



بررسی کاربرد آزالئیک اسید در شرایط تنش شوری بر خصوصیات رویشی و فتوسنتزی گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*)

مریم حقیقی^{۱*} - آتنا شبیانی راد^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۱

چکیده

از آنجایی که شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی و عوامل محدود کننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان می‌باشد لازم است که به دنبال راهکارهایی برای کاهش اثرات مخرب این تنش بر روی گیاهان باشیم. گوجه فرنگی یکی از پر مصرف‌ترین محصولات مزرعه‌ای و گلخانه‌ای می‌باشد که بسته به شرایط پرورش ممکن است با تنش شوری مواجه شود. سالیسیلیک اسید از جمله سیگنال‌های القا مقاومت در شرایط تنش می‌باشد. آزالئیک اسید ترکیبی آلی است که می‌تواند سبب افزایش تجمع سالیسیلیک اسید در گیاه شود. از این رو پژوهش حاضر به منظور بررسی خصوصیات رویشی و فتوسنتزی گیاه گوجه فرنگی در شرایط استفاده توأم از آزالئیک اسید و آبیاری با آب شور به صورت فاکتوریل با فاکتورهای سطوح مختلف شوری (۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) و سطوح مختلف آزالئیک اسید (۰، ۸، ۱۰، ۲۴ میلی‌گرم در لیتر) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار طرح ریزی شد. نتایج نشان داد با افزایش سطوح شوری اعمال شده کاهش توانایی تولید بیومس بوجود می‌آید. کاربرد آزالئیک اسید به ویژه در تیمار آزالئیک اسید ۸ میلی‌گرم در لیتر با کمک به بهبود کارایی مصرف آب فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی تاثیر مثبتی را بر خصوصیات فتوسنتزی بر جای گذاشته است به طوری که در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کاربرد آزالئیک اسید چهار میلی‌گرم در لیتر هدایت روزنه‌ای را تا ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در سطوح پایین شوری کاربرد آزالئیک اسید در بهبود شرایط فتوسنتزی موثر واقع شد اما زمانی که سطح شوری به بیش از ۱۰۰ میلی‌مولار رسید شاخص‌های فتوسنتزی حتی با کاربرد آزالئیک اسید نیز به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که با در سطوح شوری اعمال شده کاهش ۱۵-۱۰ درصدی را در سرعت فتوسنتز نسبت به حال شاهد مشاهده گردید. با کاربرد آزالئیک اسید تا حدودی تعادل اسمزی درون گیاه ایجاد شده است و به دنبال آن از غلظت پرولین این تیمارهای فاقد آزالئیک اسید کاسته شد. بطور کلی کاربرد آزالئیک اسید در شرایطی که شوری در محدود ۱۰۰ میلی‌مولار باشد با حفظ تبادلات گازی در حد مطلوب و ایجاد تعادل اسمزی در کاهش اثرات مخرب تنش موثر واقع شده است.

واژه‌های کلیدی: آب شور، اسید آلی، سالیسیلیک اسید

مقدمه

متفاوت گوجه فرنگی با یکدیگر متفاوت می‌باشد (۱۸). تنش‌های غیر زیستی همانند خشکی، شوری، دماهای نامناسب معمولاً رشد و توسعه گیاهان و عملکرد آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۱۲). تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاهان در سرتاسر جهان به ویژه مناطق خشک و نیم خشک می‌باشد. در شرایط تنش شوری جذب یون‌ها، آب و مواد غذایی توسط ریشه‌ها دچار اختلال می‌گردد. علاوه بر این انتقال شیره آوند چوب در گیاه نیز دچار اختلال می‌گردد. به دنبال کاهش فشار اسمزی ایجاد شده تورژسانس سلول‌ها از دست رفته و رشد و تقسیمات سلولی مختل می‌شود. همچنین با نشت ترکیبات درون سلول به فضای بین سلولی گیاه به سمت مرگ پیش می‌رود. تنش‌های شوری ممکن است مراحل مختلف رشد گیاه را تحت تاثیر قرار دهد. حساس‌ترین مرحله رشد از نظر تنش شوری در اکثر گونه‌های گیاهی، مراحل اولیه رشد می‌باشد و بیشتر پژوهش

گوجه فرنگی یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی می‌باشد که در طیف وسیعی از شرایط و سیستم‌های کاشت پرورش می‌یابند. گوجه فرنگی از سبزی‌های فصل گرم بوده که از لحاظ سطح زیرکشت و تولید در بین سبزیجات در ایران، دارای اهمیت ویژه‌ای است. اهمیت گوجه فرنگی و مطرح شدن آن به صورت امروزی به علت وجود انواع ویتامین‌ها و املاح معدنی است که به مقادیر زیاد در آن یافت می‌شود. میزان مقاومت به تنش در میان ارقام

۱ و ۲ - استادیار و دانشجوی دکتری گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* - نویسنده مسئول: (Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir)

نشاهای انتقال یافته به گلدان‌ها تیمارها اعمال گردید. بدین منظور تیمارهای شوری طی سه مرحله به صورت تدریجی در سه روز همراه با آب آبیاری به گیاهان داده شد تا به غلظت مورد نظر رسید. پس از گذشت یک هفته از اعمال تیمار شوری، تیمارهای آزالئیک اسید به صورت هفتگی بر روی گیاهان محلولپاشی شدند. پس از گذشت دو هفته شاخص‌های فتوسنتزی و میزان پرولین، در پایان آزمایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنول کل، وزن تر و خشک شاخساره، ریشه و میزان سدیم اندازه‌گیری شدند.

به منظور اندازه‌گیری وزن تر شاخساره و ریشه، شاخساره و ریشه از محل طوقه از هم جدا و توسط ترازوی دیجیتال وزن شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و مجدداً توزین شدند. شاخص سبزی‌نگی توسط دستگاه کلروفیل سنج (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت مینولتا، ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول CO₂ بر متر مربع بر ثانیه)، مقاومت روزنه‌ای (مترمربع در ثانیه در مول)، میزان تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) و غلظت CO₂ درون روزنه‌ای (میکرو مول بر مول) از دستگاه پرتابل سنسج فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای کور، ایالات متحده آمریکا) استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۲۰۰-۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد در هر تیمار صفات موردنظر از برگ‌های میانی کاملاً توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد (فیشر و همکاران، ۱۹۹۸). اندازه‌گیری میزان فنول کل شاخساره با استفاده از فولین کالتیو بر اساس روش مک دونالد و همکاران بر اساس میزان گالیک اسید در هر گرم وزن تازه شاخساره با استفاده از اسپکتروفتومتر (V-530, JASCO, Japan) با طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس کاهش در جذب نمونه‌های متانولی در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین گردید.

$$DPPH_{sc} = ((A_{cont} - A_{smp}) / A_{cont}) \times 100$$

DPPH_{sc} درصد بازدارندگی، A_{smp} میزان جذب (نمونه+DPPH)، A_{cont} میزان جذب DPPH.

داده‌ها در نرم‌افزار اکسل طبقه‌بندی و با برنامه آماری Statstix 8 آنالیز شدند و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد محاسبه شد.

نتایج

نتایج به دست آمده در جدول تجزیه واریانس نشان دهنده آن است که تیمارهای اعمال شده در تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده بجز تاثیر مستقیم شوری بر وزن تر شاخساره و تاثیر مستقیم کاربرد آزالئیک اسید بر وزن خشک ریشه‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱).

های مربوط در این زمینه در همین مرحله از رشد انجام گرفته است. آستانه‌های متفاوت تحمل به شوری نشان می‌دهد که گیاهان مکانیزم‌های متفاوتی برای تحمل شوری دارند. تنش یکنواخت در طول فصل رویش گوجه‌فرنگی عملکرد را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. زمان گلدهی و رشد میوه‌ها مراحل حساس به شوری در گوجه‌فرنگی می‌باشد (۲). تحت شرایط تنش، گیاهان مکانیزم‌های متفاوتی را در پیش می‌گیرند برخی از شرایط تنش می‌گیرند، بعضی دیگر با تولید برخی مواد سازگار به مقابله با شرایط تنش می‌پردازند. اثرات مخرب تنش شوری بر گیاهان از طریق پتانسیل اسمزی پایین (تنش آبی)، عدم تعادل مواد غذایی، تاثیر یون و اثرات متقابل این عوامل بر گیاه اعمال می‌گردد (۱۳) در شرایط شوری معمولاً یون‌های غیر آلی سدیم و کلر در محلول خاک به وفور یافت می‌شود (۱۴). مقایسه میان ارقام مقاوم و حساس گیاهان مختلف نشان داده است که در گیاهان مقاوم نرخ انتقال یون‌های سدیم و کلر در سیستم آوندی به طرف برگ‌ها آهسته‌تر می‌باشد و قابلیت تقسیم‌بندی و هدایت یون‌های اضافی به داخل واکوئل‌ها در این گروه از گیاهان وجود دارد (۱۱). از جمله فرآیندهایی که به شدت تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد فتوسنتز می‌باشد (۹) که معمولاً با کاهش رنگدانه کلروفیل (۱۶) ممانعت از فعالیت آنزیم روبیسکو (۸)، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فشار کربن دی‌اکسید موجود در روزنه‌ها همراه است (۵). برخی از مواد گیاهی ساخته شده در شرایط تنش همانند ترکیبات فنولی موجود در گیاه دارای نقش دفاعی بوده که تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی غلظت آن‌ها در گیاهان افزایش می‌یابد (۹). آزالئیک اسید یک ترکیب آلی با فرمول شیمیایی (CH₂)₇(CO₂H)₂ می‌باشد که در گندم و جو یافت می‌گردد که در گیاهان می‌تواند به عنوان سیگنال تحریک کننده ساخت سالیسیلیک اسید در شرایط تنش ایفای نقش کند و به عنوان یک واکنش دفاعی در گیاهان شناخته می‌شود.

هدف از انجام این پژوهش بررسی واکنش‌های رویشی و فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط استفاده توأم از آزالئیک اسید و آبیاری با آب شور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و آزالئیک اسید (AZ) بر خصوصیات رویشی، فتوسنتزی و فنول گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*)، آزمایشی به صورت فاکتوریل شامل فاکتورهای سطوح مختلف شوری ۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار و سطوح مختلف آزالئیک اسید شامل ۰، ۸، ۱۰ و ۲۴ میلی‌گرم در لیتر در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. پس از استقرار کامل

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات رویشی گیاه گوجه فرنگی تحت تاثیر کاربرد آزالئیک اسید در شرایط تنش شوری
Table 1- ANOVA of some growth characteristics of *Lycopersicum esculentum* under salinity stress using Azealic acid application

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares							
		وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	میزان سدیم Sodium	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	میزان فنول Phenol	میزان پرولین Proline
شوری Salinity (S)	3	0.45266 ^{ns}	0.30760*	0.40395*	0.20396*	41.7517*	0.03687*	35.6795*	4.2113*
اسید آزالئیک Azaleic acid (A)	3	0.55251 ^{ns}	0.64935*	0.29450*	0.02581 ^{ns}	19.3076*	0.09309*	16.1407*	12.8300*
شوری × اسید آزالئیک S × A	9	1.47647*	0.35318*	0.36186*	0.04339*	62.2026*	0.06837*	9.87294*	19.0494*
خطا Error	30	0.76582	0.15593	0.12142	0.03019	1.094E-08	1.094E-08	1.094E-08	0.3625

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، *: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد
ns: no significant , *: significant at 5%

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات فتوسنتزی گیاه گوجه فرنگی تحت تاثیر کاربرد آزالئیک اسید در شرایط تنش شوری
Table 2- ANOVA of some photosynthetic characteristics of *Lycopersicum esculentum* under salinity stress using Azealic acid application

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares						
		محتوای کلروفیل SPAD value	فتوسنتز Photosynthesis rate	میزان تعرق Transpiration	کارایی مصرف آب فتوسنتزی PWUE	کلروفیل فلورسانس	هدایت روزنه Stomata conductance	هدایت مزوفیلی Mesophyll Conductance
شوری Salinity (S)	3	5.1704*	25.6235*	3.90410*	52705.5*	0.61127*	0.00196*	0.02430*
اسید آزالئیک Azaleic acid (A)	3	12.4330*	3.13019*	6.81392*	9190.27*	0.39303*	0.00196*	0.01959*
شوری × اسید آزالئیک S × A	9	3.9524*	43.4831*	3.23599*	82445.2*	0.32359*	0.00122*	0.02730*
خطا Error	30	2.2098	1.094E-08	1.094E-08*	1.131E-08*	0.02746*	1.094E-08*	1.094E-08*

ns: عدم وجود اختلاف معنی دار، *: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد
ns: no significant , *: significant at 5%

با افزایش شوری، وزن خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه کاهش. میزان سدیم، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنول شاخساره و پرولین افزایش و وزن تر شاخساره تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۳).

علاوه بر این نتایج به دست آمده در جدول تجزیه واریانس نشان دهنده آن است کلیه تیمارهای به کار رفته به صورت تفکیک شده و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های فتوسنتزی بررسی شده تاثر معنی داری نداشته‌اند (جدول ۲).

جدول ۳- تاثیر سطوح مختلف شوری بر وزن تر و خشک شاخساره، ریشه، میزان سدیم، پرولین، فعالیت آنتی اکسیدان و میزان فنول گیاه گوجه-فرنگی

Table3- Effect of salinity levels on shoot, root fresh and dry weight, sodium, proline, antioxidant activity and phenol in tomato plant

سطوح شوری Salinity levels	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	میزان سدیم (میلی گرم بر وزن خشک)	فعالیت آنتی اکسیدانی (در صد)	میزان فنول (پی پی ام)	میزان پرولین (پی پی ام)
	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Sodium (mg/g dry weight)	Antioxidant activity (%)	Phenol (ppm)	Proline (ppm)
S0	5.96a	1.07b	0.81b	0.18b	4.12c	0.79b	1.78d	6.92a
S1	3.33a	1.18ab	0.82b	0.21b	1.21d	0.75d	2.73c	5.85b
S2	3.07a	1.07b	0.83b	0.28b	5.01b	0.78c	3.67b	5.8b
S3	3.35a	1.41a	1.19a	0.47a	5.29a	0.88a	5.79a	5.61b

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند. (S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰، S2 شوری ۱۵۰، S3 شوری ۲۰۰ میلی مولار)

In each column means followed with similar letters are not different at 5% level of probability based on LSD test. (control: S0, Salinity 100: S1, salinity150: S2, salinity200: S3)

جدول ۴- تاثیر سطوح آزالئیک اسید بر وزن تر و خشک شاخساره، ریشه، میزان سدیم، فعالیت آنتی اکسیدان و میزان فنول گیاه گوجه‌فرنگی

Table4- Effect of azelaic acid on shoot fresh and dry weight, root, sodium, antioxidant activity, proline, phenol in tomato plant

آزالئیک اسید azelaic acid	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	میزان سدیم (میلی گرم بر وزن خشک)	فعالیت آنتی اکسیدانی (در صد)	میزان فنول (پی پی ام)	میزان پرولین (پی پی ام)
	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Sodium (mg/g dry weight)	Antioxidant activity (%)	Phenol (ppm)	Proline (ppm)
Az0	2.96a	1.14b	0.96ab	0.25a	5.11a	0.67d	6.94a	5.54d
Az1	3.33a	1.52a	1.11a	0.25a	4.28b	0.83c	4.74c	3.48b
Az2	3.07a	1.04b	0.78b	0.25a	4.15c	0.87a	5.68b	2.79c
Az3	3.35a	1.03b	0.8b	0.29a	2.09d	0.84b	6.81a	5.17a

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می باشند. (Az0 شاهد، Az1 هشت، Az2 شانزده، Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید)

In each column means followed with similar letters are not different at 5% level of probability based on LSD test. (control: Az0, 8: Az1, 16: Az2, 24: Az3 mgr/lit azelaic acid)

AZ0 و AZ3 دیده شد و وزن خشک ریشه تحت تاثیر غلظت‌های مختلف AZ تغییر معنی‌داری نداشت (جدول ۵). تغییرات فتوسنتزی تحت تاثیر آزالئیک اسید نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل، فتوسنتز، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی در AZ2 و کلروفیل فلورسنسی در AZ2 و AZ3 افزایش داشت. تعرق در AZ1 بیشترین مقدار دیده شد (جدول ۶).

میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی با افزایش شوری کاهش و میزان تعرق افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل فلورسنس و محتوای کلروفیل در S1 و کارایی مصرف آب فتوسنتزی در S2 مشاهده شد (جدول ۴). اثرات ساده آزالئیک اسید بر صفحات رویشی و فتوسنتزی نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک شاخساره و وزن تر ریشه در AZ1 و بیشترین میزان سدیم، فنول در AZ0 و بیشترین پرولین در

جدول ۵- تاثیر سطوح شوری بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی
Table 5-Effect of salinity levels on Photosynthesis characteristics of tomato plant

آزالئیک اسید azelaic acid	محتوای کلروفیل (عدد اسپاد) SPAD value	فتوسنتز (میکرومول CO ₂ بر مترمربع بر ثانیه) Photosynthesis rate ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	میزان تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) (Transpiration ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول ل دی‌اکسید کربن بر میلی مول آب) PWUE ($\mu\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}^{-1}$)	کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm)	هدایت روزنه (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Stomata conductance ($\text{mmol}^{-2}\text{s}^{-1}$)	هدایت مزوفیلی (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Mesophyll Conductance ($\text{mmolCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
S0	4.42ab	14.46b	1.59c	20.56b	0.09c	0.47a	0.02b
S1	5.01a	12.37b	1.64b	17.67c	0.63a	0.27c	0.01c
S2	3.45b	14.66a	1.03d	20.94a	0.35b	0.2d	0.1a
S3	0.42b	14.04ab	2.42a	16.82d	0.27b	0.42b	0.01d

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند. (S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، S2 شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار)

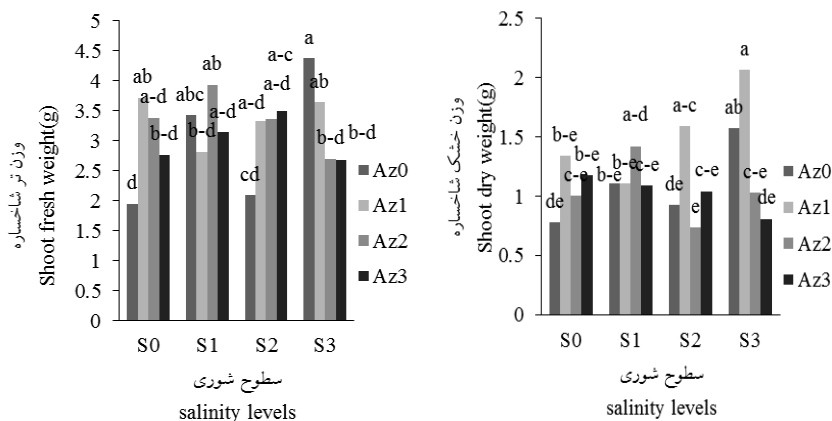
In each column means followed with similar letters are not different at 5% level of probability based on LSD test. (control: S0, Salinity 100 mM: S1, salinity 150 mM: S2, salinity 200 mM: S3)

جدول ۶- تاثیر آزالئیک اسید بر شاخص‌های فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی
Table 6- Effect of azelaic acid on characteristics of tomato plant

آزالئیک اسید azelaic acid	محتوای کلروفیل (عدد اسپاد) SPAD value	فتوسنتز (میکرومول CO ₂ بر مترمربع بر ثانیه) Photosynthesis rate ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	میزان تعرق (میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) (Transpiration ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول ل دی‌اکسید کربن بر میلی مول آب) PWUE ($\mu\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{H}_2\text{O}^{-1}$)	کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm)	هدایت روزنه (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Stomata conductance ($\text{mmol}^{-2}\text{s}^{-1}$)	هدایت مزوفیلی (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) Mesophyll Conductance ($\text{mmolCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
Az0	5.32a	12.75d	1.55b	18.22d	0.11c	0.32b	0.09a
Az1	4.79ab	13.34b	2.72a	19.06b	0.28b	0.52a	0.01d
Az2	3.77bc	13.18c	0.93d	18.83c	0.44a	0.22d	0.02c
Az3	3.05c	13.98a	1.48c	19.98a	0.52a	0.3c	0.03b

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند. (Az0 شاهد، Az1 هشت میلی گرم در لیتر، Az2 شانزده میلی گرم در لیتر، Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید)

In each column means followed with similar letters are not different at 5% level of probability based on LSD test. (control: Az0, 8 mg/l: Az1, 16mg/l: Az2, 24 mg/l: Az3 azelaic acid)

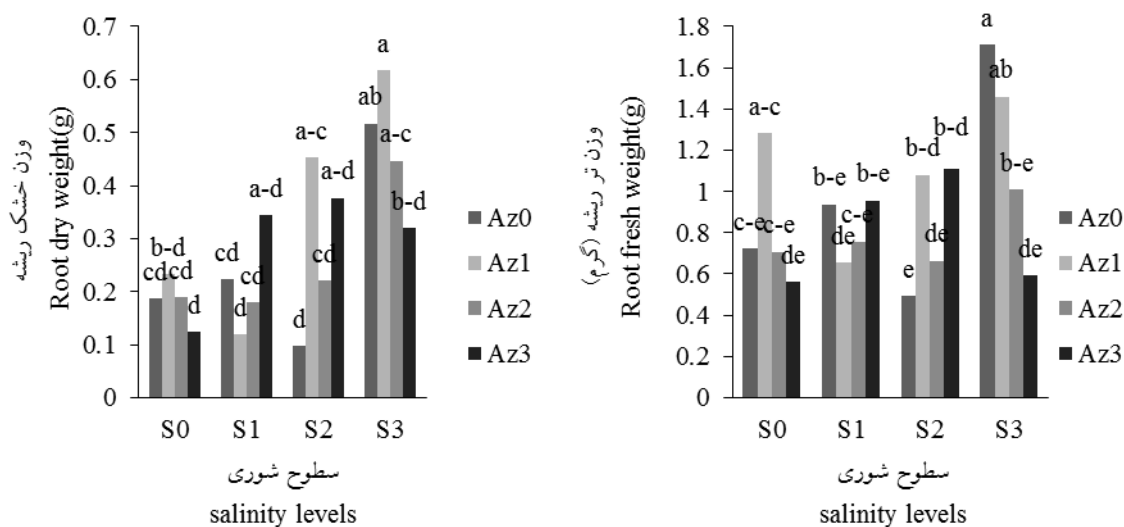


شکل ۱- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالئیک اسید بر وزن تر شاخساره (الف) و وزن خشک شاخساره (ب) گوجه فرنگی (Az0 شاهد، Az1، هشت میلی گرم در لیتر، Az2 شانزده میلی گرم در لیتر و Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، S2 شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و S3 شوری ۲۰۰ میلی‌مولار)

Figure 1- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on Shoot fresh weight(a), shoot dry weight (b)(control: Az0, 8 mg/l: Az1, 16 mg/l: Az2, 24 mg/l: Az3 azelaic acid, control: S0, salinity 100 mM: S1, salinity 150 mM: S2, salinity 200 mM: S3)

شوری افزایش معنی‌داری نشان داد از طرفی بیشترین وزن خشک شاخساره در AZ₃ در هر سطح شوری نسبت به سایر سطوح شوری دیده شد. با وجود افزایش شوری از S₀ به S₃ همراه با افزایش AZ کاهش معنی‌داری در وزن تر و خشک شاخساره دیده نمی‌شود و کمترین وزن تر و خشک شاخساره مربوط به غلظت‌های AZ₀ در سطوح مختلف شوری است (شکل ۱ الف و ب).

اثرات متقابل آزالئیک اسید و شوری بر وزن گیاه نشان داد که به افزودن AZ به گیاه در غلظت S₀ و S₂ وزن تر شاخساره افزایش اما در S₃ کاهش یافت. وزن خشک شاخساره تغییرات کمتری نشان داد؛ به طوری که در غلظت S₀، S₁ و S₂ اگرچه افزایش وزن خشک با افزودن AZ دیده شد اما این افزایش‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود، به جز AZ₃ و S₂ که نسبت به سایر غلظت‌های AZ در همین سطح

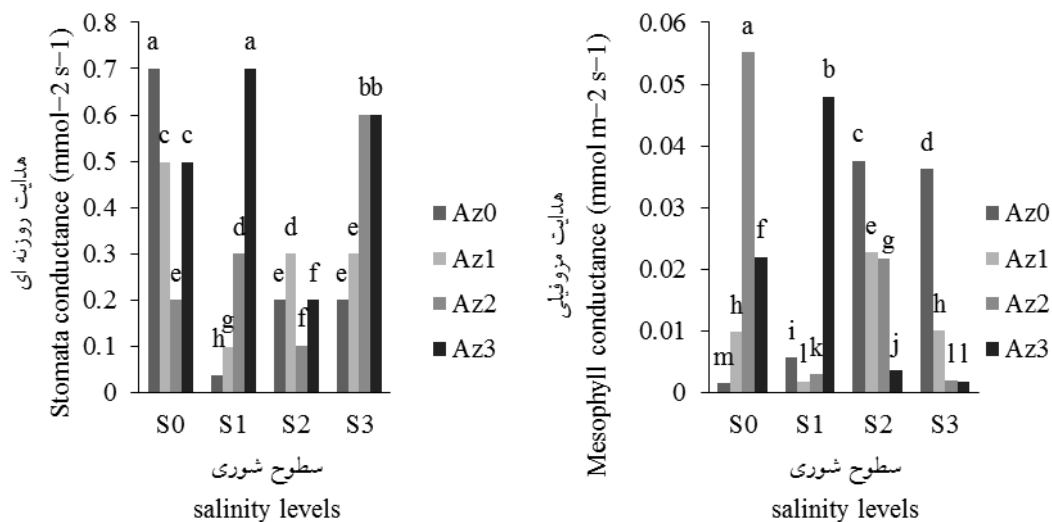


شکل ۲- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالئیک اسید بر وزن تر ریشه (الف) و وزن خشک ریشه (ب) گوجه فرنگی (Az₀ شاهد، Az₁ هشت میلی گرم در لیتر، Az₂ شانزده میلی گرم در لیتر و Az₃ بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید، S₀ شاهد، S₁ شوری ۱۰۰ میلی مولار، S₂ شوری ۱۵۰ میلی مولار و S₃ شوری ۲۰۰ میلی مولار)
Figure 2- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on root fresh weight(a), root dry weight (b)(control: Az₀, 8mg/l: Az₁, 16 mg/l: Az₂, 24 mg/l: Az₃ mgr/lit azelaic acid, control: S₀, salinity 100 mM: S₁, salinity 150 mM: S₂, salinity 200 mM: S₃)

آزالئیک اسید نشان نداد. تیمار AZ₂ در تیمارهای فاقد شوری حداکثر مقدار را نشان داد. بعد از آن در سطح شوری S₁ تیمار AZ₃ با ۶ درصد کاهش بالاترین مقدار هدایت مزوفیلی دیده شد. لیکن در سطوح شوری S₂ و S₃ تیمارهای فاقد آزالئیک اسید مقدار هدایت مزوفیلی بیش‌تری را نسبت به سایر سطوح آزالئیک اسید در این تیمارها نشان دادند. هدایت روزنه‌ای بالاترین مقادیر را در تیمارهای S₀×AZ₀ و S₃×AZ₃ نشان داد. سپس با ۱۵ درصد کاهش در تیمارهای S₃×AZ₂ و S₃×AZ₃ مشاهده شد. حداقل مقدار هدایت روزنه‌ای با ۹۰ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد در تیمار S₁×AZ₀ مشاهده شد (شکل ۳ الف و ب).

با افزودن AZ به محیط ریشه وزن خشک ریشه در S₀ و S₁ و S₂ افزایش یافت که در S₀ و AZ₃ نسبت به S₀ و AZ₀ و در S₁ و AZ₀ نسبت به S₁ و AZ₃ و در S₂ و AZ₃ نسبت به S₂ و AZ₀ افزایش معنی‌دار بود. وزن تر ریشه شبیه وزن خشک تحت تأثیر اثر متقابل شوری و آزالئیک اسید قرار گرفت و علاوه بر تیمارهای ذکر شده در وزن خشک S₁ و AZ₂ نیز افزایش یافت (شکل ۲ الف و ب). به نظر می‌رسد غلظت‌های بالاتر AZ یعنی AZ₂ و AZ₃ مؤثرتر از غلظت‌های پایین بر وزن ریشه از شوری‌های کم یعنی S₂ و S₁ بودند اما این روند افزایش در شوری‌های بالا S₃ دیده نشد (شکل ۲ الف و ب).

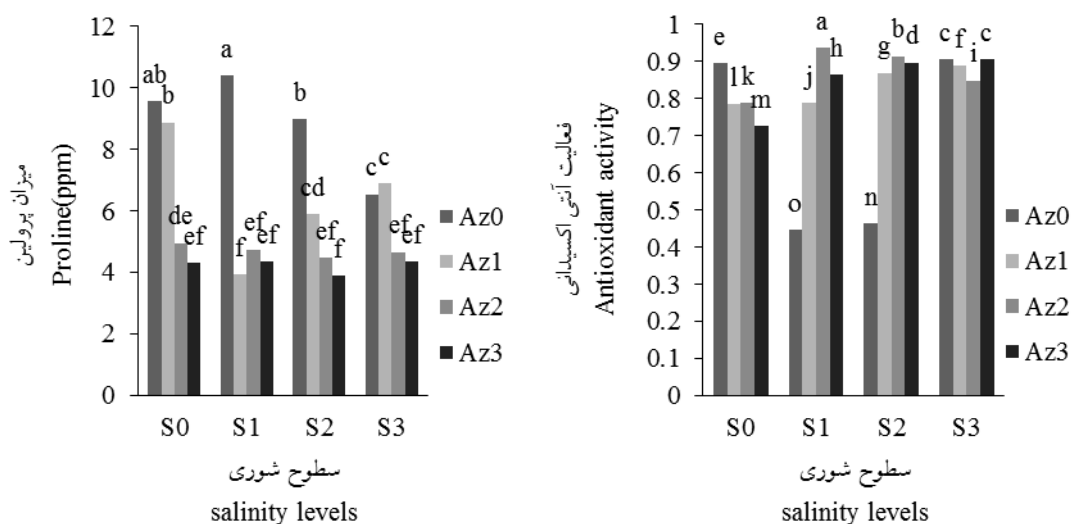
هدایت مزوفیلی روند خاصی را با تغییرات سطوح شوری و تیمار



شکل ۳- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالئیک اسید بر هدایت روزنه ای (الف) و هدایت مزوفیلی (ب) گوجه فرنگی

(Az0 شاهد، Az1 هشت میلی گرم در لیتر، Az2 شانزده میلی گرم در لیتر و Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری میلی مولار ۱۰۰، S2 شوری میلی مولار ۱۵۰ و S3 شوری میلی مولار ۲۰۰)

Figure 3- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on stomata conductance (a), mesophyll conductance (b) of tomato (control: Az0, 8 mg/l; Az1, 16 mg/l; Az2, 24 mg/l; Az3 azelaic acid, control: S0, Salinity 100 mM; S1, salinity 150 mM; S2, salinity 200 mM; S3)



شکل ۴- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالئیک اسید بر میزان پرولین (الف) و فعالیت آنتی اکسیدانی (ب) گوجه فرنگی (Az0 شاهد، Az1 هشت

میلی گرم در لیتر، Az2 شانزده میلی گرم در لیتر و Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری میلی مولار ۱۰۰، S2 شوری میلی مولار ۱۵۰ و S3 شوری میلی مولار ۲۰۰)

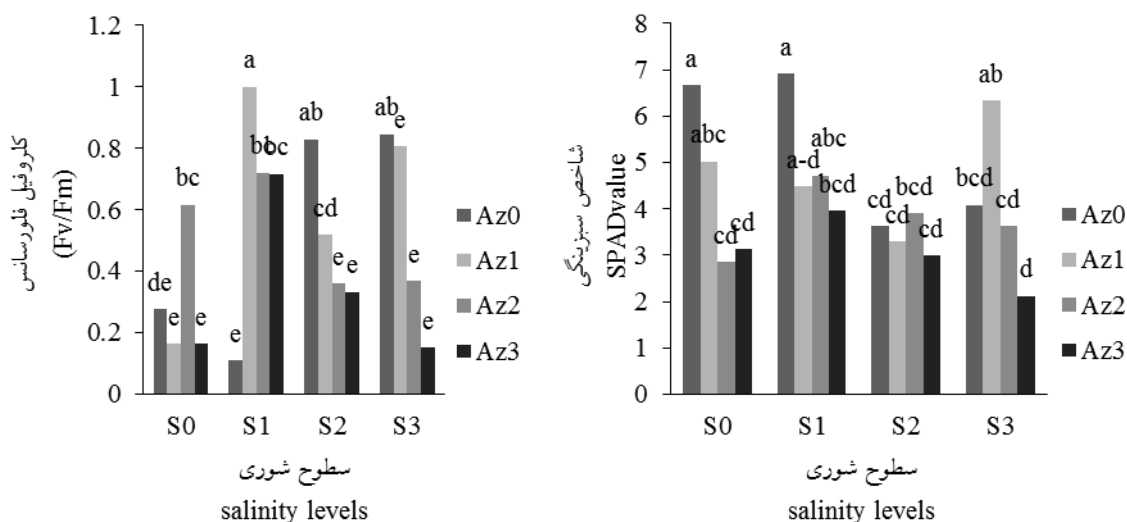
Figure 4- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on Proline (a), antioxidant activity (b) of tomato (control: Az0, 8 mg/l; Az1, 16 mg/l; Az2, 24 mg/l; Az3 azelaic acid, control: S0, salinity 100 mM; S1, salinity 150 mM; S2, salinity 200 mM; S3)

میزان پرولین در کلیه سطوح شوری بدون کاربرد آزالئیک اسید بیشتر از زمانی بود که AZ اضافه شد و در AZ₂ و AZ₃ در S₀ و S_{1,2} در AZ_{1,2,3} کاهش معنی داری داشت. باوجود افزایش شوری به نظر می رسد که AZ سطح تنش در گیاه را در حدی کنترل

میزان پرولین در کلیه سطوح شوری بدون کاربرد آزالئیک اسید بیشتر از زمانی بود که AZ اضافه شد و در AZ₂ و AZ₃ در S₀ و S_{1,2} در AZ_{1,2,3} کاهش معنی داری داشت. باوجود افزایش شوری به نظر می رسد که AZ سطح تنش در گیاه را در حدی کنترل

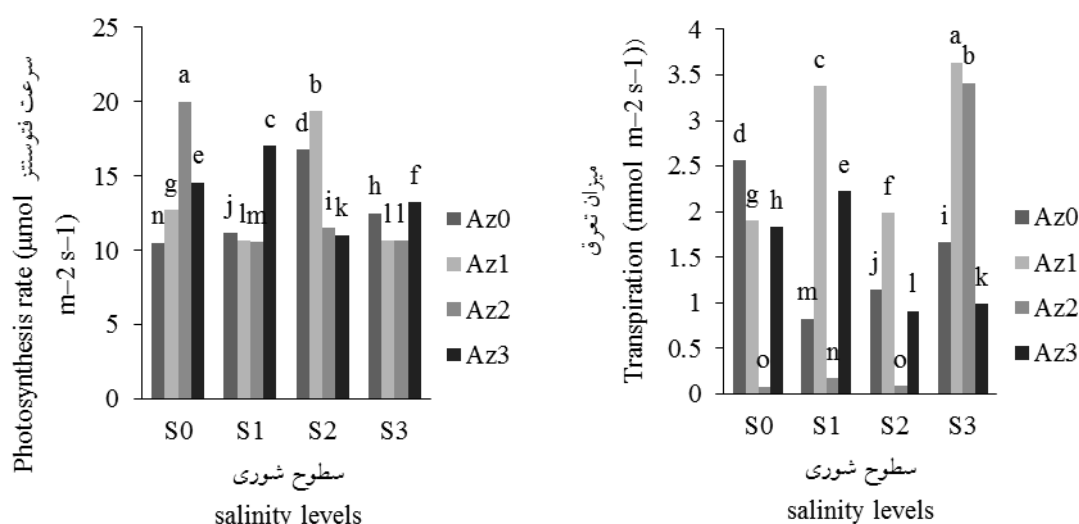
به حفظ گیاه در برابر تنش پرداخته است. اما در شوری‌های بالا S3 اثرات تخریبی تنش به حدی بوده است که AZ در این سطح استفاده شده نیز نتوانسته است اثرات منفی حاصل از آن را کاهش دهد (شکل ۴ الف و ب).

کرده است که از افزایش پرولین جلوگیری کند و یا به نظر می‌رسد AZ جایگزین فعالیت‌های پرولین در جلوگیری اثرات تخریبی تنش شده است. با افزودن AZ فعالیت آنتی اکسیدان در S_{0,1,2} افزایش و در S3 کاهش یافت و در AZ3 و S3 تغییر معنی‌داری نداشت. به نظر می‌رسد با افزودن AZ گیاه با افزودن سطح آنتی اکسیدانی خود



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × غلظت‌های آزالتیک اسید بر شاخص کلروفیل (الف) و کلروفیل فلورسانسی (ب) گوجه فرنگی (Az0 شاهد، Az1 هشت در لیتر، Az2 شانزده در لیتر و Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالتیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰ میلی مولار، S2 شوری ۱۵۰ میلی مولار و S2 شوری ۲۰۰ میلی مولار)

Figure 5- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on spad value (a), Fv/Fm (b) of tomato. (Control: Az0, 8 mg/l; Az1, 16 mg/l; Az2, 24 mg/l; Az3 azelaic acid, control: S0, Salinity 100 mM: S1, salinity 150 mM: S2, salinity 200 mM: S3)

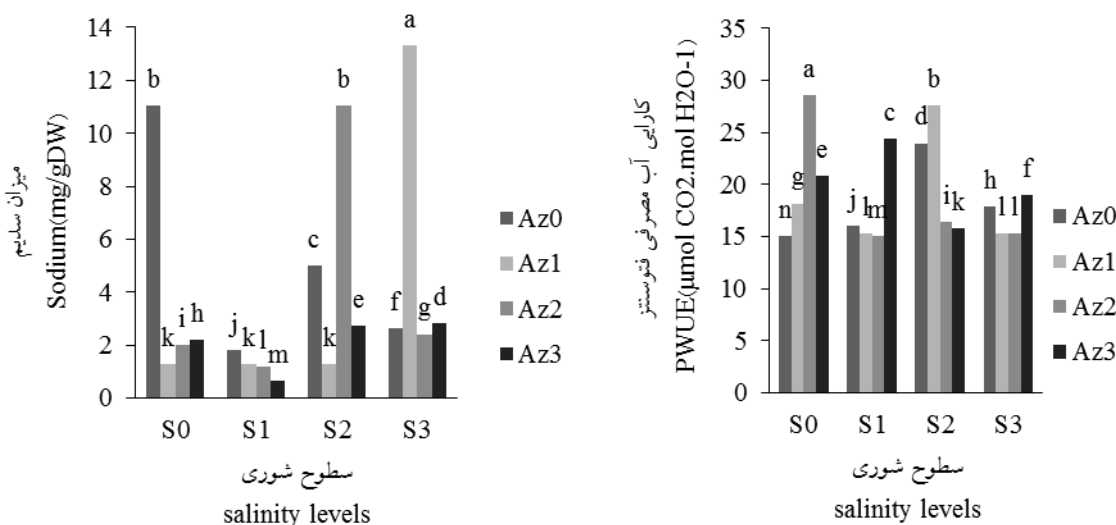


شکل ۶- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالتیک اسید بر سرعت فتوسنتز (الف) و میزان تعرق (ب) گوجه فرنگی (Az0 شاهد، Az1 هشت در لیتر، Az2 شانزده در لیتر و Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالتیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰ میلی مولار، S2 شوری ۱۵۰ میلی مولار، S2 شوری ۲۰۰ میلی مولار)

Figure 6- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on photosynthesis rate (a), transpiration (b) of tomato. (Control: Az0, 8 mg/l; Az1, 16 mg/l; Az2, 24 mg/l; Az3 azelaic acid, control: S0, salinity 100 mM: S1, salinity 150 mM: S2, salinity 200 mM: S3)

یافت و بیشترین مقدار در AZ_3 و S_0 رسید. میزان فتوستتزی در S_1 با بالاترین سطح AZ افزایش یافت. در $S_{2,3}$ ، AZ_1 باعث حفظ فتوستتزی در سطح شاهد شد و در سطوح بالاتر کاهش یافت. در S_3 نیز، AZ اثر مطلوبی بر سرعت فتوستتزی نداشت. میزان تعرق با افزودن AZ در $S_{0,1}$ کاهش معنی‌داری داشت و در $S_{2,3}$ روند مشخصی دیده شد، به طوری‌که تعرق با افزودن AZ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۶ الف و ب).

در سطوح مختلف شوری AZ فقط در دو سطح S_0 و AZ_1 و S_3 و AZ_1 باعث بهبود میزان شاخص سبزی‌نگی شد و در سایر سطوح شوری تأثیری بر بهبود کلروفیل نداشت. میزان کلروفیل فلورسنسی در تیمارهای شوری $S_{1,2,3}$ فاقد آزالئیک اسید دارای بالاترین مقدار بود و در $S_{2,3}$ با افزایش سطح آزالئیک اسید از میزان فلورسنسی کاسته شد (شکل ۵ الف و ب).
سرعت فتوستتزی با افزودن AZ در سطح بدون شوری افزایش



شکل ۷- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالئیک اسید بر کارایی آب مصرفی فتوستتزی (الف) و میزان سدیم (ب) گوجه فرنگی. (Az_0 شاهد، Az_1 هشت در لیتر، Az_2 شانزده در لیتر و Az_3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید، S_0 شاهد، S_1 شوری ۱۰۰ میلی مولار، S_2 شوری ۱۵۰ میلی مولار و S_3 شوری ۲۰۰ میلی مولار)

Figure 7- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on PWUE(a), sodium (b) of tomato. (control: Az_0 , 8 mg/l; Az_1 , 16 mg/l; Az_2 , 24 mg/l; Az_3 azelaic acid, control: S_0 , salinity 100 mM; S_1 , salinity 150 mM; S_2 , salinity 200 mM; S_3)

تولید بیومس گیاه کاسته شد. این کاهش می‌تواند به دلیل کاهش مقدار فتوستتزی و در نتیجه تولید مواد آسمیلاته کم‌تر توسط گیاه بوده باشد. همانند نتایج به دست آمده از این پژوهش مشاهده شده است که در شرایط تنش شوری به دلیل آسیب اکسیداتیو وارد شده به سیستم فتوستتزی از توانایی تولید مواد غذایی گیاه کاسته می‌شود و در نتیجه رشد اندام‌هایی گیاهی محدود شده و از میزان تولید بیومس آن‌ها کاسته می‌شود (۹). لیکن بر خلاف نتایج به دست آمده از این پژوهش که مقادیر سدیم، فنول، پرولین و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری دستخوش تغییر نشدند در پژوهش پونیران-هارتلی و همکاران (۱۵) با تجمع اسمولیت‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مقاومت به تنش شوری در گیاه جو القا شد. به نظر می‌رسد که کاربرد آزالئیک اسید به ویژه در تیمار AZ_2 با کمک به بهبود کارایی مصرف آب فتوستتزی، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی تأثیر مثبتی را بر خصوصیات فتوستتزی بر جای گذاشته است. در راستای این نتایج

کارایی مصرف آب فتوستتزی با افزودن AZ در S_0 افزایش یافت و در $S_{1,3}$ ابتدا کاهش و در AZ_3 افزایش یافت. در S_2 این روند ابتدا افزایش AZ_1 و سپس کاهش AZ_2 و AZ_3 یافت (شکل ۷ الف). حداکثر مقدار سدیم با ۲۲ درصد افزایش نسبت به شاهد در تیمار $S_3 \times AZ_1$ تجمع یافت. در سطح شوری S_1 با افزایش سطح آزالئیک اسید به کار رفته از میزان تجمع سدیم به طور معنی‌داری کاسته شد (شکل ۷ ب).

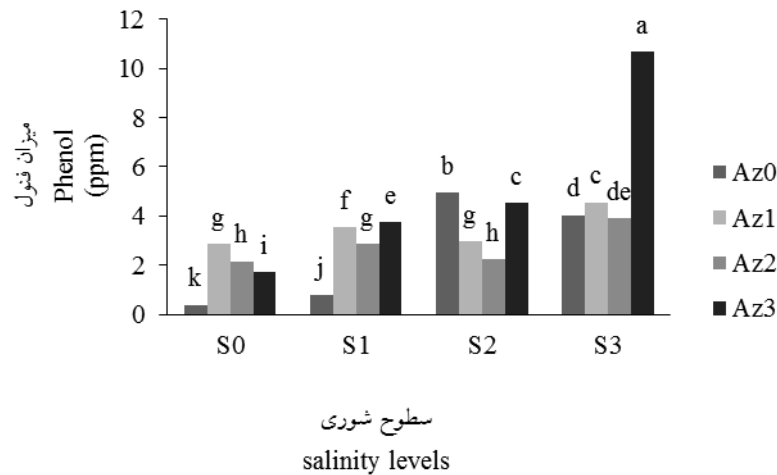
میزان فنول با افزودن AZ در سطح شوری $S_{0,1,2,3}$ افزایش معنی‌داری داشت و این افزایش در $S_{1,2,3}$ و در سطح AZ_3 بیشترین مقدار نسبت به شاهد را نشان داد (شکل ۸).

بحث

در پژوهش حاضر با افزایش سطوح شوری اعمال شده از توانایی

جذب آب و مواد غذایی و رشد گیاه بهبود می‌یابد (۹). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که آزالئیک اسید در ساخت سالیسیلیک اسید و القا مقاومت موثر بوده و کاربرد تیمار AZ1 سبب بهبود خصوصیات رشد در این پژوهش شده است.

برخی مشاهدات حاکی از آن بود اسیدهای آلی با کمک به برقراری تعادل اسمزی ممکن است به باز بودن روزنه‌ها و ادامه یافتن فرآیندهای فتوسنتزی کمک کرده باشد (۱۱). تحت شرایط تنش معمولا سالیسیلیک اسید به عنوان یک سیگنال برای القای مقاومت محسوب می‌شود و در صورتی که این مقاومت در گیاه ایجاد شود



شکل ۸- اثر متقابل سطوح مختلف شوری × آزالئیک اسید بر میزان فنول گوجه فرنگی (Az0 شاهد، Az1 هشت در لیتر، Az2 شانزده در لیتر و Az3 بیست و چهار میلی گرم در لیتر آزالئیک اسید، S0 شاهد، S1 شوری ۱۰۰ میلی مولار، S2 شوری ۱۵۰ میلی مولار و S2 شوری ۲۰۰ میلی مولار)
Figure 8- Interaction effect of salinity × azelaic acid levels on phenol of tomato (control: Az0, 8 mg/l; Az1, 16 mg/l; Az2, 24 mg/l; Az3 azelaic acid, control: S0, salinity 100 mM: S1, salinity 150 mM: S2, salinity 200 mM: S3)

از محدودیت فتوسنتزی در اثر تیمارهای شوری اعمال شده کاسته شد است. همانند نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در پژوهشی دیگر که بر روی گوجه‌های گیلاسی انجام گرفت در اثر تنش شوری بیشتر فاکتورهای فتوسنتزی مانند هدایت مزوفیلی، نرخ فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای و خصوصیات رویشی همانند وزن تر و خشک و حجم ریشه‌ها و قطر ساقه‌ها کاهش یافت (۳). تنش شوری با ایجاد مشکلاتی از قبیل آسیب غشاها و کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش تبادلات گازی سبب محدود شدن شاخص‌های فتوسنتزی می‌گردد (۱). در پژوهش حاضر در سطوح پایین شوری کاربرد آزالئیک اسید در بهبود شرایط فتوسنتزی موثر واقع شده است اما زمانی که سطح شوری به بیش از ۱۰۰ میلی مولار می‌رسد شاخص‌های فتوسنتزی حتی با کاربرد آزالئیک اسید نیز به طور معنی‌داری کاهش می‌یابند.

از جمله مواد سازگاری که با وزن مولکولی پایین در واکنش‌ها و سیتوپلاسم سلول‌های تحت تنش ساخته می‌شود پرولین می‌باشد. پرولین و سایر مواد سازگار با کمک به حفظ تعادل اسمزی و ذخیره کربن به بازیابی گیاهان تحت شرایط تنش موثر می‌باشند (۶). در پژوهش حاضر در تیمارهای فاقد آزالئیک اسید غلظت پرولین افزایش یافت اما به نظر می‌رسد که با کاربرد آزالئیک اسید تا حدودی تعادل

تنش‌ها معمولا فرآیندهای فیزیولوژیکی را با کاهش نرخ فتوسنتز، کاهش محتوای رنگینه‌ها، کاهش قندهای محلول، کاهش تجمع نشاسته و افزایش تنفس تحت تاثیر قرار می‌دهند. به دنبال این تغییرات قابلیت تولید مواد غذایی و رشد گیاه محدود شده و کاهش عملکرد مشاهده می‌گردد (۱۰). همان‌گونه که در پژوهش حاضر مشاهده شد کاربرد آزالئیک اسید در سطوح شوری مختلف تفاوت چشمگیری را در مقدار وزن خشک نمونه‌ها ایجاد نکرد. با این وجود کم‌ترین مقدار وزن تر و خشک شاخساره در تیمارهای فاقد آزالئیک اسید مشاهده شد و در تیمار AZ3×S2 بیش‌ترین مقدار وزن خشک شاخساره مشاهده گردید. همچنین کاربرد آزالئیک اسید سبب افزایش وزن خشک ریشه‌ها در شرایط شوری گردید. این افزایش وزن ممکن است به دلیل تولید مواد شیمیایی خاص القاکننده مقاومت (۱۷) ناشی از مصرف آزالئیک اسید بوده باشد. از آنجایی که آزالئیک اسید می‌تواند محرک تولید ساخت سالیسیلیک اسید باشد ممکن است این افزایش عملکرد ناشی از القا مقاومت توسط سالیسیلیک اسید بوده باشد (۴). در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش قابلیت نفوذپذیری سلول‌ها در برابر گازها غلظت کربن دی اکسید زیر روزنه کاهش می‌یابد و در نتیجه ممکن فتوسنتز دچار محدودیت گردد (۷). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که با کاربرد آزالئیک اسید نفوذپذیری غشاها حفظ شده و

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به دست آمده کاربرد آزالثیک اسید با غلظت ۸ میلی گرم در لیتر تاثیر مثبتی بر شاخص‌های فتوسنتزی داشته است که به دنبال آن هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی در مقایسه با حالت شاهد افزایش معنی‌داری را نشان دادند. همچنین در شرایطی که گیاهان در معرض شوری قرار نگرفتند و یا سطح شوری پایین بوده در حد ۱۰۰ میلی مولار کاربرد آزالثیک اسید شاخص‌های فتوسنتزی را بهبود بخشید. پرولین یک آمینو اسید دفاعی در گیاه می‌باشد که در واکنش به تنش‌های اسمز مقدار آن در گیاه افزایش می‌یابد اما با کاربرد آزالثیک اسید در سطوح بالاتر شوری مقدار پرولین کاهش می‌یابد که می‌تواند حاکی از تعادل اسمز ایجاد شده در اثر کاربرد آزالثیک اسید می‌باشد. در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد که در صورتی که شوری در حد ۱۰۰ میلی مولار باشد کاربرد آزالثیک اسید با حفظ تبادلات گازی و پایداری سیستم فتوسنتزی در حد مطلوب و ایجاد تعادل اسمز می‌تواند به کاهش اثرات مخرب تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی کمک کند.

اسمزی درون گیاه ایجاد شده است و به دنبال آن از غلظت پرولین این تیمارها کاسته شد. بر اساس گزارشات (۶) نقش این ترکیبات سازگار افزایش پتانسیل اسمزی می‌باشد و به نظر می‌رسد که در پژوهش انجام گرفته آزالثیک اسید با برقراری تعادل اسمزی و فعال کردن سایر سیگنال‌های مقاومتی همانند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نیاز گیاه به تولید پرولین را کاهش داده است در نتیجه غلظت پایین‌تری از پرولین در تیمار chl دارای آزالثیک اسید مشاهده گردید. در شرایط تنش شوری معمولا با ایجاد اختلال در فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، غلظت رادیکال‌های آزاد درون سلول‌ها افزایش می‌یابد و دنبال آن از فعالیت‌ها و متابولیسم‌های طبیعی جلوگیری به عمل می‌آید. از آنجایی که آزالثیک اسید به حفظ پتانسیل اسمزی کمک کرده است تولید گونه‌های آزاد اکسیژن کم‌تر صورت گرفته است در نتیجه نیاز کم‌تری به فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی به وجود آمده است (۶) و همان طور که در پژوهش حاضر مشاهده شده است در سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار کاربرد آزالثیک اسید سبب کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردیده است.

منابع

- 1- Arfan M., Athar H.R. and Ashraf M. 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress?, *Plant Physiology*, 164:685–94.
- 2- Haghghi M., Shebanirad A. and Pesarakli M. 2015. Plant Responses under Environmental Stress Conditions, *Advances in Plants & Agriculture Research, Advances in Plants and Agriculture Research*, 2(6):1-12.
- 3- Haghghi M. and Pesarakli M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage, *Scientia Horticulturae*, 161: 111–117.
- 4- Halim V.A., Vess A., Scheel D. and Rosahl S. 2006. The role of salicylic acid and jasmonic acid in pathogen defence, *Plant Biology*, 8(3):307–13.
- 5- Howladar S.M. 2014. A novel Moringa oleifera leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100: 69–75.
- 6- Kafi M., Borzooei A., Salehi M., Kamandi A., Masumi A. and Nabati J. 2012. Environmental stress in plant physiology, Publications University of Mashhad. (In Persian).
- 7- Kafi M. and Rahimi Z. 2011. Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.), *Soil Science and Plant Nutrition*, 57: 341–347.
- 8- Kahrizi S., Sedghi M. and Sofalian O. 2012. Effect of salt stress on proline and activity of antioxidant enzymes in durum wheat cultivars, *Annals of Biological Research*, 3: 3870–3874.
- 9- Misra N. and Saxena P. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress, *Plant Science*, 177: 181–189.
- 10- Miteva E., Hristova A.D., Nenova B.V. and Maneva S. 2005. Arsenic as a factor affecting virus infection in tomato plants: changes in plant growth, peroxidase activity and chloroplast pigments, *Horticultural science*, 105: 343–58.
- 11- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress, *Plant, Cell & Environment*, 20: 239–250.
- 12- Nakashima K., Ito Y. and Yamaguchi-Shinozaki K. 2009. transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in arabidopsis and grasses, *Plant Physiology*, 149: 88-95.
- 13- Shannon M.C. 1998. Adaptation of plants to salinity, *Advances in Agronomy*, 60: 75–119.
- 14- Parida A.K. and Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324–349.
- 15- Puniran-Hartley N., Hartley J., Shabala L. and Shabala S. 2014. Salinity-induced accumulation of organic osmolytes in barley and wheat leaves correlates with increased oxidative stress tolerance: In planta evidence for cross-tolerance, *Plant Physiology and Biochemistry*, 83:32-39.

- 16- Rady M.M. 2011. Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress, *Scientia Horticulturae*, 129: 232–237.
- 17- Uta V.R., Martin J. and Mueller J.D. 2005. Evaluation of natural and synthetic stimulants of plant immunity by microarray technology, *New Phytologist*, 165:191–202.
- 18- Yurtseven E., Kesme G.D. and Ünlükara. F.A. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatolian tomato species (*Lycopersicon esculentum*), *Agricultural Water Management*, 78: 128–135.



Evaluating of Azealic Acid on Tomato Vegetative and Photosynthetic Parameters under Salinity Stress

M. Haghghi^{1*} - A. Sheibanirad²

Received: 20-08-2017

Accepted: 22-05-2018

Introduction: Soil salinity is a global problem that affects approx. 20 % of irrigated land and reduces crop yields significantly. Since, salinity is one of the most important abiotic stress and limiting factor for plant growth all around the world. It is necessary to find some way to ameliorate these damages. The physiological responses of a plant to salinity are often complex and multi-faceted, which makes experiments difficult to design and interpret. At basic level, the response of plants to salinity can be described in two main phases: the shoot ion-independent response occurs first, within minutes to days, and is thought to be related to Na⁺sensing and signaling. Tomato is one the most popular crop in open door and greenhouse cultivation which could face with salinity stresses. Salinity with inducing osmotic stress could have irreversible damages on plant growth and function. Three main salinity tolerance mechanisms have been proposed: on exclusion – the net exclusion of toxic ions from the shoot; tissue tolerance – the compartmentalization of toxic ions into specific tissues, cells and subcellular organelles; and shoot ion-independent tolerance – the maintenance of growth and water uptake independent of the extent of Na⁺ accumulation in the shoot. In order to face with stresses plant make some internal signals which cause producing different compound and inducing stress resistance. Salicylic acid is one these resistances induced agent. Azealic acid is an organic compound which could increase salicylic acid accumulation in plants.

Materials and Methods: So that, the present experiment was conducted to evaluate the effect of azealic acid and saline irrigation on tomato vegetative and photosynthetic parameters in factorial design based on CRD with three replications. The treatments were salinity level (0, 100, 150 and 200 mM) and azealic acid (0, 8, 10, and 24 mg l⁻¹). The experiment was conducted in pot and in the greenhouse. Gradually in a week salinity treatments applied for plants after that each week once azelaic treatments also applied in each plant. Two weeks later each gas exchange parameters and all parameters needed fresh plant were measured and at the end all parameters with dry matter measured. The photosynthesis traits like transpiration, photosynthesis rate, mesophyll conductance, stomata conductance some stress indices like proline and antioxidant phenol were measured.

Results and Discussion: Results indicated that with increasing salinity level biomass production reduced. It seems that with azealic supplement especially in AZ₂ treatment with improving photosynthetic water use efficiency, stomatal and mesophyll conductance has positive effect on photosynthesis. Under low salinity level azealic acid was an effective treatment in photosynthetic parameters although when salinity exceeds more than 100 mM photosynthetic parameters even with azealic acid application reduced. Azealic acid causes a kind of osmotic balance following that the proline content of these treatment reduced. In all salinity levels when azealic acid applied the phenolic compound increased significantly and the highest was in AZ₃. Azealic acid reduced the Na concentration of leaves it causing the most tolerate reason against salinity when the azealic acid applied. Although the photosynthetic rate increased with azelaic acid it is not because of chlorophyll content, because the chlorophyll content decreased with azelaic acid. The increase of photosynthesis could be due to decreasing Na concentration of leaves and increasing defense system of plants. Chlorophyll florescence decreased even with azelaic acid in salinity, it means that azelaic acid cannot completely compensate the stress harmful effect. The growth was improved with azelaic acid in salinity; the improvement was greater in root weight compare with shoot weight. Azealic acid not only prevent decreasing the weight but also improved them in salinity. In defense system of tomato it seems that antioxidant and phenol content were more effective than proline because they are increased with azelaic acid in saline condition effectively compare with proline.

Conclusions: Finally, it seems that until 100mM salinity level azealic acid with maintaining gas exchange capacity in optimum level and inducing osmotic balance could reduce salinity damages. Conclusively, when azelaic acid was applied in 8mg/l that it improved photosynthetic traits like stomata conductance, mesophyll

1, 2- Assistant Professor and PhD student Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology

(* - Corresponding Author Email: mhaghghi@cc.iut.ac.ir)

conductance, and photosynthetic water use efficiency compare with control. Azaleic acid can improve the photosynthetic traits when salinity was in low level like 100mM. Proline which is amino acid role as a defense system of plants increased the osmotic adjustment in plant in response to azaleic acid

Keywords: Azealicacid, Organic acid, Salicylic acid, Saline water