Archive of SID

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و ششم، شماره دوم، ۱۳۹۸
۱۱۵-۱۲۶
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2019.14731.2319

پارامترهای فیزیولوژیک گیاه کنجد تحت‌تأثیر تنش شوری و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن

مهشید اخلاص‌پور[۱]، *اصغر رحیمی[۲]، شهاب مداح‌حسینی[۲] و احمد تاج‌آبادی‌پور[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد زراعت، گروه زارعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران،
[۲]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران،
[۳]دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: شوری تأثیر قابل‌توجهی بر تولیدات کشاورزی دارد. شوری خاک ناشی از فرآیندهای طبیعی یا آبیاری محصول با آب شور، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران رخ می‌دهد. کنجد با نام علمی *Sesamum indicum* L. متعلق به خانواده پدالیاسه (Pedaliaceae) و یکی از گیاهان دیرینه زراعی و با ارزش است. سطح زیر کشت کنجد در ایران و جهان به‌ترتیب در حدود ٦٥٠٠ و ٤٢ هزار هکتار است. از آن‌جا که کشور ما از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارد، از این‌رو شوری خاک و آب آبیاری یکی از مشکلات عمده در زراعت کشور است. یکی دیگر از عوامل محدودکننده تولید محصول در مناطق گرم و خشک، گرم شدن هواست که پدیده‌ای جهانی بوده که ناشی از افزایش ممتد گازهای گلخانه‌ای مانند گاز دی‌اکسیدکربن و حاصل مصرف رو به ازدیاد سوخت‌های فسیلی، از بین رفتن جنگل‌ها و برخی فعالیت‌های منجر به توسعه در زندگی بشر است. با توجه به افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای و اهمیت کاشت کنجد در شرایط تنش‌زا، این آزمایش با هدف بررسی تحمل گیاه کنجد در شرایط شور و افزایش دی‌اکسیدکربن انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن و هم‌چنین تأثیر تنش شوری بر رشد و عملکرد گیاه کنجد در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، در سال ۱۳۹۵ در اتاقک رشد اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. بستر مورد استفاده جهت کاشت خاک بوده و مقدار ۲ کیلوگرم خاک درون هر گلدان ریخته شد. تیمارها در این آزمایش شامل تنش شوری در سه سطح (۰، ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) از طریق کاربرد کلرید سدیم و تغلیظ CO_2 در دو سطح (۳۸۰ و ppm ۷۰۰) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش دی‌اکسیدکربن، محتوای پرولین و قندهای محلول تحت‌تأثیر دی‌اکسیدکربن قرار گرفتند به‌طوری‌که میزان پرولین در برگ از ۰/۲۸ میلی‌مول بر گرم وزن تازه در دی‌اکسیدکربن محیط به ۰/۰۸ میلی‌مول بر گرم وزن تر در تیمار غلظت دی‌اکسیدکربن (۷۰۰ پی‌پی‌ام) رسید. آنزیم پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز تحت‌تأثیر برهمکنش شوری و دی‌اکسیدکربن قرار گرفتند. عنصر سدیم ریشه نیز با افزایش دی‌اکسیدکربن کاهش یافت و با افزایش تنش شوری پتاسیم اندام هوایی کاهش یافت.

* مسئول مکاتبه: rahimiasg@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش دی‌اکسیدکربن در شرایط تنش شوری، محتوای سدیم ریشه کاهش یافتند. محتوای قندهای محلول و پرولین نیز تحت‌تأثیر دی‌اکسیدکربن کاهش یافتند. اگرچه افزایش تنش شوری، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیالیاز را نشان داد ولی شوری بالا منجر به کاهش محتوای پتاسیم اندام هوایی گردید. در مجموع اثر مثبت و قابل‌توجهی از افزایش دی‌اکسیدکربن بر رشد رویشی و افزایش تحمل گیاه کنجد نسبت به تنش شوری دیده شد. به‌طورکلی نتایج بررسی حاضر نشان داد که گیاه کنجد به سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن واکنش نشان می‌دهد و از این پارامترها و روابط به‌دست آمده می‌توان برای پیش‌بینی آزمایش‌هایی در سطوح بالاتر دی‌اکسیدکربن استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تغلیظ دی‌اکسیدکربن، تنش شوری، رشد، کنجد

مقدمه

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) متعلق به خانواده پدالیاسه (*Pedaliaceae*) و یکی از گیاهان دیرینه زراعی و با ارزش است. از حدود ۲۰ گونه وحشی Sesamum که در آسیا و آفریقا کشت می‌شوند، گونه هندی از دیدگاه اقتصادی از ارزش بالایی برخوردار است (۲۲). سطح زیر کشت کنجد در ایران و جهان به‌ترتیب در حدود ٦٥٠٠ و ٤٢ هزار هکتار است (٣٤). کیفیت برتر روغن کنجد، که توسط اسیدهای چرب اشباع و هم‌چنین فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی منحصر به فرد نسبت داده شده، آن را در میان سایر محصولات زراعی دانه روغنی متمایز کرده است (۳۰ و ۲۲). کنجد گیاهی گرمادوست و سازگار با نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیاست که طی دوره رشد، نیاز به هوای آفتابی و صاف دارد (٢٦ و ٢٩). به‌دلیل سازگاری گیاه کنجد با اقلیم‌های مختلف و تحمل این گیاه در مقابل شرایط نامساعد محیطی، آزمایش‌های مختلفی برای گسترش کشت آن صورت می‌گیرد. از جمله عوامل محدودکننده رشد گیاه، تنش شوری است. شوری آب و خاک به‌عنوان یک عامل محدودکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌حساب می‌آید. خاک‌های شور عمدتاً در دو ناحیه ساحلی و مناطقی با بارندگی کم مشاهده می‌شوند (۲۲). شور شدن زمین‌های کشاورزی در حال افزایش است و عملکرد گیاهان زراعی را از طریق به‌تعویق انداختن بروز صفات فیزیولوژیک و ظهور علائم پژمردگی در برگ کاهش می‌دهد (۲۸ و ۹). شوری پتانسیل آب محیط ریشه را کاهش داده و سبب کم‌شدن توان جذب آب گیاه می‌شود به‌علاوه با افزایش شوری در محیط ریشه، جذب و انتقال یون‌های سمی به بافت‌های گیاه افزایش می‌یابد که کاهش جذب عناصر ضروری، بهم‌خوردن توازن یونی و سمیت ناشی از انباشتگی یون‌های سدیم وکلر و کاهش میزان کلسیم و نیترات در دسترس گیاه را به‌دنبال دارد. علاوه بر این، در بسیاری از فرایندهای گیاهی مانند توسعه جنین، جوانه‌زنی بذر، بلوغ میوه و تکامل دانه اختلال ایجاد می‌کند (۳۳). برای نمونه آزمایشی برای بررسی تحمل ارقام جو به تنش شوری صورت گرفت که ارقام جو را در ۱۸ لاین تحت تنش شوری کشت کردند. مشاهده شد که در بین آن‌ها صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله بین لاین‌ها دارای اختلاف معنی‌داری است (٦). همچنین در پژوهشی دیگر اثر تنش شوری بر گیاه آمارانتوس زینتی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه و سطح برگ به‌ترتیب ٦٠، ٣٤ و ٨٠ درصد کاهش یافت.

www.SID.ir

Archive of SID

گرم شدن هوا یک پدیده جهانی است که ناشی از افزایش ممتد گازهای گلخانه‌ای مانند گازکربنیک در جو و حاصل مصرف رو به ازدیاد سوخت‌های فسیلی، از بین رفتن جنگل‌ها، چرای بی‌رویه مراتع، تغییر کاربری و برخی فعالیت‌های منجر به توسعه در زندگی بشر است (۲). تولید گازهای گلخانه‌ای در دوران انقلاب صنعتی به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت، به‌طوری‌که غلظت دی‌اکسیدکربن از ۲۸۰ppm قبل از انقلاب صنعتی به ۳۸٦ ppm در سال ۲۰۰٦ رسید که این باعث افزایش دمای محیط و نیز باعث ایجاد تغییراتی در رشد و نمو گیاهان شد (۱۱). دی‌اکسیدکربن مهم‌ترین گازی است که از طریق اثر گلخانه‌ای در چند دهه گذشته محیط زیست را تحت‌تأثیر قرار داده است. تثبیت شیمیایی دی‌اکسیدکربن به‌منظور کاهش غلظت CO_2 در اتمسفر کمک خواهد کرد و ماده جایگزین خود را به‌عنوان یک ماده خام کربن برای تولید ترکیبات آلی مورد استفاده قرار می‌دهد (۲ و ۱٦). برای نمونه آزمایشی با افزایش دی‌اکسیدکربن بر گیاه کنجد انجام شد نشان دادند که با افزایش دی‌اکسیدکربن از ٦۳۵ به ۷۰۰ پی‌پی‌ام، اثر مثبتی بر عملکرد دانه کنجد داشت. زیرا باعث افزایش میزان فتوسنتز و تعرق در کنجد و همچنین باعث افزایش در صفات ریشه مانند سطح و طول ریشه و وزن خشک ریشه شد. به‌گونه‌ای که نسبت ریشه به اندام هوایی با افزایش دی‌اکسیدکربن افزایش یافت (۹). همچنین با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، نسبت اندام‌های زیرزمینی به اندام هوایی در گیاهانی که اندام اقتصادی آن‌ها اندام زیرزمینی است افزایش می‌یابد. در حالی‌که در گونه‌هایی که عملکرد اقتصادی، اندام هوایی است این نسبت بدون تغییر باقی می‌ماند (۳۲). در آزمایشی دیگر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش فتوسنتز در گونه‌های سه‌کربنه و چهارکربنه به‌ترتیب به‌میزان ۳۷ و ۲۲ درصد شد (۱۵). بنابراین به‌دلیل نداشتن اطلاعات کافی درباره واکنش کنجد به تنش شوری تحت شرایط افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات رشد و نمو کنجد تحت برهمکنش شوری و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی سطوح مختلف تنش شوری و دی‌اکسیدکربن بر صفات فیزیولوژیکی گیاه کنجد در اتاقک رشد در دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، در سال ۱۳۹۵-۱۳۹٤ به‌صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. عامل اول دی‌اکسیدکربن در دو سطح ۳۸۰ و ۷۰۰ppm (به‌منظور بررسی سطوح کنونی و میزان افزایش احتمالی دی‌اکسیدکربن در آینده بر واکنش گیاه کنجد) و عامل دوم تنش شوری در سه سطح (۰، ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود. جهت اجرای آزمایش ابتدا به گلدان‌های حاوی خاک رس و ماسه بادی با نسبت ۲ به ۱ حدود ۲۰ سی‌سی اوره و ۲۰ سی‌سی KH_2PO_4 و ۱۵۰ سی‌سی آب مقطر اضافه کرده و این مواد حدود ۲ تا ۳ روز در پلاستیک گذاشته شدند تا خاک و آب مخلوط شوند. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Soil chemical and physical analysis.

نمونه Sample	هدایت الکتریکی dS/m	واکنش گل‌اشباع pH	پتاسیم K	سدیم Na	آهن Fe	مس Cu	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
	EC		meq/L		ppm			٪	
خاک رس Clay soil	2.6	7.9	-	8.3	1.34	1.52	14.5	24	61.5
ماسه بادی Sandy	0.85	7.2	-	1.7	0.62	0.23	3.5	1.5	95

پس از آماده‌سازی گلدان‌ها داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شد و گلدان‌ها به اتاقک رشد با غلظت دی‌اکسیدکربن محیط، طول روز ۱۶ و طول شب ۸ ساعت، رطوبت ۷۵-۵۵ درصد، دمای روز ۳٤ درجه سانتی‌گراد و دمای شب ۲٤ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند. پس از استقرار کامل گیاهچه تعداد بوته در هر گلدان به ۵ بوته کاهش یافت. در مرحله حدود چهار برگی گیاهان تحت تنش شوری قرار گرفتند و بعد از اعمال شوری، در نهایت گیاهان با آب مقطر آبیاری شدند. در نهایت بعد از ۵۰ روز نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس اتاقک رشد را برای غلظت ۷۰۰ پی‌پی‌ام آماده و مراحل فوق تکرار شد. صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش شامل محتوای پرولین، محتوای قندهای محلول، سدیم ریشه و پتاسیم اندام هوایی، آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز بود. برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) (۳)، محتوای قندهای محلول از روش ایریگوین و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد (۱۲). در این پژوهش سدیم ریشه و پتاسیم اندام هوایی و ریشه از طریق هضم با اسیدکلریدریک دو نرمال و قرائت با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شدند. سنجش آنزیم پراکسیداز به روش پاندولفینی و همکاران (۱۹۹۲) (۲۸)، فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز با روش نیکولی و همکاران (۱۹۹۱) (۲٤) و سنجش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) با توجه به روش دی‌کونها و همکاران (۱۹۹٦) انجام گرفت (۵). تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه گردید. رسم نمودارها و جداول نیز توسط نرم‌افزارهای Excel و Word صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌های محتوای پرولین برگ بیانگر آن است که این صفت به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر اثر دی‌اکسیدکربن قرار گرفت (جدول ۲). همچنین مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن، محتوای پرولین کاهش یافت. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار پرولین در دی‌اکسیدکربن محیط و کم‌ترین آن در دی‌اکسیدکربن ۷۰۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، محتوای کلروفیل افزایش می‌یابد و این باعث از بین بردن اثر منفی تنش شوری و کاهش پرولین گردیده است. همچنین در آزمایشی که توسط کمالی و همکاران (۱۳۹۳) در گل زلف عروس صورت گرفت، مشاهده شد که افزایش دی‌اکسیدکربن بر روی محتوای پرولین اثر معنی‌داری نداشته است (۱٤).

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس پرولین، قندهای محلول، سدیم ریشه، پتاسیم اندام هوایی و آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاه کنجد در غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن و سه سطح تنش شوری.

Table 2. Results of analysis of variance for proline, soluble sugars, root sodium, shoot potassium, peroxidas, polyphenoloxidas and phenylalanine ammonialyase enzymes of sesame plant in different concentration of carbon dioxide and three levels of salinity stress.

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	سدیم ریشه Sodium root	پتاسیم اندام هوایی Shoot Potassium	پرکسیداز peroxidase	پلی‌فنل‌اکسیداز polyphenoloxidase	فنیل آلانین آمونیالیاز phenylalanine ammonia-lyase
غلظت دی‌اکسیدکربن Concentration Co_2	1	0.240**	23.46**	0.069**	0.004^{ns}	0.000009*	0.007**	8.825**
تنش شوری Salinity stress	2	0.004^{ns}	0.203^{ns}	0.003^{ns}	3.063**	0.000002^{ns}	0.001**	3.557**
دی‌اکسیدکربن * شوری CO_2 * Salinity	2	0.0007^{ns}	0.401^{ns}	0.002^{ns}	2.385**	0.00002**	0.004**	1.908*
خطا Error	18	0.002	0.158	0.0009	0.250	0.000001	0.0003	0.533
ضریب تغییرات CV (%)	-	24.37	23.39	15.51	21.40	39.04	23.54	23.39

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and * represent non significant at 1 and 5% level of probability, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف دی‌اکسیدکربن بر محتوای پرولین، قند محلول و محتوای سدیم ریشه کنجد.

Table 3. Mean comparisons of different levels of carbon dioxide on proline content, soluble sugar content and root Na content of sesame.

محتوی سدیم ریشه Root Na content %	محتوای قندهای محلول Soluble sugar content (mMol/g)	محتوای پرولین Prolin content (mMol/g)		تیمار Treatment
0.24[a]	2.68[a]	0.28[a]	380 ppm	غلظت دی‌اکسیدکربن CO_2 concentration
0.14[b]	0.71[b]	0.08[b]	700 ppm	

در هر ستون میانگین‌های دارای یک حرف مشترک با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters in each column are not significantly different (LSD, P=0.05).

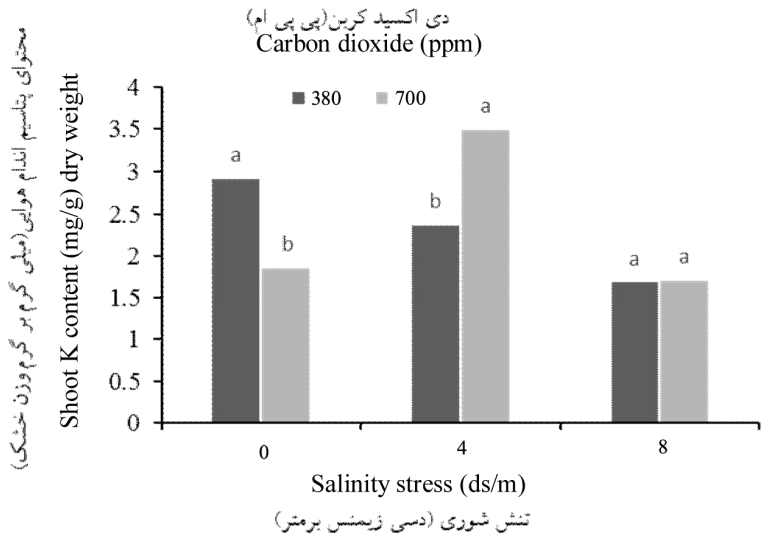
قندهای محلول: نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که این صفت به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر غلظت دی‌اکسیدکربن قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که افزایش دی‌اکسیدکربن باعث کاهش ۷۳ درصدی محتوای قندهای محلول شد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار آن در غلظت دی‌اکسیدکربن محیط بود (جدول ۳). در این پژوهش مشاهده شد که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، محتوای قندهای محلول کاهش یافت. همچنین در مطالعه‌ای که در رابطه با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن بر میزان جذب قندهای محلول در گونه‌های درختی زیتون تلخ، سرو شیراز، شمشاد برگ نعنایی و برگ نو انجام شده، چنین گزارش شده است که با افزایش دی‌اکسیدکربن میزان قند در زیتون تلخ و شمشاد در غلظت ۹۰۰ پی‌پی‌ام و در برگ نو در غلظت ۱٤۰۰ پی‌پی‌ام نسبت به شاهد روند افزایشی نشان داده است، ولی میزان این صفت در گونه درختی سروشیرازی با ازدیاد دی‌اکسیدکربن روند کاهشی نشان داده است (۳۵).

مقدار سدیم در ریشه گیاه: نتایج تجزیه واریانس بیانگر این است که محتوای سدیم ریشه، به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر دی‌اکسیدکربن قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که با افزایش دی‌اکسیدکربن محتوای سدیم ریشه کاهش یافت. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار آن در دی‌اکسیدکربن محیط (۳۸۰ پی‌پی‌ام) است (جدول ۳).

مقدار پتاسیم در اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس بیانگر این است که این صفت به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر برهمکنش دی‌اکسیدکربن و شوری قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پتاسیم اندام هوایی در سطح شاهد و شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری ندارد ولی در شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر پتاسیم افزایش و سپس با افزایش شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافته است. می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییر محتوای پتاسیم اندام هوایی در رابطه با شوری کاهشی بوده است (شکل ۱). پتاسیم در اندام هوایی تحت‌تأثیر تنش شوری کاهش یافت. به احتمال زیاد کاهش پتاسیم در شرایط شور، به‌دلیل انتقال کاتیون‌ها و یون‌های سدیم با یک پروتئین مشترک است که یون سدیم برای انتشار به درون سلول با یون پتاسیم رقابت می‌نماید و مانع ورود یون پتاسیم می‌شود. با افزایش تنش شوری و اختلال در سازوکار جذب پتاسیم توسط ریشه، کاهش غلظت پتاسیم اندام هوایی مشاهده گردید (۳۱). در همین رابطه آزمایشی بر روی گیاه *Spartina densiflora* تحت شرایط شور انجام شد که نشان داد افزایش شوری در سطوح (۰، ۱۷۱ و ۵۱۰ میلی‌مولار) باعث کاهش پتاسیم در اندام هوایی گردید (۱۷).

www.SID.ir

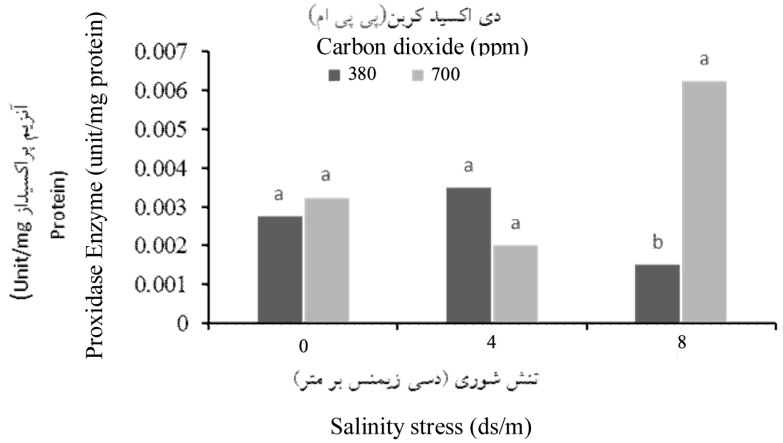
Archive of SID



شکل ۱- تأثیر برهمکنش دی‌اکسیدکربن و شوری بر محتوای پتاسیم اندام هوایی. میانگین‌های با یک حرف مشترک در هر سطح شوری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (LSD, P=۰/۰۵).

Fig. 1. Effects of carbon dioxide and salt stress interaction on plant potassium content. Means with the same letters in each levels of salinity are not significant (LSD, P=0.05)

فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که آنزیم پراکسیداز تحت‌تأثیر غلظت دی‌اکسیدکربن و برهمکنش شوری و دی‌اکسیدکربن قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش دی‌اکسیدکربن و شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به سطح شاهد اختلاف معنی‌داری ندارد ولی با افزایش شوری سطح ۸ دسی‌زیمنس برمتر، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر برهمکنش دی‌اکسیدکربن و شوری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز. میانگین‌های با یک حرف مشترک در هر سطح شوری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (LSD, P=۰/۰۵).

Fig. 2. Effects of carbon dioxide and salt stress interaction on peroxidase enzyme activity. Means with the same letters in each levels of salinity are not significant (LSD, P=0.05).

www.SID.ir

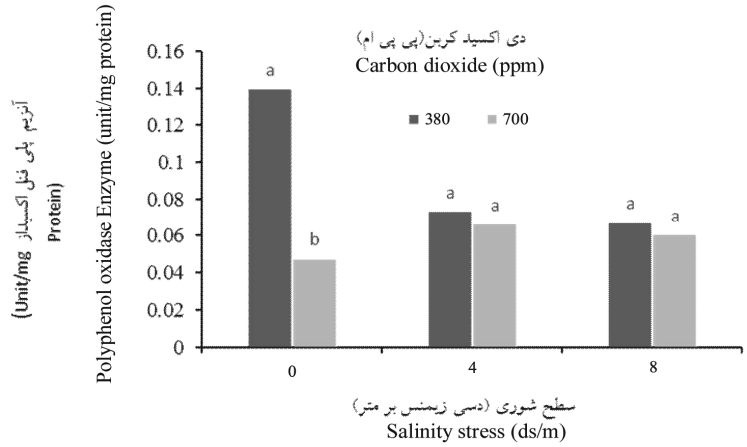
Archive of SID

این‌گونه مشاهده شد که در نتایج این آزمایش با افزایش شوری و بسته شدن روزنه‌ها، هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. در نتیجه باعث کاهش انتقال دی‌اکسیدکربن در سلول‌های گیاه گردید. سپس اکسیژن فعال افزایش یافت و در مقابل به‌دلیل نقش دفاعی آنزیم پراکسیداز، افزایش این آنزیم صورت گرفت. همچنین در آزمایشی که روی کاهو صورت گرفت مشاهده شد که تنش باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین‌سلولی شده و در نتیجه باعث کاهش فتوسنتز گردید. در نتیجه اکسیژن فعال در گیاه افزایش یافت. گیاه سازوکارهای متفاوتی جهت حذف این ترکیبات مخرب دارد. یکی از این سازوکارهای دفاعی فعال شدن آنزیم پراکسیداز در قسمت‌های مختلف سلولی است (۱۰). فعالیت آنزیم دفاعی پراکسیداز، برای جلوگیری از تخریب سلولی افزایش می‌یابد. تغییر در محتوای آنتی‌اکسیدانت، پاسخ گیاه برای تنظیم شرایط فیزیولوژیکی و زیست- شیمیایی به تنش‌ها می‌باشد (۱). در تنش‌های محیطی افزایش فعالیت آنزیم‌ها، باعث افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش می‌شود (۱۰). به‌دلیل نقش دفاعی آنزیم پراکسیداز در طی افزایش تنش شوری باعث کاهش اثرات مخرب تنش شوری و پایداری غشای سلول می‌شود. از آن‌جایی‌که تنش شوری باعث تجمع گونه‌های واکنش‌گر مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن می‌شود، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهم‌ترین ترکیبات در مقابله با تنش‌های اکسیداتیو هستند (۲۷). شواهد زیادی مبنی بر افزایش و کاهش آنزیم پراکسیداز در تنش‌ها وجود دارد که با توجه به این پژوهش نیز، پراکسیداز روند افزایشی داشته است. همچنین در آزمایشی که بر روی گیاه پونه تحت تنش شوری صورت گرفت، مشاهده شد که افزایش تنش شوری باعث افزایش آنزیم پراکسیداز شد (۲۰).

سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: نتایج تجزیه واریانس بیانگر این است که فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز تحت‌تأثیر اثر دی‌اکسیدکربن و شوری و همچنین برهمکنش دی‌اکسیدکربن و شوری قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در دی‌اکسیدکربن محیط و شوری شاهد بیش‌ترین فعالیت را داشته است ولی با افزایش شوری (۸ دسی‌زیمنس بر متر) فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز کاهش یافت و در سطح شوری ٤ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). پس می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال زیاد نقشی در مقاومت به تنش شوری در این گیاه ندارد زیرا با افزایش شوری فعالیت این آنزیم کاهش یافته است. پلی‌فنل‌اکسیداز طیف وسیعی از سوبستراها که شامل مونوفنول‌ها، تری‌فنول‌ها، اسید آسکوربیک را اکسید می‌کند (۲۵). همچنین در اکسیداسیون فنل‌ها به کینون‌ها و تشکیل لیگنین در سلول‌های گیاهی نقش مهمی دارند (۲۱). با افزایش شوری، اکسیژن فعال ROS در گیاهان افزایش می‌یابد و اکسیژن فعال به‌طور جدی باعث تخریب لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (۲۳). گیاهان نیز در مقابل تنش اکسیداتیو توسط ROS به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز مجهز هستند (۳۳). در آزمایشی تحت شرایط شوری صورت گرفت نشان دادند با افزایش شوری (۲۰۰ میلی‌مولار)، فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (۱۹).

www.SID.ir

Archive of SID

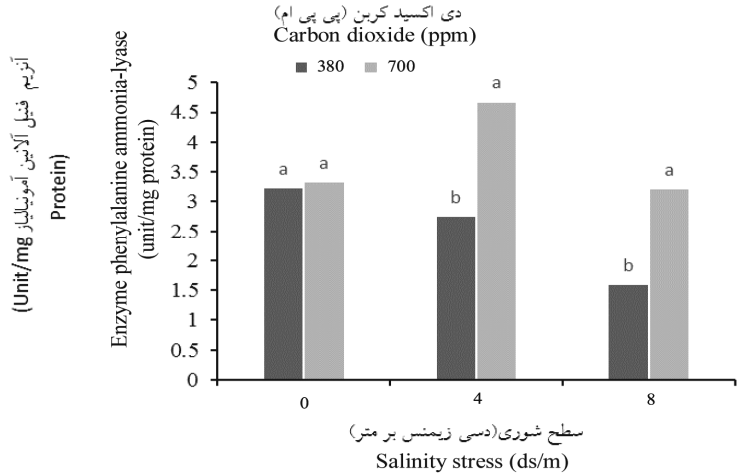


شکل ۳- تأثیر برهمکنش شوری و دی‌اکسیدکربن بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز. میانگین‌های با یک حرف مشترک در هر سطح شوری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (LSD, P=۰/۰۵).

Fig. 3. Effects of carbon dioxide and salt stress interaction on polyphenol oxidase enzyme activity. Means with the same letters in each levels of salinity are not significant (LSD, P=0.05).

در مطالعه حاضر به‌نظر می‌رسد که با کاهش میزان سدیم در ریشه، تنش شوری در گیاه کاهش یافته پس نیاز گیاه به افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز در طی تنش شوری را کاهش داد. اگرچه با کاهش تنش شوری، میزان تولید رادیکال‌های آزاد که بسیار واکنشگر و سمی هستند، نیز کاهش می‌یابد (۱۳).

سنجش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که این صفت تحت‌تأثیر اثرات دی‌اکسیدکربن و شوری و همچنین برهمکنش دی‌اکسیدکربن و شوری قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در دی‌اکسیدکربن محیط کاهش یافت اما با افزایش دی‌اکسیدکربن (۷۰۰ پی‌پی‌ام)، در سطح شاهد و شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر در فعالیت آنزیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی با افزایش شوری (٤ دسی‌زیمنس بر متر) فعالیت آنزیم نیز افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که حداکثر فعالیت آن در شوری (٤ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد و در شوری بیش‌تر از آن فعالیت آنزیم کاهش یافت (شکل ٤).



شکل ٤- تأثیر برهمکنش شوری و دی‌اکسیدکربن بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز. میانگین‌های با یک حرف مشترک در هر سطح شوری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند (LSD, P=۰/۰۵).

Fig. 4. Effects of carbon dioxide and salt stress interaction on phenylalanine ammonia-lyase enzyme activity. Means with the same letters in each levels of salinity are not significant (LSD, P=0.05).

www.SID.ir

Archive of SID

به احتمال زیاد فعالیت آنزیم در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به دی‌اکسیدکربن محیط افزایش یافته است ولی در شوری ٤ دسی‌زیمنس بر متر افزایش بیش‌تری مشاهده شد. در شوری‌های بالاتر فعالیت آن کاهش می‌یابد. روند افزایش در فعالیت آنزیم نسبت به سطح شاهد نشان می‌دهد که آنزیم PAL نقش دفاعی در برابر آسیب‌های ناشی از تنش داشته و آسیب وارده را جبران می‌کند. البته کارایی این آنزیم با افزایش شوری به‌دلیل اثر سدیم کاهش می‌یابد که این نشان‌دهنده این است آنزیم فنیل‌آلانین آمولیانیاز به غلظت‌های ۸ دسی‌زیمنس بر متر به بالا حساس است.

همچنین می‌توان نتیجه گرفت در دی‌اکسیدکربن بالا به‌دلیل کاهش محتوای پرولین، فعالیت آنزیم کاهش و در نتیجه ترکیبات فنلی کاهش می‌یابد. زیرا افزایش ساخت پرولین تحت تنش شوری سبب فعال شدن آنزیم‌های مسیر پنتوز فسفات در سیتوزول شده و در نتیجه سبب افزایش تولید قندهای ۵ کربنه، بازهای پورین و تحریک مسیر فنیل پروپانوئید جهت تولید ترکیبات دفاعی فنلی در برابر تنش شوری می‌گردد که خود نوعی سازگار در برابر تخفیف دادن اثر شوری بر روی گیاه از طریق افزایش جمع‌آوری ROS و کاهش اثرات رادیکال آزاد می‌باشد که در این پژوهش با افزایش دی‌اکسیدکربن و کاهش پرولین، فعالیت آنزیم کاهش یافت (٦). آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز یک آنزیم کلیدی در متابولیسم فنیل پروپانوئید بوده و تشکیل ترانس اسید سینامیک را از طریق دی‌آمینه کردن اسید آمینه آروماتیک فنیل‌آلانین کاتالیز می‌کند. با افزایش فعالیت این آنزیم، تولید و تجمع ترکیبات فنلی افزایش یافته و در نهایت ترکیبات فنلی با خواص آنتی‌اکسیدانی، مقاومت بافت به تنش‌های زنده و غیرزنده را افزایش می‌دهند (۸).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش دی‌اکسیدکربن محتوای سدیم، محتوای قندهای محلول و پرولین ریشه کاهش یافتند ولی فعالیت آنزیم پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز با افزایش همراه بود. به‌طوری‌که با افزایش شوری و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز افزایش یافتند که بیانگر نقش احتمالی آن‌ها در کاهش صدمات شوری در زمان افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن است. شوری بالا منجر به کاهش محتوای پتاسیم اندام هوایی گردید و در عین‌حال تجمع سدیم ریشه در شرایط شور، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن کاهش یافت که بیانگر تأثیر مثبت افزایش غلطت دی‌اکسیدکربن در کاهش سمیت سدیم خاک است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که اثر افزایش دی‌اکسیدکربن بر رشد رویشی گیاه کنجد و تحمل نسبتاً خوب این گیاه در مقابل تنش شوری، اثر مثبتی داشته است.

منابع

1. Ali, B., Rani, I., Hayat, S. and Ahmad, A. 2007. Effect of 4-Cl-indole-3-acetic acid on the seed germination of *Cicer arietinum* exposed to cadmium. Acta. Bot Croat. 66: 1. 57-65.
2. Babaei Kafaki, S., Khademi, A. and Metaji, A. 2010. The role of coppice oak stand in carbon storage and CO_2 uptake (Case study: Khalkhal, Iran). Iran. J. For. Pop. Res. 18: 2. 242-252. (In Persian with English Abstract)
3. Bates, L., Waldren, R. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.
4. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analyt. Biochem. 72: 248-25.

www.SID.ir

Archive of SID

5.D'Cunha, G.B., Satyanarayan, V. and Nair, P.M. 1996. Purification of Phenylalanine ammonia lyase from Rhodotorula glutinis. Phytochem. 42: 17-20.
6.Dehghani, A. and Mostajeran, A. 2010. Effect of salinity on vegetative growth, antioxidant and defensive enzymes in ginger (*Zingber officinale Roscoe*.). J. Herb. Drugs. 1: 1-8. (In Persian with English Abstract)
7.Dini Torkamani, M.R. and Karapetian, J. 2007. An Investigation of physical and chemical characteristics of seed in ten Sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties. Iran. J. Biol. 20: 4. 225-230. (In Persian with English Abstract)
8.Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Sci. Hort. 113: 120-128.
9.Goldani, M., Nassiri Mahallati, M. and Shoor, M. 2011. Effect on increase carbon dioxide concentration on growth characteristics *sesamum indicum* L. and (*Amaranthus retroflexus* L.) and their competition potency. J. Agro Eco. 3: 3. 358-370. (In Persian with English Abstract)
10.Haghighi, M., Kafi, M., Sadat Taghavi, T., Kashi, A. and Savaghebi, Gh. 2008. Photosynthesis and enzymatic change under cadmium toxicity in lettuce. J. Hort. 22: 22. 25-37. (In Persian with English Abstract)
11.Indermuhle, A., Monin, E., Stauffer, B. and Stocker, T.F. 2000. Atmospheric CO_2 concentration from 60 to 20 kyr BP from the Taylor Dome ice core, Antarctica. Geophysics R Letters. 27: 735-738.
12.Irigoyen, J., Einerich, D. and Sánchez- Díaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physio Planta. 60: 344-351.
13.Jahani, S., Lahoti, M. and Jahani, M. 2014. Investigation Na^{+}-Ca^{2+} interaction on biomass and enzymes activity of peroxidase and polyphenol oxidase in leaf of barley (*Hordeum Vulgare* L.). J. Crop Physiol. 5: 20. 15-24. (In Persian with English Abstract)
14.Kamali, M., Shoor, M., Tehranifar, A., Goldani, M. and Selahvarzi, Y. 2014. Effects of salinity stress and increase of carbon dioxide on proline, carbohydrate and other morphophysiological accumullation (*Amaranthus tricolor* L.). J. STGC. 5: 20. 231-241. (In Persian with English Abstract)
15.Koca, H., Bor, M., Ozdemir, F. and Turkan, I. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. Environ. Experim. Bot. 60: 344-351.
16.Liu, H.X., Zhang, X., Gao, X.J., Chen, C. and Huang, D. 2016. Synthesis and mechanism study of a dimerictetranuclear carbonate-bridged copper (II) complex resulting from Co_2 fixation by controlling O_2 concentration. Inorganic Chem. Commun. 68: 63-67.
17.Mateos, E.N., Redondo, S.G., Alvarez, R., Cambrolle, J., Gandullo, J. and Figueroa, M.E. 2010. Synergic effect of salinity and CO_2 enrichment on growth and photosynthetic responses of the invasive cordgrass Spartina densiflora. J. Exp Bot. 61: 6. 1643-1654.
18.Melgar, J.C., Syvertsen, J.P. and Sanchez, F.G. 2008. Can elevated CO_2 improve salt tolerance in olive trees? J. Plant Physiol. 165: 631-640.
19.Meratan, A.A., Ghaffari, S.M. and Niknam, V. 2008. Effects of salinity on growth, proteins and antioxidatnt enzymes in three acanthophyllum species of different ploidy levels. J. Sci. 33: 4. 1-8. (In Persian with English Abstract)
20.Merati, M.J., Niknam, V., Hassanpour, H. and Mirmasoumy, M. 2015. Comparative effects of salt stress on growth andantioxidative responses in different organs of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). J. Plant Res. 28: 25. 1097-1107. (In Persian with English Abstract)

www.SID.ir

Archive of SID

21. Mohammadi, M. and Kazemi, H. 2002. Change in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. Plant Sci. 162: 491-498.
22. Mousavibazaz, A., Tehranifar, A., Kafy, M., Gazanchian, A. and Shoor, M. 2015. Effect of salinity on germination and growth seeding in the native masses of the Fiscuit in Iran. IR. J. Hort. Sci. 29: 2. 269-276. (In Persian with English Abstract)
23. Muscolo, A., Sidari, M. and Panuccio, M.R. 2003. Tolerance of kikuyu grass to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant Growth Reg. 41: 57-62.
24. Nicoli, M.C., Elizalde, B.E., Pitotti, A. and Lerici, C.R. 1991. Effects of sugars and maillard reaction products on polyphenol oxidase and peroxidase activity in food. J. Food Biochem. 15: 169-184.
25. Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H. and Sharifizadeh, B. 2006. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. Bio Planta. 50: 4. 591-596.
26. Oraby, H. and Ahmad, R. 2012. Physiological and biochemical changes of CBF3 transgenicoat in response to salinity stress. Plant Sci. 186: 331-339.
27. Pan, Y., Wu, L.J. and Yu, Z.L. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis Fisch*). Plant Growth Regul. 49: 157-165.
28. Pandolfini, T., Gabbrielli, R. and Comparini, C. 1992. Nickel toxicity and peroxidase activity in seeding of *Triticum asetivum* L. Plant C and Envir. 15: 719-725.
29. Radhakrishnan, R. and Lee, I.J. 2015. Penicillium-sesame interactions: A remedy for mitigating high salinity stress effects on primary and defense metabolites in plants. Environ Exp. Bot. 116: 47-60.
30. Sabet Teimouri, M., Khazaie, H.R., Nassiri Mahallati, M. and Nezami, A. 2009. Effect of salinity on seed yield and yield components of individual plants, morphological characteristics and leaf chlorophyll content of sesame (*sesamum indicum* L.). ESAS. 2: 2. 119-130. (In Persian with English Abstract)
31. Safari, H., Madah Hosseini, S., Azari, A. and Heshmati Rafsanjani, M. 2015. Effects of Pretreatment with Salicylic Acid on Growth and Nutrient Uptake of Sesame Seedlings under Salt Stress. Ir. J. Field Crop Res. 15: 4. 735-746. (In Persian with English Abstract)
32. Tahmasbizadeh, H., Madani, H., Farahani, A., Mirzakhani, M. and Farmihani, A. 2010. Effect of temperature degree, different nitrogen levels and plant density on oil yield of spring *Safflower*. J. Agr. Plant Breed. 6: 2. 21-33. (In Persian with English Abstract)
33. Vaidyanathan, H., Sivakumar1, P., Chakrabarty, R. and Thomas, G. 2003. Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice (*Oryza sativa* L.) differential response in salt tolerant and sensitive varieties. Plant Sci. 165: 1411-1418.
34. Wang, W., Vinocur, B. and altman, A. 2003. Plant responses to drougth salinity and extreme tempratures: towards genetics for stress tolerance. Planta. 218: 1-14.
35. Yousefvand, P., Minaey, M., Mosleharany, A. and Tabandeh, A. 2014. The effect of increasing the concentration of carbon dioxide on the amount of soluble sugars in four tree species. 1st Nation Conf. Sustain. Manag. Soil Environ. R. Pp: 1-4. (In Persian with English Abstract)

www.SID.ir