تعدیل تنش خشکی: مطالعه اثر کاربرد برگی سیلیکون بر تنش خشکی با تاکید بر پسته

طاهره یوسفی، محمودرضاروزبان*، ساسان علی نیائی فرد، سعادت ساریخانی
گروه باغبانی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران
*نویسنده مسئول: mroozban@ut.ac.ir

چکیده
تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد و باردهی درختان میوه محسوب می‌شود. این تنش، واکنش-های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی درختان را تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد. ضمن آنکه سبب کاهش نرخ فتوسنتز، کاهش محتوای کلروفیل، صدمه به ساختارهای فتوسنتزی و همچنین تحریک ساخته شدن گونه‌های واکنشگر اکسیژن (ROS) در سلول‌ها می‌شود. سیلیکون به عنوان دومین عنصر فراوان موجود در پوسته کره زمین، نقش بسیار زیادی در فرآیندهای فیزیکوشیمیایی گیاه به ویژه تحت شرایط تنش دارد. مطالعات متعددی اثرات مثبت سیلیکون در تعدیل تنش خشکی در درختان میوه و خشک‌میوه‌ها از جمله پسته را تایید می‌کند. مطالعات صورت گرفته روی دانهال‌های پسته نشان می‌دهد که سیلیکون باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم‌هایی پاداکساینده‌ای همچون کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، گایاکول پراکسیداز (GPX) و آلترناتیو اکسیداز (AOX) تحت شرایط تنش خشکی می‌شود و فعالیت این آنزیم‌ها به نوبه خود باعث کاهش ROS و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و ناپایداری غشاءهای سلولی می‌شود. به‌علاوه، سیلیکون با بهبود کارایی مصرف آب (WUE)، نرخ جذب و تحلیل خالص گیاه را در شرایط تنش خشکی حفظ کرده و با افزایش استحکام دیواره سلولی، سبب تعدیل اثرات منفی تنش خشکی می‌گردد. در مجموع، با توجه به وجود تنش‌های خشکی در بسیاری از مناطق پسته‌کاری کشور، به نظر می‌رسد کاربرد خارجی سیلیکون به صورت محلول‌پاشی در فصل رشد می‌تواند یک راهکار به زراعی مطلوب در حفظ رشد و عملکرد درختان پسته تحت شرایط تنش خشکی باشد.

کلمات کلیدی: تنش اکسیداتیو، گونه‌های فعال اکسیژن، تنش خشکی، آنزیم‌های پاداکساینده، فتوسنتز

مقدمه
تنش‌های غیر زیستی به ویژه خشکی و شوری تأثیر زیادی بر رشد و عملکرد گیاهان بر جای می‌گذارند (Mantri *et al.*, 2012) گزارش شده که بالغ بر ۵۰ درصد کاهش عملکرد محصولات کشاورزی به‌طور مستقیم نتیجه‌ی تنش‌های غیر زیستی از جمله خشکی می‌باشد (Acquaah, 2012). بر اساس آمارهای سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO)، ۴۰ درصد از زمین‌های جهان تحت تأثیر خشکی و شوری هستند. به طوریکه تنش خشکی به عنوان یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید درختان میوه در مناطق نیمه‌خشک از جمله ایران، واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی درختان را تحت تاثیر قرار داده و ازاین طریق باعث کاهش شاخص‌های رشدی (سطح برگ، حجم تاج، وزن اندام هوایی و ریشه، ارتفاع و قطر ساقه، طول میانگره، رشد و تراکم ریشه)، عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت مرگ گیاه می‌شود (Allen *et al.*, 2015; Thomas and Gusling, 2000). طی تنش خشکی و به دنبال کاهش معنی‌دار فتوسنتز به واسطه کاهش ورود CO_2 و نیز کاهش جذب آب (Choat *et al.*, 2012)، شاهد برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک از قبیل بهبود کارایی مصرف آب، تنظیم تعرق، افزایش محتوای پرولین و پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده خواهیم بود (Bandurska and Cieslak, 2012).

از طرفی تنش خشکی باعث تجمع گونه‌های واکنشگر اکسیژن (ROS) به ویژه در کلروپلاست و میتوکندری، و آسیب به غشاء دراثر پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد (Gill and Tuteja, 2010; Mascher *et al.*, 2005). گونه‌های واکنشگر اکسیژن به‌طور ذاتی با بسیاری از مولکول‌های سلولی واکنش نشان داده و سبب ایراد خسارت به غشاء و سایر بزرگ

IrHC2019

ملکول‌های ضروری سلول از جمله رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (Gill and Tuteja, 2010)؛ بنابراین تولید آنها در شرایط طبیعی بایستی از طریق سیستم‌های پاداکساینده آنزیمی و غیر آنزیمی کنترل شود.

گیاهان با ایجاد سازوکارهای حفاظتی از جمله تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین و قندهای محلول (Tian and Li, 2006) و فعال‌سازی سیستم‌های پاداکساینده آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز، آلترناتیو اکسیداز و غیره) و غیرآنزیمی (کارتنوئیدها، توکوفرول‌ها و ترکیبات فنلی)، معمولا سطوح گونه‌های واکنشگر اکسیژن را در سلول در حد متعادل نگه داشته و از این طریق مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند (AL-Aghabary *et al.*, 2004). گزارش شده است که عنصر سیلیکون با کاهش سطح ROSها در گیاه و جلوگیری از تنش اکسیداتیو، نقش به سزایی در تعدیل اثر تنش خشکی دارد (Epstein, 1994).

سیلیکون (Si)، به عنوان دومین عنصر فراوان (۲۸٪) موجود در پوسته کره زمین، به فرم مونوسیلسیک اسید در مقادیر مختلفی توسط ریشه گیاهان جذب شده و از طریق آوند چوبی به ساقه انتقال می‌یابد (Artyszak, 2018; Ma and Yamaji,2006). اگر چه این عنصر از عناصر ضروری برای گیاهان محسوب نمی‌شود؛ ولی برای رشد و نمو گیاهان عالی به‌ویژه تحت شرایط تنشی مفید گزارش شده است؛ تا آنجا که برخی پژوهشگران معتقدند این عنصر بایستی یک عنصر ضروری برای رشد گیاه در نظر گرفته شود (Epstein,1994). میزان تجمع آن درگیاه بسته به گونه گیاهی، به طور قابل توجهی از یک تا ۱۰درصد وزن خشک گیاه متفاوت است (Mimmo *et al.*, 2012).

مکانیسم اثر سیلیکون بر تعدیل تنش خشکی

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که کاربرد سیلیکون از طریق افزایش نرخ فتوسنتز، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه، بهبود جذب عناصر غذایی، استحکام بافت گیاه و در نهایت کاهش میزان تعرق، تحمل گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش می‌دهد. تاثیر این عنصر در افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های شیمیایی (شوری، سمیت فلزات سنگین، عدم تعادل غذایی) و فیزیکی(خشکی، سرما، گرما و اشعه ماورابنفش) نیز به اثبات رسیده است (Ma and Yamaji, 2006; Ma *et al.*, 2001; Rizwan *et al.*, 2015).گانگ و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردندکه تحت شرایط تنش خشکی، سیلیکون باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده (SOD، CAT و GR) می‌شود. ایشان گزارش کرد که تنش خشکی منجر به افزایش میزان H2O2 و دیگر گونه‌های واکنشگر اکسیژن می‌گردد، در حالیکه سیلیکون فعالیت H2O2 و خسارات ناشی از تنش اکسیدکننده را کاهش می‌دهد (Gong *et al.*, 2005). گانز و همکاران (Gunes *et al.*, 2007) اثرات سیلیکون بر میزان فعالیت سیستم پاداکساینده آنزیمی و غیرآنزیمی گیاه اسفناج تحت تنش خشکی بررسی نموده و گزارش کردند که فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در حضور سیلیکون افزایش و فعالیت ROSهاکاهش می‌یابد.

یکی دیگر از مکانیسم‌های اثر مثبت سیلیکون در افزایش مقاومت گیاه نسبت به تنش‌های محیطی مربوط به رسوب آن در دیواره سلول‌های ریشه، برگ‌ها، ساقه و پوست است. کمبود آب سبب بسته‌شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز می‌گردد. سیلیکون با کاهش تعرق، تنش خشکی را کاهش می‌دهد. اساساً تعرق برگ‌ها از طریق روزنه‌ها و تا حدودی کوتیکول صورت می‌گیرد. از آنجایی که سیلیکون سیلیکون به فرم سیلیس در آپوپلاست دیواره سلولهای زیر کوتیکول برگ ته‌نشین می‌شود، یک بخش دو لایه‌ای سیلیکون- کوتیکول در این قسمت تشکیل می‌شود که سبب استحکام بافت و کاهش تعرق از کوتیکول می‌گردد (Ma and Yamaji, 2006).

زمانی که دیواره سلولی سخت‌تر می‌شود، در اثر پسابیدگی برگ، کاهش بیشتری در پتانسیل آب اتفاق می‌افتد. بنابراین در محتوای نسبی آب مورد نظر، شیب پتانسیل آبی از برگ تا خاک تحت تیمار سیلیکون در مقایسه با تیمار شاهد منفی‌تر است. در نتیجه در این حالت گیاه برای گسترش شیب مورد نیاز جهت تامین آب از خاک خشک به تعرق

IrHC2019

کمتری نیاز دارد. همچنین سیلیکون با رسوب در دیواره خارجی سلول‌های اپیدرم برگ، میزان کاهش آب از طریق روزنه‌ها را تقلیل داده و در حد متعادل نگه می‌دارد و از این طریق مانع تنش اکسیداتیو می‌شوند (AL-Aghabary *et al.*, 2004).

از طرفی، رسوب سیلیکون در ریشه سبب کاهش جریان آپوپلاستی می‌گردد و در نتیجه جذب و انتقال فلزات سنگین و نمک‌ها را از طریق ریشه و ساقه کاهش می‌دهد. متقابلاً رسوب سیلیکون در ساقه، برگ‌ها و پوست استحکام و سختی دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Ma andYamji, 2006).

نقش سیلیکون بر بهبود تنش خشکی

مطالعه اثر کاربرد خارجی سیلیکون خارجی در تعدیل تنش‌های خشکی و شوری، از دو دهه گذشته به این سو آغاز شده است (Artyszak, 2018)؛ اما این مهم به دلیل کارایی پایین جذب سیلیسیم توسط ریشه‌های گونه‌های دولپه، تا به امروز عمدتاً محدود به گونه‌های علفی تک‌لپه‌ای به ویژه برنج بوده است. با این حال، مطالعات اندکی نیز روی درختان میوه انجام شده است. علاوه بر آن، گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر سیلیکون بر کنترل بیماری‌های درختان میوه از جمله کنترل بیماری گموز پسته (Mostowfizadeh *et al.*, 2017)، افزایش مقاومت توت‌فرنگی به بیماری سفیدک پودری در نتیجه کاهش جوانه‌زنی، تشکیل آپرسوریوم و نفوذ قارچ (Hajiboland *et al.*, 2018) وجود دارد.

گزارش شده است که استفاده از تیمار سیلیکون در پسته رقم احمدآقایی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک و محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی می‌شود. کاربرد خارجی سیلیکون در پسته تحت شرایط تنش خشکی سبب بهبود عملکرد کارائی فتوشیمیایی فتوسیستم II، حفظ نرخ اسیمیلاسیون خالص و افزایش هدایت روزنه‌ای شد. به‌علاوه، این تیمار، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها گردید (Habibiand Hajiboland, 2013). بر این اساس می‌توان گفت که سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش میزان ROS در سلول‌های گیاهی موجب حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (Epstein, 1994). نتایج مشابهی در کاربرد خارجی سیلیکات پتاسیم در بهبود خصوصیات رشدی انبه تحت شرایط تنش خشکی گزارش نیز شده است (Helaly *et al.*, 2017).

گزارش شده است که مکانیسم ایجاد مقاومت به تنش شوری در نتیجه کاربرد خارجی سیلیکون تا حدودی مشابه با تنش خشکی است. کاربرد سیلیکون خارجی در پسته رقم احمد آقایی، از طریق از بهبود کارآیی مصرف آب، حفظ یکپارچگی غشاء، افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، سبب افزایش مقاومت به تنش دمای پایین (یخ زدگی) نیز می‌شود (Habibi, 2015). رنجبر کبوترخانی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیسیم بر رشد رویشی دانهال پسته رقم بادامی زرند گزارش کردند که کاربرد سیلیکات پتاسیم سبب بهبود معنی‌دار پارامترهای رشدی و میزان کلروفیل برگ دانهال پسته نسبت به تیمار شاهد تحت شرایط تنش شوری شد. همچنن حبیبی و همکاران (۲۰۱۴) گزاش کردند که کاربرد خارجی سیلیکون در شرایط تنش شوری ۱۵ دسی زیمنس بر متر مربع، باعث تعدیل اثر منفی تنش شوری بر رشد گیاه پسته شد.

مکانیسم‌های مختلفی در کاهش تنش شوری در پسته در نتیجه کاربرد خارجی سیلیکون وجود دارد که می‌توان به نرخ بالای تثبیت CO_2، افزایش کارایی مصرف آب (WUE)، سطح بالایی از فعالیت آنزیم SOD، کاهش غلظت کل Na و کاهش تخصیص Na در سیتوزول اشاره کرد. علاوه بر آن، حفظ یکپارچگی غشاء به عنوان پاسخ دفاعی فعال آنتی اکسیدانی و افزایش غلظت کلسیم برگ از دیگر مکانیسم‌های بهبود مقاومت گیاه پسته به تنش شوری در نتیجه کاربرد خارجی سیلیکون بود (Habibi *et al.*, 2014).

IrHC2019

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع بر اساس نتایج تحقیقات بدست آمده، می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که کاربرد خارجی سیلیکون از طریق چند مکانیسم اساسی سبب تعدیل اثر تنش‌های غیر زیستی به ویژه خشکی و شوری در پسته می‌شود. افزایش محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی (پرولین و گلایسین بتائین) و در نتیجه حفظ تعادل آبی سلول و جلوگیری از کاهش کارایی مصرف آب، ایجاد پتانسیل اسمزی منفی به سمت برگ در نتیجه رسوب سیلیکون در دیواره سلولی برگ‌ها، حفظ نره اسیمیلاسیون خالص گیاه، بهبود هدایت روزنه‌ای، حفظ فعالیت فتوسنتزی، افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده و کاهش محتوای رادیکال‌های آزاد در سلول، پایداری غشاء سلولی و افزایش استحکام بافت از طریق رسوب سیلیکون در دیواره سلولی از جمله مکانیسم‌های سیلیکون در تعدیل تنش خشکی در درختان میوه به ویژه پسته می‌باشد.

منابع

رنجبر کبوترخانی، م.، اسمعیلیزاده، م.، کریمی، ح.ر. و شمشیری، م.ج. ۱۳۹۳. مطالعه اثر محلول پاشی عناصر سیلیسیم و پتاسیم بر رشد رویشی دانهالی پسته رقم بادامی ریز در شرایط تنش شوری. اولین همایش ملیپسته ایران، کرمان، پژوهشکده باغبانی دانشگاه شهید باهنر، موسسه تحقیقات پسته کشور، ایران.

Acquaah, G. 2012. Principles of plant genetics and breeding. 2 eds. John Wiley & Sons.

AL-Aghabary, K., Zhujun, Z. and Qinhua, S. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal Plant Nutrition 27: 2101-2115.

Allen, C.D., Breshears, D.D. and McDowell, N.G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. Ecosphere, 6(8): 1-55.

Artyszak, A. 2018. Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality-A Literature Review in Europe. Plants, 7(3): 54.

Bandurska, H. and Cieślak, M. 2013. The interactive effect of water deficit and UV-B radiation on salicylic acid accumulation in barley roots and leaves. Environmental and Experimental Botany; 94: 9-18.

Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S.J., Feild, T.S., Gleason, S.M., Hacke, U.G. and Jacobsen, A.L. 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought.Nature,491(7426), p.752.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 91: 11-17.

Gill, S. S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48:909-930

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and 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. and Pilbeam, D.J., 2007. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. Plant and Soil, 290 (1-2): 103-114.

Habibi, G. and Hajiboland, R. 2013.Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (*Pistaciavera* L.) plants. Folia Horticulturae 25(1): 21-29.

Habibi, G., 2015. Exogenous silicon leads to increased antioxidant capacity in freezing-stressed pistachio leaves. Acta agriculturaeSlovenica, 105(1): 43-52.

Habibi, G., Norouzi, F. and Hajiboland, R., 2014. Silicon alleviates salt stress in pistachio plants. Progress in Biological Sciences, 4(2): 189-202.

Hajiboland, R., Moradtalab, N., Aliasgharzad, N., Eshaghi, Z. and Feizy, J. 2018. Silicon influences growth and mycorrhizal responsiveness in strawberry plants. Physiology and Molecular Biology of Plants, 24(6): 1103-1115.

Helaly, M.N., El-Hoseiny, H., El-Sheery, N.I., Rastogi, A. and Kalaji, H.M. 2017. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. Plant physiology and biochemistry; 118: 31-44.

IrHC2019

Ma, J.F. and Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends in Plant Science, 11 (8): 397-392.

Ma, J.F., Miyake, Y., Takahashi E. 2001. "Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff L.E.,Noc tor G., Veljvoic-Jovanovic S., Snyder G.H., Korndorfer G.H. (eds):Silicon in Agriculture. Studies in Plant Science". Elsevier Science, Amsterdam, 8, 17–39.

Mantri, N., Patade, V., Penna, S., Ford, R. and Pang, E. 2012. Abiotic stress responses in plants: present and future. In Abiotic Stress Responses in Plants (pp. 1-19). Springer New York.

Mascher, R., Nagy, E., Lippmann, B., Hornlein, S., Fischer, S., Scheiding, W., Neagoe, A. and Bergmann, H. 2005. Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeumvulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure. Plant Science, 168(3), pp.691-698.

Mimmo, T., Scampicchio, M., Dalla Costa, L. and Cesco, S. 2012. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (*Valerianellalocusta* (L.) Laterr) plants. Plant Physiology and Biochemistry, 56: 14-23.

Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., Hussaini, K. and Ghasemi-Fasaei, R. 2017. Activity of two silicon salts in controlling the pistachio gummosis-inducing pathogen, Phytophthora pistaciae. *Australasian Plant Pathology*, *46*(4), pp.323-332.

Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F. and Abbas, F. (2015) Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. Environmental Science and Pollution Research; 22(20): 15416-15431

Taiz, L and Zeiger, E. 2003. Plant physiology, 3rd eds, Sinauer Associates, Sunderland, Mass. pp: 690.

Thomas, F. M. and Gausling, T. 2000. Morphological and physiologica responses of oak seedlings *Quercuspetraea*and *Q. robur*) to moderate drought. Annals of Forest Science, 57: 325–333.

Tian, X. and Li, Y. 2006. Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum .50: 775-778.

Alleviation of Drought Stress: Study of the Effect of Foliar Application of Silicon on Drought Stress with Emphasis on Pistachio

Tahereh Yousefi, Mahmoud Reza Roozban*, Sasan Aliniaeifard, Saadat Sarikhani
Department of Horticulture, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
**Corresponding author: mroozban@utac.ir*

Abstract

Drought stress as one of the important limiting factors of the growth and yield of fruit trees. This stress affects the physiological and biochemical reactions of fruit trees, thereby decreasing fruit yield and quality. In addition, drought stresses reduce plant growth rate by reducing photosynthesis rate, stomatal conduction, chlorophyll content and damaging to photosynthetic structures and also stimulation of the production of reactive oxygen species (ROS). Silicon as the second most abundant element in the soil, plays a key role in physicochemical processes of the plant, especially under stress conditions. Several studies have confirmed the positive effects of silicon on drought stress in fruit and nut trees including pistachio. Studies on pistachio seedlings showed that the application of exogenous silicon increases the activity of antioxidant enzymes including catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), superoxide dismutase (SOD), guaiacol peroxidase (GPX) and alternative oxidase (AOX) under drought stress conditions and thus reduce ROS concentration, lipid peroxidation and instability of cell membrane. In addition, silicone maintain net assimilation rate under drought stress condition by improving the WUE, stomatal conductance and photosynthesis rate. Also, drought stress alleviates the negative effects of drought stress by increasing cell membrane stability and cell wall strength. In general, due to the presence of drought stress in a large part of Iran which cultivate pistachio, it seems that the exogenous application of silicon can be considered as a management approach in improving growth rate and yield of pistachio trees under drought stress.

IrHC2019

Keywords: Oxidative stress, Reactive oxygen species (ROS), Drought stress, Antioxidant enzymes, Photosynthesis.

11th IrHC 2019
IrHC2019