غلظت سیلیسیم بر صفات رویشی گیاه

دما	سطح غلظت (ppm)	وزن ژل برگ (gr)	وزن پوسته سبز برگ (gr)	طول برگ (cm)	وزن‌تر برگ (gr)	حجم برگ (cm3)	جرم حجمی برگ (gr/cm3)
شاهد	۰	۱۲۴/۳۳^{d}	۱۶۷/۱۷^{b}	۵۲/۶۷^{b}	۲۹۲/۶۷^{b}	۳۶۳/۶۷^{b}	۰/۸۰^{a}
	۵۰۰	۱۲۷/۶۷^{cd}	۱۶۸/۵۰^{ab}	۵۳/۵۰^{b}	۲۹۶/۸۳^{b}	۳۷۶/۳۳^{b}	۰/۷۹^{a}
	۱۰۰۰	۱۲۹/۸۳^{c}	۱۷۱/۸۳^{a}	۵۵/۱۷^{ab}	۲۹۹/۵۰^{ab}	۳۸۳/۳۳^{ab}	۰/۷۸^{ab}
	۱۵۰۰	۱۳۵/۰۰^{b}	۱۷۱/۳۳^{a}	۵۷/۵۰^{a}	۳۰۴/۵۰^{ab}	۴۰۲/۱۷^{a}	۰/۷۶^{b}
	۲۰۰۰	۱۴۶/۶۷^{a}	۱۷۱/۸۳^{a}	۵۷/۵۰^{a}	۳۰۸/۸۳^{a}	۴۲۰/۱۷^{a}	۰/۷۵^{c}
تنش	۰	۲۲/۶۷^{f}	۶۶/۶۷^{c}	۴۱/۳۳^{d}	۸۴/۶۷^{d}	۱۱۹/۰۰^{d}	۰/۷۰^{d}
	۵۰۰	۲۲/۶۷^{f}	۶۶/۸۳^{c}	۴۲/۱۷^{d}	۸۶/۵۰^{d}	۱۱۷/۶۷^{d}	۰/۷۱^{d}
	۱۰۰۰	۲۳/۸۳^{ef}	۶۷/۰۰^{c}	۴۳/۰۰^{cd}	۸۷/۸۳^{cd}	۱۲۴/۳۳^{cd}	۰/۷۱^{d}
	۱۵۰۰	۲۴/۵۰^{e}	۶۸/۳۳^{ce}	۴۴/۵۰^{c}	۸۸/۸۳^{c}	۱۳۱/۱۷^{c}	۰/۶۹^{dc}
	۲۰۰۰	۲۴/۵۰^{e}	۶۹/۳۳^{e}	۴۴/۱۷^{c}	۹۱/۰۰^{c}	۱۳۲/۵۰^{c}	۰/۶۸^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقایسه میانگین‌های وزن ژل برگ در عامل‌های مختلف نشان می‌دهد در دمای ۴°c وزن ژل برگ نسبت به دمای ۲۵°c با کاهش محصول مواجه شده است که نشان از کاهش فعالیت فتوسنتزی و کاهش تولید پلی ساکارید ها در دمای ۴ °c دارد. بالا رفتن غلظت یون سیلیسیم باعث افزایش وزن ژل برگ در گیاه آلوئه ورا شده است. در غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام سیلیکون هم قابل‌مشاهده می‌باشد ولی در سایر غلظت‌ها اختلاف میانگین‌ها مشاهده نشده است. به‌طورکلی در ذخیره ژل برگ عامل گرما به‌عنوان پارامتر بسیار مهم شناخته‌شده به‌طوری‌که در دمای پایین فعالیت گیاه به حداقل رسیده و بیشتر به مصرف پلی ساکاریدهای داخلی و ذخیره‌ای تشویق شده‌اند. نتایج مقایسه میانگین‌ها وزن پوسته سبز برگ نشان‌دهنده آن است که تنش دمایی تأثیر زیادی بر روی وزن پوسته سبز برگ داشته است. به‌طوری‌که اختلاف وزن بین دمای پایین و بالا بسیار زیاد است بدین معنی که در دمای ۲۵°c به دلیل فعالیت بالاتر و بیشتر گیاه ایجاد شرایط مناسب‌تر فتوسنتزی و رشد رویشی گیاه، وزن پوسته سبز برگ بسیار بیشتر از دمای ۴°c می‌باشد. سطوح مصرفی کود در غلظت‌های ۱۵۰۰،۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته‌اند و به‌عبارت‌دیگر دارای یک اثر بر روی وزن پوسته سبز برگ می‌باشند ضمن آنکه این غلظت‌ها همگی نسبت به غلظت ۵۰۰ پی پی ام و نمونه شاهد تأثیر مثبت داشته‌اند. بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها، تنش دمایی و یا شرایط دمایی رشد گیاه عامل بسیار مهمی در وزن پوسته سبز برگ می‌باشد بدین‌صورت که در دمای بالا ۲۵°c با توجه به شرایط رشد و فعالیت گیاه وزن پوسته سبز برگ بسیار بیشتر از دمای ۴°c می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها طول برگ نشان‌دهنده آن است که در تنش دمایی، با کاهش دما به ۴°c طول برگ رشد کمتری نسبت به دمای ۲۵°c داشته است. سیلیسیک‌اسید توانسته طول برگ تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش طول برگ گردد. افزایش غلظت یون سیلیسیم تا ۱۰۰۰ پی پی ام تأثیری بر طول برگ از خود نشان داده و هرکدام از غلظت‌ها دارای اختلاف با یکدیگر می‌باشند. غلظت ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام دارای تأثیر یکسانی بر روی طول برگ از خود نشان داده است. نتایج مقایسه میانگین‌های وزن‌تر برگ نشان‌دهنده تأثیر تنش دمایی بر روی وزن‌تر برگ است به‌طوری‌که دمای ۲۵°c با ایجاد شرایط رشد بهتر توانسته اختلاف زیادی بر روی وزن‌تر برگ نسبت به دمای ۴°c داشته باشند. در بررسی اثرات متقابل غلظت یون سیلیسیم و دما، فاکتور دما عامل تعیین‌کننده ایجاد اثرات مثبت بوده است. غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام و ۲۰۰۰ پی پی ام تأثیر مثبتی بر این اثر متقابل داشته است. در بررسی میانگین‌های اندازه‌گیری شده بر روی حجم برگ تنش دمایی عامل بسیار مهم و تأثیرگذار بر حجم برگ بوده است. درمجموع سیلیسیک‌اسید دارای اختلاف جزیی و تأثیرگذار بر روی حجم برگ می‌باشد. غلظت ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام سیلیسیم بر پارامتر حجم برگ تأثیر مثبتی از خود نشان داده است. در جدول تجزیه واریانس کلیه سطوح تیماری دما و سطوح سیلیسیم دارای اثر معنی‌داری بر روی صفت وزن حجمی برگ از خود نشان داده‌اند. در مقایسه دمای ۲۵°c و ۴°c، دما ی ۲۵ °c توانسته تأثیر بیشتری را نسبت به دمای ۴°c از خود نشان دهد. بدین معنا که دمای ۲۵°c با ایجاد شرایط مناسب رشدی و بهبود شرایط جذب و تأثیر عنصر سیلیسیم اثر بیشتری را داشته باشد. با افزایش سطح تیمار تأثیر این سطح بر روی صفت جرم حجمی نیز بیشتر شده به‌طوری‌که در دمای ۲۵°c و ۴°c سطح تیمار ۵ بالاترین اثر را نشان داده است. دمای رشد ۲۵°c با ایجاد شرایط رشدی بهتر توانسته تأثیر منابع را بهتر از دمای ۴°c نشان دهد.

به‌طور کلی تیمار یون سیلیسیم با تأثیر بر پارامترهای آنتی‌اکسیدان‌ها و ساخت مواد قندی و ایجاد شرایط مناسب‌تر برای فتوسنتز و تنفس گیاه حتی در شرایط تنش سرمایی توانسته تأثیر مستقیمی بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه داشته باشد به‌طوری‌که با کاهش پژمردگی و کاهش تنش سرمایی، گیاه آلوئه ورا به رشد خود ادامه داده به‌طوری‌که شاخص‌های اندازه‌گیری شده فیزیولوژیک در شرایط بهتری نسبت به شاهد قرار داشتند. در شرایط درازمدت سرمایی گیاه پس از مدتی شروع به سازگاری با شرایط جدید کرده به‌طوری‌که تیمار سیلیسیم در شرایط دمایی ۴°C توانسته با کنترل تنش سرمایی و ایجاد و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدان گیاه، گیاه را از حالت پژمردگی رها کرده و درنتیجه اعمال حیاتی گیاه، با شرایط مطلوب‌تری نسبت به شاهد دنبال شد که متعاقب آن بهبود شرایط و پارامترهای مرفولوژیک گیاه به‌دست‌آمده است. مدت‌زمان حدود سه ماه در سرمای حدود ۴°C باعث کاهش چشمگیری در وزن ژل که همان ذخیره پلی ساکاریدی می‌باشد. در این شرایط با کاهش پلی ساکارید ها گیاه تلاش و حرکت خود را معطوف تولید انرژی و اعمال حیاتی می‌کند به‌طوری‌که زنده ماندن و تحمل سرما نسبت به ذخیره پلی ساکارید ها در اولویت قرار دارد. بالا رفتن غلظت یون سیلیسیم باعث افزایش وزن ژل برگ در گیاه آلوئه ورا شده است. به‌طورکلی در ذخیره ژل برگ عامل گرما به‌عنوان پارامتر بسیار مهم شناخته‌شده به‌طوری‌که در دمای پایین فعالیت گیاه به حداقل رسیده و بیشتر به مصرف پلی ساکارید های داخلی و

www.SID.ir

Archive of SID

ذخیره‌ای تشویق شده‌اند. اثر مختلف درجه حرارت، معنی‌دار بوده بدین معنی که اختلاف بین ژل برگ در دماهای مختلف بسیار زیاد است. مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده آن است که تنش دمایی تأثیر زیادی بر روی وزن پوسته سبز برگ داشته است. به‌طوری‌که اختلاف وزن بین دمای پایین و بالا بسیار زیاد است بدین معنی که در دمای ۲۵°c به دلیل فعالیت بالاتر و بیشتر گیاه ایجاد شرایط مناسب‌تر فتوسنتزی و رشد رویشی گیاه، وزن پوسته سبز برگ بسیار بیشتر از دمای ۴°c می‌باشد. سطوح مصرفی کود در غلظت‌های ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشته‌اند و به‌عبارت‌دیگر دارای یک اثر بر روی وزن پوسته سبز برگ می‌باشند ضمن آنکه این غلظت‌ها همگی نسبت به غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نمونه شاهد تأثیر مثبت داشته‌اند. بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها، تنش دمایی و یا شرایط دمایی رشد گیاه عامل بسیار مهمی در وزن پوسته سبز برگ می‌باشد بدین‌صورت که در دمای بالا ۲۵°c با توجه به شرایط رشد و فعالیت گیاه وزن پوسته سبز برگ بسیار بیشتر از دمای ۴°c می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده تأثیر تنش دمایی بر روی وزن‌تر برگ است به‌طوری‌که دمای ۲۵°c با ایجاد شرایط رشد بهتر توانسته اختلاف زیادی بر روی وزن‌تر برگ نسبت به دمای ۴°c داشته باشند. در بررسی اثرات متقابل غلظت یون سیلیسیم و دما، فاکتور دما عامل تعیین‌کننده ایجاد اثرات مثبت بوده است. غلظت ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تأثیر مثبتی بر این اثر متقابل داشته است.

صفات بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس ترکیبات گیاهی شامل گلوکومونان، منوز و الویین در جدول (۵) ارائه‌شده است. اثر سطوح مختلف یون سیلیسیم بر کلیه ترکیبات در سطح یک درصد معنی‌دار بود که نشان از وجود اختلاف بین سطوح مختلف سیلیسیم در تأثیرگذاری بر مقدار ترکیبات مفید گیاه آلوئه ورا است.

جدول ۵-نتایج تجزیه واریانس برخی صفات بیوشیمیایی

درجه آزادی	منبع تغییر	میانگین مربعات		
		گلوکومونان (٪)	منوز (٪)	آلوئین (٪)
۴	سطح غلظت	۰/۰۰۰۶۵۴**	۰/۰۴۲۹**	۰/۴۴۱**
۱	دما	۰/۳۸۲۴**	۲۱/۷۸۰**	۶۹۵/۶۴۱**
۴	سطح کود در دما	۰/۰۰۰۳۸۱**	۰/۰۲۵۳۲**	۰/۰۹۴۱**
---	ضریب تغییرات (درصد)	۲/۲۷۶	۱/۱۶۲	۰/۵۸۴

ns عدم معنی‌داری ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد * معنی‌دار در سطح ۵ درصد

اثر دما به‌عنوان یک فاکتور محیطی مهم نیز به‌طور معنی‌دار و قابل‌توجه کلیه ترکیبات اندازه‌گیری شده در گیاه آلوئه ورا را در سطح یک درصد تحت تأثیر قرار داده است. اثر متقابل سطوح مختلف غلظت کود سیلیسیم و تنش دمایی در سطح یک درصد بر کلیه ترکیبات معنی‌دار می‌باشد.

اثرات متقابل دما × سطح غلظت سیلیسیم

در هر سه ترکیب، بیشترین غلظت مربوط به دمای شاهد با غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام مشاهده گردید. اختلاف بین غلظت‌های متناظر سیلیسیم در دمای بالا و دمای پایین بسیار زیاد و کاملاً معنی‌دار بوده اما اختلاف بین غلظت‌ها با یکدیگر در هر دما بسیار کم می‌باشد. در دمای نرمال یعنی ۲۵°c تأثیر غلظت‌های مختلف بر این ترکیبات به‌ویژه در مورد منوز بیشتر بوده طوری که اختلاف بین غلظت‌های مختلف معنی‌دار شده است. در گلوکومانان، بین غلظت ۲۰۰۰ و ۵۰۰ پی پی ام اختلاف معنی‌دار است و غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ حد وسط این دو قرار دارند. در مورد آلوئین، اختلاف بین غلظت ۵۰۰ و شاهد، همچنین ۲۰۰۰ و ۱۵۰۰ با یکدیگر معنی‌دار نیست و غلظت ۱۰۰۰ حد وسط قرار دارد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دما و غلظت سیلیسیم بر ترکیبات بیوشیمیایی

دما (°c)	سطح غلظت (ppm)	گلوکومانان (٪)	آلوئین (٪)
شاهد ۲۵ درجه گراد	۰	۰/۳۸^{c}	۱۰/۷۳ ^{b}
	۵۰۰	۰/۴۱^{b}	۱۰/۹۵ ^{b}
	۱۰۰۰	۰/۴۱^{ab}	۱۱/۱۰ ^{ab}
	۱۵۰۰	۰/۴۱^{ab}	۱۱/۲۸ ^{a}
	۲۰۰۰	۰/۴۲^{a}	۱۱/۴۵ ^{a}
تنش ۴ درجه سانتی گراد	۰	۰/۲۴^{d}	۴/۱۶ ^{c}
	۵۰۰	۰/۲۴^{d}	۴/۲۱ ^{c}
	۱۰۰۰	۰/۲۵^{d}	۴/۳۱ ^{c}
	۱۵۰۰	۰/۲۵^{d}	۴/۳۸ ^{c}
	۲۰۰۰	۰/۲۵^{d}	۴/۴۰^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

ایجاد شرایط مناسب رشد در دمای ۲۵°c و یون سیلیسیم توانست بر روی غلظت گلوکومانان تأثیر مثبتی داشته باشد. سیلیسیک‌اسید به دلیل داشتن فعالیت یونی زیاد Si و داشتن pH اسیدی می‌تواند در جذب بهتر عنصر سیلیسیم و تأثیرگذاری آن بر غلظت گلوکومانان تأثیر مثبتی داشته باشد. سیلیسیم با تأثیر بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاهان ازجمله فتوسنتز، تنفس می‌تواند شرایط تولید آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر مواد موجود در گیاه را بالابرده و در نتیجه گیاه را از پژمردگی ناشی تنش سرمایی محافظت نماید. منوز جزء پلی ساکارید های حلقوی با نام آلدوهگزوز است که در فرآیند گلیکوسیلیشن پروتئین‌های مختلف در ساخت آنزیم‌ها شرکت می‌کند. ین و همکاران (Yin *et al.*,

www.SID.ir

Archive of SID

(2013نشان دادند که افزودن سیلیسیم به سورگوم تحت تنش شوری می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی سطح ساکاروز و فروکتوز را افزایش دهد. بررسی این پژوهش نشان‌دهنده آن است که در شرایط دمایی سرد برای مدت ۳ ماه، گیاه با شرایط موجود سازگار شده و کلیه فرایندها و واکنش‌های آن به حداقل میزان ممکن رسیده است. در دمای ۴°c گیاه از ذخایر پلی ساکارید همچون منوز را مصرف کرده تا بتواند حداقل فتوسنتز و تنفس را داشته باشد و زنده بماند. مصرف سیلیسیم در این شرایط توانسته بر روی سیستم دفاعی تأثیرگذار بوده و تا حدودی اثر تنش را تعدیل کند که این خود منجر به بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه و درنهایت تأثیر بر غلظت منوز در گیاه شده است. در شرایط دمایی (۲۵°c) شرایط رشد مطلوب بوده و در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیک مانند فتوسنتز و تنفس در حالت ایده آل بوده است. سیلیسیم با تأثیر بر جذب آب، بهبود متعادل عناصر غذایی در گیاه و کمک به افزایش فتوسنتز توانسته بر غلظت منوز تأثیرگذار باشد. مطالعات متعدد نشان داده است که سیلیسیم می‌تواند بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر مثبت داشته باشد (Ahmed & Khurshid, 2011). سیلیسیم معمولاً به مقدار بهبود رشد و عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط تنش اعمال شود (Hattori *et al*., 2005). بیل و همکاران (Biel *et al*., 2008) نشان دادند که نقش حفاظتی سیلیسیم در گیاهان ممکن است با تجمع اسیدهای پلی سیلیسیمیک در داخل سلول در ارتباط باشد. سیلیسیم نقش بسیار مهمی در کاهش تنش‌های زیستی و غیر زیستی دارد (Richmond & Sussman., 2003). برخی گزارش‌ها وجود دارند که نشان می‌دهند سیلیسیم از طریق فرآیندهای دیگر مانند تجمع لیگنین، ترکیبات فنل و فیتوآلکسین ها می‌تواند مکانیسم‌های دفاعی محافظتی از گیاه را تقویت کند (Epstein, 1994). نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داده است که افزایش غلظت آنتراکینون و آلوئین می‌تواند دلیل بر تجمع لیگنین و ترکیبات فنل به هنگام مصرف سیلیسیم باشد. دمای ۲۵°c با ایجاد شرایط فتوسنتزی مناسب توانسته مقادیر بالاتری از مواد فنل آلوئین در گیاه تولید کند. سیلیسیم به‌عنوان یک عامل تجمع در دمای ۲۵°c سبب بالا رفتن غلظت آلوئین نسبت به دمای ۴°c شده است. سیلیسیم با تأثیر بر روی عملکرد فتوسنتز گیاه آلوئه ورا نقش تأثیرگذار خود را بر روی غلظت آلوئین نشان داده است. در دمای ۴°c سیلیسیم با تحریک سیستم دفاعی گیاه و افزایش توانایی گیاه در فتوسنتز توانسته نسبت به شاهد دارای افزایش غلظت آلوئین باشد.

به‌طور کلی ایجاد شرایط مناسب رشد در دمای ۲۵°c و یون سیلیسیم توانسته بر روی غلظت گلوکومانان تأثیر مثبتی داشته باشد. سیلیسیک‌اسید به دلیل داشتن فعالیت یونی زیاد Si و داشتن pH اسیدی می‌تواند در جذب عنصر سیلیسیم و تأثیرگذاری آن بر غلظت گلوکومانان تأثیر مثبتی داشته باشد. بررسی این پژوهش نشان‌دهنده آن است که در شرایط دمایی سرد برای مدت ۳ ماه، گیاه با شرایط موجود سازگار شده و کلیه فرایندها و واکنش‌های آن به حداقل میزان ممکن رسیده است. در دمای ۴°c گیاه از ذخایر پلی سا کارید همچون منوز را مصرف کرده تا بتواند حداقل فتوسنتز و تنفس را داشته باشد و زنده بماند. مصرف سیلیسیم در این شرایط توانسته بر روی سیستم دفاعی تأثیرگذار بوده و تا حدودی اثر تنش را تعدیل کند که این خود منجر به بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه و درنهایت تأثیر بر غلظت منوز در گیاه شده است. در شرایط دمایی متعادل (۲۵°c) شرایط رشد مطلوب بوده و درنتیجه فعالیت‌های بیولوژیک مانند فتوسنتز و تنفس در حالت ایده آل بوده است. سیلیسیم با تأثیر بر جذب آب، بهبود تعادل عناصر غذایی در گیاه و کمک به افزایش فتوسنتز توانسته بر غلظت منوز تأثیرگذار باشد. برخی گزارش‌ها وجود دارند که نشان می‌دهند سیلیسیم از طریق فرآیندهای دیگر مانند تجمع لیگنین، ترکیبات فنل و فیتوآلکسین ها می‌تواند مکانیسم‌های دفاعی محافظتی از گیاه را تقویت کند (Epstein, 1972). نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داده است که افزایش غلظت آنتراکینون و آلوئین می‌تواند دلیل بر تجمع لیگنین و ترکیبات فنل به هنگام مصرف سیلیسیم باشد. دمای ۲۵°c با ایجاد شرایط فتوسنتزی مناسب توانسته مقادیر بالاتری از مواد فنل آلوئین در گیاه تولید کند. سیلیسیم به‌عنوان یک عامل تجمع در دمای ۲۵°c سبب بالا رفتن غلظت آلوئین نسبت به دمای ۴°c شده است. سیلیسیم با تأثیر بر روی عملکرد فتوسنتز گیاه آلوئه ورا نقش تأثیرگذار خود را بر روی غلظت آلوئین نشان داده است. در دمای ۴°c سیلیسیم با تحریک سیستم دفاعی گیاه و افزایش توانایی گیاه در فتوسنتز توانسته نسبت به شاهد دارای افزایش غلظت آلوئین باشد. در دمای ۲۵°c شرایط رشدی و فتوسنتزی گیاه آلوئه ورا در حالت ایده‌آل بوده به‌طوری‌که تیمار سیلیسیم با تأثیر بر روی این صفات غلظت بیشتری از این مواد بیوشیمیایی را در گیاه آلوئه ورا سنتز و تولید کرده است.

بررسی همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده

به‌طورکلی همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در پایان فصل رشد، در دمای نرمال (شاهد) نسب به دمای تنش (۴°c) بیشتر و معنی‌دارتر بودند درحالی‌که در مورد همبستگی بین ترکیات گیاهی عکس این قضیه اتفاق افتاد. در بین ترکیبات گیاهی اندازه‌گیری شده در پایان فصل رشد، بیشترین همبستگی‌ها بین گلوکومانان و منوز (۰/۴۵) و آلوئین با منوز (۰/۷۱) مشاهده شد. بین کلیه صفات رویشی اندازه‌گیری شده با یکدیگر، به‌جز در مورد چگالی برگ، همبستگی، مستقیم و معنی‌دار وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

همبستگی چگالی برگ با سایر ویژگی‌های رویشی گیاه، معکوس می‌باشد. نتایج همبستگی بین صفات موردمطالعه نشان می‌دهد که بین سایر صفات همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد فقط رابطه وزن حجمی برگ با بقیه صفات رابطه منفی و معنی‌دار دارد.

جدول ۷- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در پایان فصل رشد مربوط به دمای نرمال ۲۵°c

	گلوکومونان (٪)	منوز (٪)	آلوئین (٪)	وزن ژل (gr)	وزن پوسته سبز برگ (gr)	طول برگ (cm)	وزن برگ (gr)	حجم برگ (cm^3)
منوز (٪)	*۰/۴۵							
آلوئین (٪)	ns۰/۲۸	**۰/۷۱						
وزن ژل (gr)	ns۰/۱۶	**۰/۴۷	**۰/۸۱					
وزن پوسته سبز برگ (gr)	*۰/۳۸	**۰/۶۱	**۰/۷۵	**۰/۶۸				
طول برگ (cm)	*۰/۴۴	**۰/۶۴	**۰/۸۵	**۰/۸۱	**۰/۶۵			
وزن برگ (gr)	ns۰/۲۲	**۰/۷۱	**۰/۹۰	**۰/۷۹	**۰/۷۳	**۰/۸۹		
حجم برگ (cm^3)	*۰/۳۴	**۰/۶۴	**۰/۹۳	**۰/۸۳	**۰/۷۶	**۰/۸۹	**۰/۹۶	
وزن حجمی برگ (gr/cm^3)	*۰/۳۶-	*۰/۴۲-	**۰/۶۲-	**۰/۴۸-	**۰/۵۵-	**۰/۷۶-	**۰/۷۰-	**۰/۸۴-

ns عدم معنی‌داری، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

جدول ۸- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در پایان فصل رشد مربوط به دمای محیط ۴°c

	گلوکومونان (٪)	منوز (٪)	آلوئین (٪)	وزن ژل (gr)	وزن پوسته سبز برگ (gr)	طول برگ (cm)	وزن برگ (gr)	حجم برگ (cm^3)
منوز (٪)	**۰/۶۱							
آلوئین (٪)	**۰/۷۷	**۰/۸۸						
وزن ژل (gr)	**۰/۶۵	**۰/۹۴	**۰/۹۰					
وزن پوسته سبز برگ (gr)	**۰/۶۲	**۰/۶۲	**۰/۷۶	**۰/۵۸				
طول برگ (cm)	**۰/۶۸	**۰/۷۷	**۰/۸۹	**۰/۸۰	**۰/۶۹			
وزن برگ (gr)	**۰/۷۶	**۰/۸۶	**۰/۹۴	**۰/۹۴	**۰/۶۹	**۰/۸۹		
حجم برگ (cm^3)	**۰/۷۲	**۰/۹۱	**۰/۹۵	**۰/۹۴	**۰/۷۰	**۰/۸۹	**۰/۹۶	
وزن حجمی برگ (gr/cm^3)	**۰/۵۳-	**۰/۸۰-	**۰/۸۳-	**۰/۷۱-	**۰/۷۶-	**۰/۷۵-	**۰/۷۰-	**۰/۸۴-

ns عدم معنی‌داری، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی می‌توان گفت در زمان تنش دمایی، گیاه با افزایش آنزیم‌ها می‌تواند تأثیر نامطلوب تنش‌های سرمایی را تعدیل کند. افزایش ناگهانی شدت فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در شرایط تنش سرمایی خود نشان‌دهنده تأثیر فعالیت یون سیلیسیم بر آنزیم‌های ذکرشده است؛ بنابراین استفاده از کودهای حاوی سیلیسیم قادر خواهد بود مقاومت گیاه به سرما را افزایش دهد. در دمای ۲۵°c و رشد بهینه گیاه تیمارهای کودی توانسته‌اند بر غلظت وزن ژل برگ و وزن برگ نتیجه مثبتی داشته که این امر نشان‌دهنده تأثیر سیلیسیم بر تغذیه متعادل و تأثیر آن بر کمیت و کیفیت محصول تولیدی است. آنچه مسلم است استفاده از تیمارهای کودی حاوی سیلیسیم چه در زمان تنش دمایی و چه در زمان رشد ایده آل گیاه تأثیر بسیار خوبی بر روی حداکثر رشد فیزیولوژیک و بیولوژیکی از خود نشان داده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌منظور رشد بهینه گیاه آلوئه ورا از کود سیلیسیم در برنامه غذایی گیاه استفاده گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Adam, S., & Murthy, S. D. S. (2014). Effect of cold stress on photosynthesis of plants and possible protection mechanisms. In Approaches to Plant Stress and their Management (pp. 219-226). Springer, New Delhi.

Agarie, S., Agata, W., Kubota, F., & Kaufman, P. B. (1992). Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice [Oryza sativa] plants, 1: Effects of silicon and shading treatments. Japanese Journal of Crop Science (Japan).

Ahmed, M., & Khurshid, Y. (2011). Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum?. Agricultural water management, 98(12), 1808-1812.

Alexandre, A., Meunier, J. D., Colin, F., & Koud, J. M. (1997). Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *61*(3), 677-682.

Bartoli, F. (1985). Crystallochemistry and surface properties of biogenic opal. *Journal of soil science*, *36*(3), 335-350.

Biel, K. Y., Matichenkov, V. V., & Fomina, I. R. (2008). Protective role of silicon in living systems. *Functional Foods for Chronic Diseases*.

www.SID.ir

Archive of SID

(Ed. DM Martirosyan). D and A Inc., Richardson Press, Dallas, USA.

Blecker, S. W., McCulley, R. L., Chadwick, O. A., & Kelly, E. F. (2006). Biologic cycling of silica across a grassland bioclimosequence. *Global Biogeochemical Cycles*, *20*(3).

Brahma, R., Ahmed, P., & Choudhury, M. (2020). Silicon nutrition for alleviation of abiotic stress in plants: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(4), 1374-1381.

Cavallini, A., Natali, L., & Sanchez, I. C. (1991). Aloe barbadensis Mill. (= A. vera L). In Medicinal and Aromatic Plants III (pp. 95-106). Springer, Berlin, Heidelberg.

Cornelis, J. T., Ranger, J., Iserentant, A., & Delvaux, B. (2010). Tree species impact the terrestrial cycle of silicon through various uptakes. *Biogeochemistry*, *97*(2-3), 231-245.

Emam, Y., Karimzadeh, S. H., Moori, S., & Maghsoudi, K. (2013). Biochemical responses of two wheat cultivars to late season drought stress and auxin and cytokinin application. (In Farsi).

Epstein, E. (1972). Mineral nutrition of plants: principles and perspectives.

Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *91*(1), 11-17.

Ginnopolitis, C. N., & Rice, S. K. (1977). Superoxide dismutase purification and quantitative relationship with water soluble protein in seedling. *Plant Physiol*, *59*, 315-318.

Grindlay, D., & Reynolds, T. (1986). The Aloe vera phenomenon: a review of the properties and modern uses of the leaf parenchyma gel. *Journal of ethnopharmacology*, *16*(2-3), 117-151.

Gunes, A., Pilbeam, DJ., Inal, A., Coban, S. (2008) Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. Commun Soil Sci Plant Anal 39:1885–1903.

Habibi, G. (2019). Effects of chilling and high light stress on phenolic metabolism and antioxidant activity of Aloe vera L. plants. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(29), 139-149.

Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxová, M., & Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiologia Plantarum*, *123*(4), 459-466.

Hodson MJ, White PJ, Mead A, Broadley MR (2005) Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Ann Bot 96:1027–1046.

Joudmand, A., & Hajiboland, R. (2019). Silicon mitigates cold stress in barley plants via modifying the activity of apoplasmic enzymes and concentration of metabolites. Acta Physiologiae Plantarum, 41(2), 29.

Kim, Y. H., Khan, A. L., Hamayun, M., Kang, S. M., Beom, Y. J., & Lee, I. J. (2011). Influence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of Oryza sativa L. under wounding stress. *Biological Trace Element Research*, *144*(1-3), 1175-1185.

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental pollution*, *147*(2), 422-428.

Lucas, Y., Luizao, F. J., Chauvel, A., Rouiller, J., & Nahon, D. (1993). The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. *Science*, *260*(5107), 521-523.

Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in plant science*, *11*(8), 392-397.

Ma, J. F., Goto, S., Tamai, K., & Ichii, M. (2001). Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. *Plant Physiology*, *127*(4), 1773-1780.

Ma, J. F., Miyake, Y., & Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. In Studies in plant Science (Vol. 8, pp. 17-39). Elsevier.

Makabe, S., Kakuda, K. I., Sasaki, Y., Ando, T., Fujii, H., & Ando, H. (2009). Relationship between mineral composition or soil texture and available silicon in alluvial paddy soils on the Shounai Plain, Japan. Soil science and plant nutrition, 55(2), 300-308.

Matichenkov V.V., Y.M. Ammosova, E.A. bocharnikova. 1997. The method for detemination of plant – available silica in soil. Agrochemistry 1:76-87.

Meyer, J. H., & Keeping, M. G. (2001). Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. *Silicon in Agriculture*, *8*, 257-275.

Nayyar, H., & Walia, D. P. (2003). Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biologia Plantarum*, *46*(2), 275-279.

Ni, Y., & Tizard, I. R. (2004). Analytical methodology: the gel-analysis of aloe pulp and its derivatives (pp. 111-126). CRC Press: Boca Raton.

Qian, Z. Z., Zhuang, S. Y., Li, Q., & Gui, R. Y. (2019). Soil Silicon Amendment Increases Phyllostachys praecox Cold Tolerance in a Pot Experiment. Forests, 10(5), 405.

Reynolds, O. L., Keeping, M. G., & Meyer, J. H. (2009). Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. *Annals of applied biology*, *155*(2), 171-186.

Richmond, K. E., & Sussman, M. (2003). Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current opinion in plant biology*, *6*(3), 268-272.

Sojka, R. E. (1988). Measurement of root porosity volume of root air space. Environmental and experimental botany, 28(4), 275-280.

Surjushe, A., Vasani, R., & Saple, D. G. (2008). Aloe vera: a short review. *Indian journal of dermatology*, *53*(4), 163.

Xu, C. X., Ma, Y. P., & Liu, Y. L. (2015). Effects of silicon (Si) on growth, quality and ionic homeostasis of aloe under salt stress. South African Journal of Botany, 98, 26-36.

Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K., & Oka, M. (2013). Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of Sorghum bicolor. Acta Physiologiae Plantarum, 35(11), 3099-3107.

www.SID.ir