نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال سیزدهم، شماره ۵۲، زمستان ۱۳۹۷ / صفحات: ۱۰۴-۹۳

اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر عوامل فیزیولوژیکی در گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.)

کبری مهدویان*

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۷

چکیده

سالیسیلیک اسید ترکیب آنتی اکسیدانی است که به‌منظور افزایش مقاومت گیاهان در مقابله با تنش‌ها به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق ۵ هفته پس از جوانه زنی اثر غلظت‌های مختلف ۰، ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵، ۳، ۶ و ۹ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بر جوانه زنی، طول اندام هوایی و ریشه، آنتوسیانین، قند، پروتئین، آسکوربات، دهیدروآسکوربات و پرولین در گیاه فلفل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت‌های ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار، درصد جوانه زنی، طول اندام هوایی و ریشه را افزایش اما غلظت‌های ۶ و ۹ میلی‌مولار درصد جوانه زنی، طول اندام هوایی و ریشه را کاهش دادند. غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مقدار آسکوربات و دهیدروآسکوربات را کاهش دادند اما غلظت‌های ۶ و ۹ میلی‌مولار مقدار آسکوربات و دهیدروآسکوربات را در برگ گیاه فلفل افزایش دادند. مقدار قند و پروتئین در برگ‌های تحت تیمار با غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید افزایش معنی‌داری را نشان دادند اما غلظت‌های ۶ و ۹ میلی‌مولار مقدار قند و پروتئین را کاهش دادند. همچنین سایر یافته‌های تحقیق نشان داد که تحت شرایط آزمایشی، غلظت‌های ۰/۷، ۱/۵، ۳، ۶ و ۹ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مقدار آنتوسیانین و پرولین را در برگ گیاه فلفل افزایش دادند. به‌طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت‌های پایین اثرات مثبت بر رشد و در غلظت‌های بالا اثرات منفی بر رشد و نمو گیاه فلفل دارد.

واژه‌های کلیدی: آسکوربات، پرولین، سالیسیلیک اسید، فلفل (*Capsicum annuum* L.)، قند

مقدمه

سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنلی و شبه هورمونی است و نقش آن به‌عنوان یک مولکول علامتی در پاسخ‌های گیاهان به عوامل محیطی نشان داده شده است. این ترکیب باعث افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیداتیو و تاثیر روی تنفس و تمامیت غشاها است (Nazar et al., 2011; Syeed et al., 2011;Khan et al., 2012). SA (Salicylic acid) می‌تواند به سرعت از نقطه اولیه استعمال به بافت‌های مختلف گیاه منتقل شود.

سالیسیلیک اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید و ترکیبات مربوطه متعلق به گروه متنوعی از ترکیبات فنلی هستند. سالیسیلات در روزگاران باستان به‌عنوان دارو مورد استفاده قرار می‌گرفته است. سالیسیلیک اسید یک ترکیب فنیل پروپانوئید است که باعث استقامت گیاهان به پاتوژن‌ها و عوامل تنش می‌شود. اگر چه بیوسنتز سالیسیلیک اسید به خوبی شناخته نشده است اما نتیجه مطالعه‌ای نشان می‌دهد

*نویسنده مسئول: mahdavian.k@gmail.com

که گونه‌های اکسیژن فعال از قبیل H_2O_2 بیوسنتز سالیسیلیک اسید را تحت تأثیر پاتوژن‌ها تنظیم می‌کنند (Rao et al., 2000).

SA بر روی برخی از اعمال گیاهی موثر است، به‌عنوان مثال افزایش گلدهی و مقاومت نسبت به بیماری‌ها از جمله فرایندهایی هستند که SA بیشترین تأثیر را در آن‌ها داشته است (Popova et al., 1997; Lichtenthaler, 1987). علاوه بر آن‌ها SA یک هورمون تنظیم کننده درونی است که نقش آن در مکانیسم‌های دفاعی بر علیه استرس‌های زیستی و غیرزیستی به خوبی شناخته شده است (Agustina et al., 2017; Yalpani et al., 1994 ;Szalai et al., 2000).

مدارک مهمی وجود دارد که ترکیبات فنلی نقش مهم و اساسی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی متفاوت از قبیل رشد و نمو گیاه، جذب یون، گلدهی، میزان تکثیر، تولید مثل و محتوای آنتوسیانین و کلروفیل بازی می‌کنند. (Popova et al., 1997). تنش‌های زیستی و غیر زیستی باعث القای پاسخ دفاعی در گیاهان می‌شوند. مکانیسم‌های دفاعی مختلفی وجود دارد. آسکوربیک اسید یکی از ترکیباتی است که به وفور در گیاهان یافت می شود. آسکوربیک اسید دارای چندین نقش فیزیولوژیکی در گیاهان است. مثلاً در فرایندهای رشد، تمایز و متابولیسم شرکت دارد و در برخی واکنش‌های فتوسنتزی به‌عنوان کوفاکتور عمل می‌کند (Wheelev and Smirnoff, 2000). آسکوربات به‌عنوان یک احیاء کننده برای بسیاری از رادیکالهای آزاد محسوب می شود که می تواند به طور مستقیم بدون واسطه آنزیم، رادیکالهای آزاد اکسیژن را دفع کند. بررسی‌ها نشان دادند که آسکوربیک اسید قادر است یونهای سوپر اکسید، رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن را احیاء کند یا به صورت غیر مستقیم با احیاء ترکیباتی چون آلفا-توکوفرول در دفع رادیکال‌ها شرکت کند (Sharma Perl and Perl-treves, 2000 ;et al., 1997). همچنین اثر غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار رنگیزه‌های روتین و کوئرستین در گیاه فلفل بررسی شده است که نشان می‌دهد غلظت‌های پایین سالیسیلیک اسید سبب افزایش رنگیزه‌ها می‌شود (Mahdavian, 2017).

در این پژوهش، تاثیر غلظت‌های مختلف SA بر جوانه زنی، طول اندام هوایی و ریشه، آنتوسیانین، قند، پروتئین، آسکوربات، دهیدروآسکوربات و پرولین در گیاه فلفل مطالعه شد. هدف از این پژوهش، بررسی غلظت‌های مناسب جهت افزایش رشد گیاه فلفل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بررسی جوانه‌زنی تحت تیمار سالیسیلیک اسید: در این مرحله، ابتدا کاغذ جوانه زنی را درون ظروف پتری قرار داده سپس پتری‌ها به همراه کاغذهای جوانه‌زنی در آون با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ساعت استریل شدند، پس از جدا کردن بذرهای یکسان از نظر اندازه، بذرهای ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم برای کاشت آماده گردیدند. مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول سالیسیلیک اسید با غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵، ۳، ٦ و ۹ میلی‌مولار به پتری‌ها اضافه گردید، سپس تعداد ۲۵ بذر یکنواخت با استفاده از پنس استریل بر روی کاغذ جوانه زنی در ۵ ردیف ٤ تایی با فاصله مشخص قرار داده شدند و درب پتری‌ها کاملاً بسته شد. برای هر تیمار تعداد ٤ پتری به‌عنوان ٤ تکرار در نظر گرفته شد.

کشت گلدانی: بذرهای گیاه فلفل در گلدان‌های حاوی ورمیکولیت کاشته شدند و سپس در شرایط باز محیطی قرار داده شدند. تمام گلدان‌ها هفته‌ای ۳ بار علاوه بر آب مقطر با محلول غذایی لانگ اشتون

آبیاری شدند. پس از ۵ هفته زمانی که گیاهان به مرحله ۳ تا ٤ برگی رسیدند، جهت اعمال تیمار SA مورد استفاده قرار گرفتند.

تیمار SA: ابتدا محلول‌هایی از SA با غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵، ۳، ٦ و ۹ میلی‌مولار تهیه گردید. سپس برگ‌های ۳ و ٤ گیاهان بعد از ۵ هفته رشد، به‌مدت یک هفته و به صورت یک روز در میان با محلول اسپری شدند آنقدر که از انتهای برگ‌ها محلول جاری شد.

اندازه‌گیری طول اندام هوایی و ریشه از بوته‌های داخل گلدان‌ها: در پایان تیماردهی، طول ساقه و ریشه با استفاده از خط کش اندازه‌گیری شد. طول ساقه از یقه تا قسمت انتهای ساقه و طول ریشه از یقه تا انتهای ریشه در نظر گرفته شد. برای هر تیمار ٤ تکرار در نظر گرفته شد و مقادیر بر اساس سانتی‌متر گزارش شد.

سنجش مقدار آنتوسیانین‌ها: جهت اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌ها، ۰/۱ گرم از اندام هوایی تازه گیاه درهاون چینی با ۱۰ میلی‌متر متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به نسبت حجمی ۱:۹۹) کاملا سائیده و به مدت ٢٤ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس ۱۰ دقیقه در g ٤۰۰۰ سانتریفوژ و جذب محلول بالایی در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. با استفاده از ضریب خاموشی ۳۳۰۰۰ مول بر سانتی‌متر مکعب غلظت آنتوسیانین‌ها محاسبه و نتایج بر حسب میکرومولار بر گرم وزن تر ارائه شد (Wanger, 1979).

سنجش مقدار قندهای احیاء کننده: مقدار قندهای احیا کننده در برگ‌ها با استفاده از روش سوموگی اندازه گیری شد. ۰/۰۵ گرم از بافت تازه برگ و ریشه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر درهاون چینی سائیده شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از هر یک از عصاره‌های تهیه شده به لوله آزمایش منتقل شد و پس از افزودن ۲ میلی‌لیتر محلول سولفات مس به آنها، سر لوله‌ها با پنبه مسدود گردید. هر یک از این لوله‌ها به مدت ۸ دقیقه در حمام آب گرم با حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از آنکه لوله‌ها سرد شدند، ۲ میلی‌لیتر محلول فسفومولیبدیک اسید به آنها افزوده شد و پس از چند لحظه رنگ آبی پدیدار گردید. شدت جذب محلول‌ها در طول موج ٦۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد و با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت قندهای احیا کننده محاسبه گردید (Somogyi, 1952).

سنجش مقدار پروتئین: همچنین مقدار پروتئین‌ها در برگ‌ها با استفاده از روش **برادفورد** اندازه‌گیری شد (Bradford, 1976).

روش اندازه گیری آسکوربات ودهیدروآسکوربات: برای اندازه‌گیری مقدار آسکوربات و دهیدروآسکوربات ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در ۱۰ میلی‌لیتر متافسفریک ۵ درصد سائیده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در g ۱۰۰۰۰سانتریفوژ گردید. شدت جذب نمونه‌ها در ۵۲۵ نانومتر خوانده شد. برای تنظیم دستگاه اسپکتروفتومتر از محلولی که به جای عصاره گیاهی حاوی ۳۰۰ میکرولیتر متافسفریک اسید ۵ درصد و بقیه محلول‌ها بود، به عنوان شاهد استفاده شد. برای محاسبه غلظت آسکوربات دهیدروآسکوربات از منحنی استاندارد مربوط به هر کدام از موارد استفاده شد و نتایج حاصل بر حسب وزن تر گیاه محاسبه و گزارش گردید (De Pinto et al., 1999).

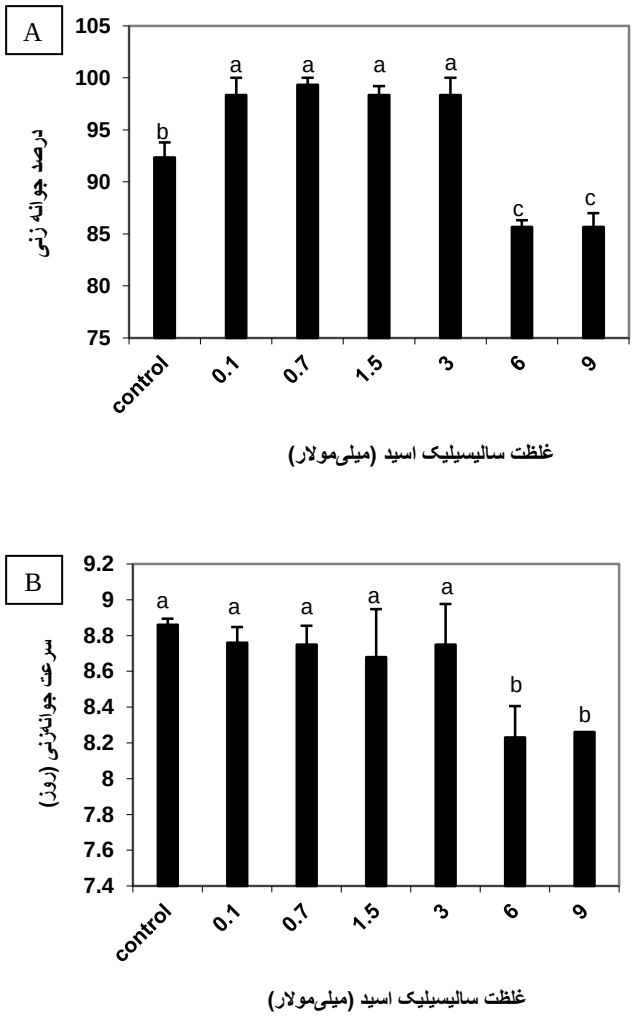
اندازه‌گیری مقدار پرولین: در این روش ابتدا ۰/۰٤ گرم از بافت‌های تر برگ گیاهان به تعداد چهار تکرار در هر غلظت بر روی یخ وزن گردید. هر نمونه با ۱/۷ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد (w/v) به خوبی ساییده شد تا به طور کامل یک دست گردید. برای اندازه‌گیری، ابتدا دستگاه اسپکتروفتومتر

توسط تولوئن و در طول موج ۵۲۰ نانومتر روی صفر تنظیم گردید و سپس از هر لوله ۱ میلی‌لیتر از فاز بالایی برداشته و داخل کووت کوارتز ریخته شد. سپس جذب ترکیب رنگی هر نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد (Bates et al., 1973).

تجزیه و تحلیل آماری: در این تحقیق تجزیه واریانس بر اساس طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون دانکن با ضریب اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

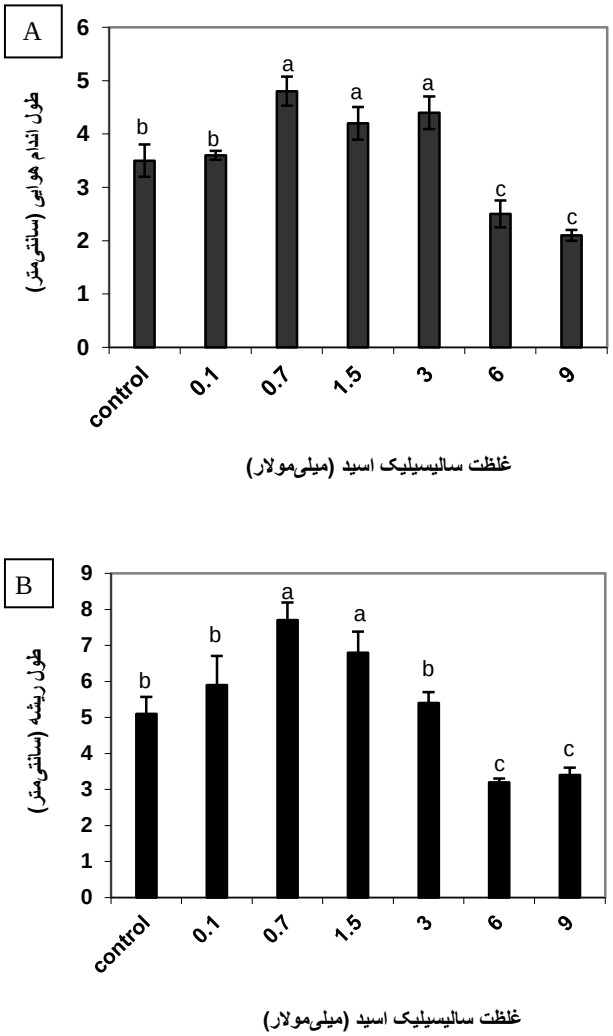
نتایج

اثر SA بر درصد و سرعت جوانه‌زنی: درصد جوانه زنی در بذرهای تحت تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت اما در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل A-۱). سرعت جوانه زنی در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافت در بقیه غلظت‌ها اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت (شکل B-۱).



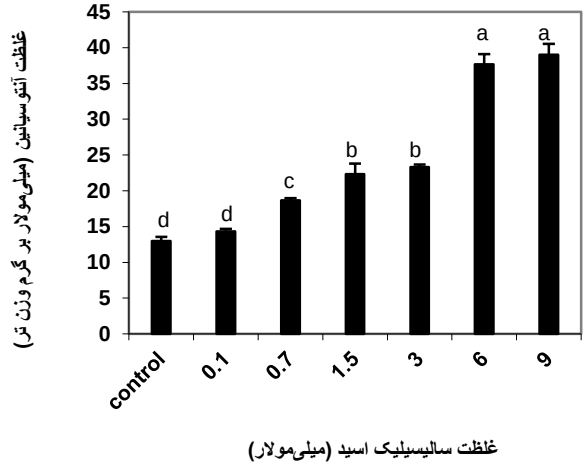
شکل ۱: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر درصد جوانه زنی (A) و سرعت جوانه زنی (B) گیاه فلفل. غیر مشابه بیانگر معنی دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

اثر SA بر طول اندام هوایی و ریشه: همانطور که در شکل A-۲ مشاهده می‌شود، طول اندام هوایی در گیاهانی که تحت تیمار غلظت‌های مختلف SA قرار گرفته‌اند در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی داری نشان دادند. اما در غلظت‌های ۳ و ۰/۷ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری مشاهده شد. نتایج حاصل از شکل (B-۲) نشان می‌دهد که طول ریشه در تیمار ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به کنترل کاهش معنی داری یافت اما در تیمارهای ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش معنی داری مشاهده شد.



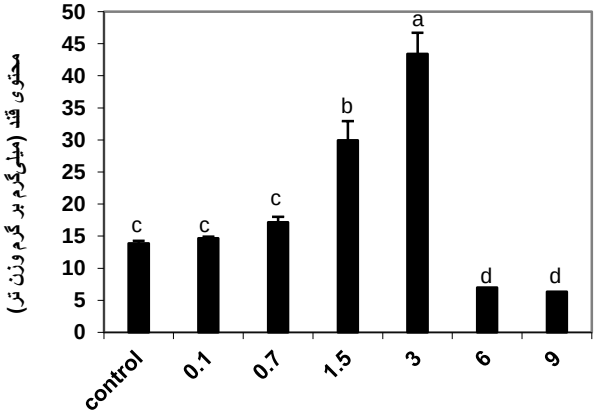
شکل ۲: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر طول اندام هوایی و ریشه گیاه فلفل. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

اثر SA بر میزان آنتوسیانین: نتایج حاصل از تیمار SA بر مقدار آنتوسیانین‌ها نشان داد که تیمار SA در غلظت‌های ۰/۷، ۱/۵، ۳، ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد، مقدار آنتوسیانین‌ها را افزایش داده است. به طوری که مقدار آنتوسیانین‌ها در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش چشمگیری یافت (شکل ۳).



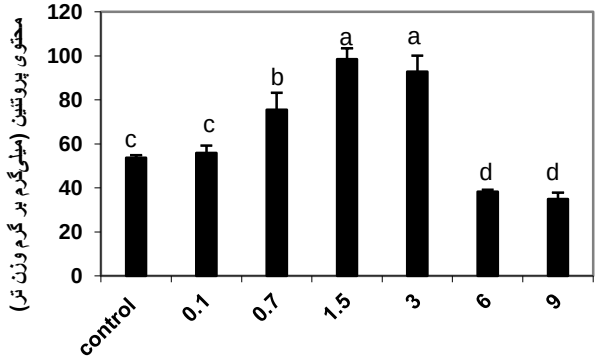
شکل ۳: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار آنتوسیانین در برگ گیاه فلفل. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

اثر SA بر مقدار قند: نتایج حاصل از تیمار SA نشان می‌دهد که مقدار قند در برگ‌های فلفل در غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت اما در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی داری داشت. تغییرات در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۷ نسبت به شاهد معنی‌دار نبودند (شکل ٤).



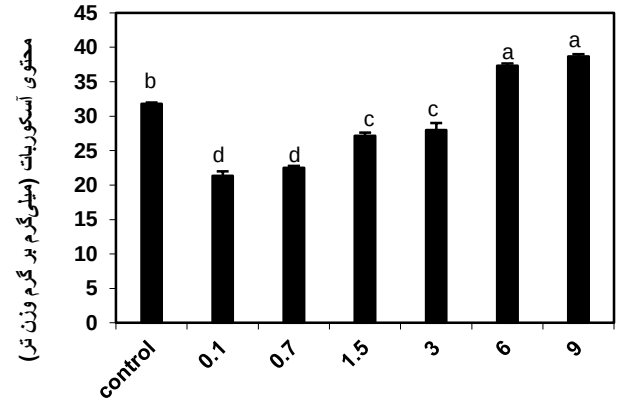
شکل ٤: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار قند در برگ گیاه فلفل. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

اثر SA بر مقدار پروتئین: نتایج حاصل از تیمار SA نشان می‌دهد که مقدار پروتئین، تحت غلظت‌های ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد اما در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۵).



شکل ۵: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار پروتئین در برگ گیاه فلفل. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

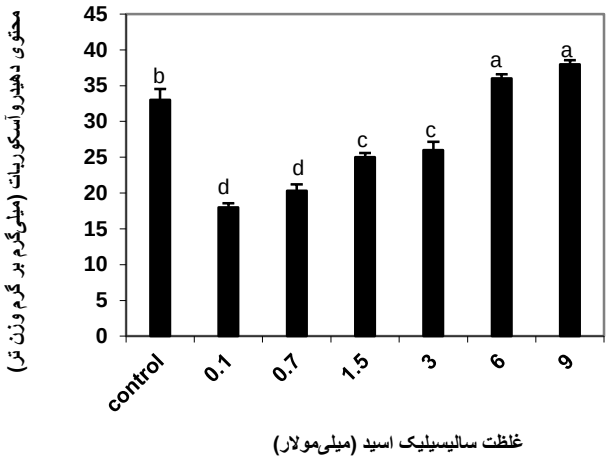
اثر SA بر مقدار آسکوربات: نتایج حاصل از تیمار SA نشان می‌دهد که مقدار آسکوربات، تحت غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد اما مقدار آسکوربات تحت تیمار غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. غلظت ۰/۱ و ۰/۷ تفاوت معنی داری نسبت به شاهد نشان نداد (شکل ٦).



شکل ٦: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدارآسکوربات در برگ گیاه فلفل. داده‌ها میانگین ٤ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

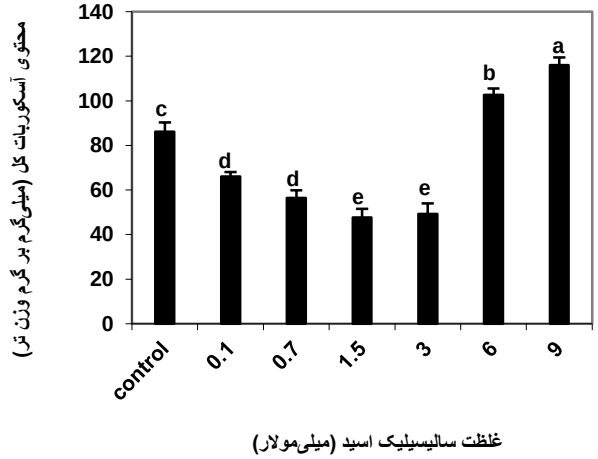
اثر SA بر مقدار دهیدروآسکوربات: در گیاه تحت تیمار با غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار SA مقدار دهیدروآسکوربات به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار SA، مقدار

دهیدروآسکوربات را بـه طـور معنـی‌داری نسـبت بـه کنترل افزایش داد اما در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۷ تفاوت معنی‌داری نسبت به کنترل مشـاهده نشـد (شـکل ۷).



شکل ۷: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار دهیدروآسکوربات در برگ گیاه فلفل. داده‌ها میانگین ٤ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

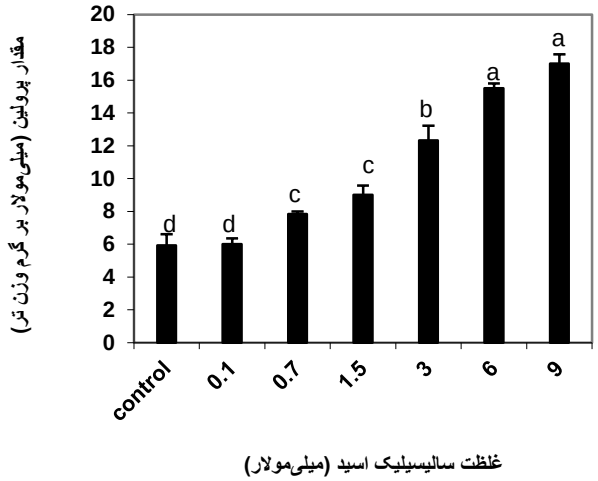
اثر SA بر مقدار آسـکوربات کـل: در گیـاه تحـت تیمـار بـا غلظـت ۰/۱، ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مـولار SA مقدار آسکوربات کل به‌طور معنی‌داری کـاهش یافـت اما در تیمار با غلظـت‌هـای ٦ و ۹ میلی‌مـولار، مقـدار آسکوربات کل به طور معنـی‌داری نسـبت بـه کنتـرل افزایش یافت (شکل ۸).



شکل ۸: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار آسکوربات کل در برگ گیاه فلفل. داده‌ها میانگین ٤ تکرار± انحراف معیار است. حروف غیر مشابه بیانگر معنی دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

اثر SA بر مقدار پرولین: داده‌های حاصل از سـنجش مقدار پرولین نشـان داد کـه تـنش سالیسـیلیک اسـید باعث افزایش معنی‌دار در غلظت‌هـای ۰/۷، ۱/۵، ۳، ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد شد اما در غلظـت ۰/۱

تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (شکل ۹).



شکل ۹: اثر تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید بر مقدار پرولین در برگ گیاه فلفل. داده‌ها میانگین ٤ تکرار ± انحراف معیار است. حروف غیر مشابه بیانگر معنی‌دار بودن داده‌ها بر اساس آزمون دانکن است (P<۰/۰۵).

بحث

SA مولکولی موثر است که باعث ایجاد مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که تاثیر SA وابسته به غلظت، نوع گیاه و مرحله نموی آن است. با وجود این، زمانی که در غلظت‌های بالا استفاده می‌شود عاملی سمی برای گیاه محسوب می‌شود که به مرگ گیاه منجر می‌شود (Kovacik et al., 2009). ترکیبات فنلی از جمله سالیسیلیک اسید در جوانه زنی نقش دارند. اما آنها ممکن است تحریک کننده یا جلوگیری کننده جوانه زنی باشند و ممکن است جوانه زنی را در بعضی گیاهان تسریع کنند که به پوشش دانه بستگی دارد (Santos-Ruiz and Martinez-Honduvilla, 1978).

Shakirova (۲۰۰۳) ثابت کرد که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید باعث تحریک جوانه‌زنی بذر می‌شود و El-tayeb (۲۰۰۵) اثر تحریک کنندگی سالیسیلیک اسید را بر جوانه‌زنی بذر جو ثابت کرد و نشان داد که درصد جوانه زنی بذرهای جو نسبت به کنترل افزایش معنی‌داری نشان داده است. احتمالا کاهش مشاهده شده در درصد جوانه زنی در غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید ممکن است ناشی از مهار بیوسنتز اتیلن باشد.

طول اندام هوایی و ریشه در گیاهانی که تحت تنش سالیسیلیک اسید قرار گرفتند در تیمار ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی داری داشت. در حالی که در تیمار ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار نسبت به کنترل افزایش معنی‌داری مشاهده شد. گزارش شده است که رشد و تکامل به غلظت‌های مختلفی از سالیسیلیک اسید وابسته است (Turkyilmaz et al., 2005). همچنین سالیسیلیک اسید موجب افزایش گلدهی و سرعت رشد در *Lemna gibba G3* شده است (Ben-Tal and Cleland, 1982).

سازوکاری که سالیسیلیک اسید رشد ریشه و بخش هوایی را در برخی گیاهان افزایش می‌دهد شناخته نشده است اما احتمال داده می‌شود که سالیسیلیک اسید طویل شدن و تقسیم سلولی را به همراه مواد دیگری مانند اکسین تنظیم نماید

(Nourafcan, 2014). تیمار سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی مریستم‌های رأسی را در گیاهچه‌های گندم افزایش داد و سبب افزایش رشد گیاهان شد. فیتوهورمونها نقش کلیدی در تنظیم رشد گیاهان بازی می کنند. مشخص شده است که سالیسیلیک اسید سبب تجمع آبسیزیک اسید و ایندول استیک اسید در دانه رست‌های گندم شده است (Sakhabutdinova et al., 1003). ثابت شده است طول ریشه تحت تیمار سالیسیلیک اسید در *Oryza sativa* L. نسبت به شاهد افزایش یافته است (and Choudhury , 2004 Panda). Gutierreza و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که رشد ساقه و ریشه گیاهان سویا در پاسخ به تیمار سالیسیلیک اسید افزایش یافته است.

در این پژوهش مقدار آنتوسیانین‌ها تحت تیمار غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید افزایش یافت. تحقیقات زیادی افزایش مقدار آنتوسیانین را تحت تیمار سالیسیلیک اسید نشان داده اند. گزارش شده است که سالیسیلیک اسید موجب افزایش میزان آنتوسیانین‌ها در اسپیرودلا شده است (et al., 1997 Popova).

نتایج حاصل از اندازه گیری مقدار قند در برگ‌های فلفل در تیمارهای ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت اما در تیمارهای ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. تیمار سالیسیلیک اسید محتوی قندهای محلول را در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده در ذرت کاهش داد اما مقدار پلی ساکاریدها در تیمار سالیسیلیک اسید افزایش یافت (Khodary, 2004). در تحقیقات Sharma و Lakhvir (۱۹۸۸) مشخص شده است که سالیسیلیک اسید موجب کاهش قندهای محلول در کلزا شده است. بنابراین مقدار قند به غلظت سالیسیلیک اسید بستگی دارد.

محتوای پروتئینی برگ‌های گیاه فلفل تحت تنش غلظت‌های ۰/۷، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نسبت به شاهد افزایش معنی داری نشان داد اما در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری داشت. تحت تیمار سالیسیلیک اسید مقدار زیادی از پروتئین‌هایی تولید شده است که شامل PR–پروتئین‌ها هستند و نقش فعالی در برابر عوامل بازی می‌کنند (Enyedi et al., 1992). سطوح بالای گونه‌های اکسیژن فعال نیز (ROS) سبب افزایش تجمع سالیسیلیک اسید و پروتئین‌هایی از قبیل PR1 و PR2 (pathogenesis-related) می‌شود (et al., 2005 Kariola).

Pancheva و همکاران (۱۹۹٦) گزارش کردند که تیمار طولانی مدت دانه رست‌های جو با سالیسیلیک اسید نسبت فتوسنتز و فعالیت روبیسکو کربوکسیلاز را کاهش داد اما تیمار کوتاه مدت سالیسیلیک اسید بر نسبت فتوسنتز گیاهان در مقایسه با شاهد اثری نداشت. بنابراین کاهش مقدار پروتئین در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی میلی‌مولار می‌تواند به این علت باشد. داده‌های حاصل از سنجش مقدار پرولین تحت تنش سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار غلظت‌های مختلف نسبت به شاهد شد. انباشتگی پرولین در سیتوپلاسم سلول‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی و مکانیسم‌های مقاومت در برابرتنش‌ها دارد.

نتایج تحقیقی نشان داده است که تیمارسالیسیلیک اسید در کوتاه مدت سطح آسکوربات را در گیاهچه‌های خردل کاهش و سطح دهیدروآسکوربات را افزایش داده است در حالیکه تیمار طولانی مدت سالیسیلیک اسید مقدار آسکوربات و دهیدروآسکوربات را در گیاهچه‌های خردل در مقایسه با شاهد افزایش داده است (Dat et al., 1998).

نتیجه‌گیری نهایی

در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان کرد که تیمار SA در غلظت‌های پایین ۰/۱ و ۰/۷ میلی‌مولار اثرات مثبت بر رشد و نمو گیاه دارد و در غلظت‌های بالای ٦ و ۹ میلی‌مولار اثرات منفی بر رشد ونمو گیاهان فلفل دارد. بنابراین غلظت‌های بالا SA به غشاهای زیستی خسارت وارد می‌کنند که ناشی از تولید رادیکال‌هایی است که از ظرفیت دفاعی گیاه بیشتر بوده است. تیمار سالیسیلیک اسید به طور کلی در غلظت‌های پایین (۰/۱ و ۰/۷) تفاوت معنی داری در مقایسه با گیاه شاهد ندارد در غلظت‌های متوسط (۱/۵ و ۳) اثرات مثبت بر رشد و نمو گیاه دارد و در غلظت‌های بالا (٦ و ۹) اثرات منفی بر رشد ونمو گیاهان فلفل دارد. غلظت‌های ٦ و ۹ میلی مولار سالیسیلیک اسید باعث کاهش قابل ملاحظه طول گیاه فلفل می شوند. آنتوسیانین‌ها در غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید افزایش نشان می دهند. مقدار قند و پروتئین در غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید کاهش و در غلظت‌های متوسط سالیسیلیک اسید افزایش قابل ملاحظه ای نشان می‌دهد. میزان آسکوربیک اسید و دهیدروآسکوربیک اسید در غلظت‌های ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار کاهش و در غلظت‌های ٦ و ۹ میلی‌مولار افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت.

سپاسگزاری

نگارنده از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه پیام نور به خاطر حمایت مالی از پژوهش حاضر، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

References

Agustina, B.V., Cesar, P., Antonio, H.J. and Pedro, D.V. (2017). The effect of abiotic stress on the salicylic acid biosynthetic pathway from mandelonitrile in peach. The Preprint Server for Biology. In Press.

Bates, L.S., Waldern, R.P. and Teare, D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye bindin. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.

Choudhury, S. and Panda, S.K. (2004). Role of salicylic acid in regulating cadmium induced oxidative stress in *Oryza sativa* L. roots. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 30 (3-4): 95-110.

Cleland, C.F. and Ben-Tal, Y. (1982). Influence of giving salicylic acid for different time periods on flowering and growth in the long-day plant *Lemna gibba G3*. Plant Physiology, 70: 287-290.

Dat, J.F., Foyer, C.H. and Scott, L.M. (1998). Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in Mustard seedlings. Plant Physiology, 118: 1455-1461.

De Pinto, M.C., Francis, D. and De Gara, L. (1999). The redox state of the ascorbate-dehydroascorbate pair as a specific sensor of cell division in tobacco BY-2 cells. Protoplasma, 209: 90-97.

El-Tayeb, M.A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation, 45: 215-225.

Enyedi, A.J., Yalpani, N., Silverman, P. and Raskin, I. (1992). Signal molecules in systemic plant resistance to pathogens and pests. Cell, 70: 879-886.

Gutierrez-Coronado, M.A., Trejo-Lopez, C. and Larqué-Saavedra, A. (1998). Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. Plant Physiology and Biochemistry, 36: 653-665.

Kariola, T., Brader, G., Li, J. and Palva, E.T. (2005). Chlorophyllase 1, a damage control enzyme, affects the balance between defense pathways in plants. The Plant Cell, 17: 282-294.

Khan, M.I. R., Syeed, S., Nazar, R. and Anjum, N.A. (2012). An insight into the role of salicylic acid and jasmonic acid in salt stress tolerance. In: Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants (Eds. Khan, N. A., Nazar, R., Iqbal, N. and Anjum, N. A.) 277-300. Springer, New York.

Kovacik, J., Gruz, J., Backor, M., Strnad, M. and Repcak, M. (2009). Salicylic acid induced changes to growth and phenolic

metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. Plant Cell Reports, 28: 135-143.

Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148: 350-382.

Martinez-Honduvilla, C.J. and Santos-Ruiz, A. (1978). Germination inhibitors in the pine seed coat. Planta, 141: 141-144.

Mahdavian, K (2017). The effect of different concentrations of salicylic acid on the pigments content, rutin and quercetin in pepper (*Capsicum annuum*). Iranian Journal of Plant Biology, 31: 45-58.

Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S. and Khan, N.A. (2011). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. Journal of Plant Physiology, 168: 807-815.

Nourafcan, H. (2014). Effect of salicylic acid on salinity stress tolerance improvement of peppermint (*Mentha piperita* L.) in greenhouse. Modern Science of Sustainable Agriculture Journal, 10 (2): 85-95.

Pancheva, T.V., Popova, L.P. and Uzunova, A.N. (1996). Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. Journal of Plant Physiology, 149: 57-63.

Perl-treves, R. and Perl, A. (2000). Molecular oxygen and its reactive derivatives. Oxidative stress in plant. Taillor and Francis INC. Ed by: Inze, D and Montagu, M.V Chapter 1. pp: 1-32.

Popova, L., Pancheva, T. and Uzunova, A. (1997). Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 23 (1-2): 85-93.

Rao, M.V., Koch, J.R. and Davis, K.R. (2000). Ozone: a tool for probing programmed cell death in plants. Plant Molecular Biology, 44: 345-358.

Sakhabutdinova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V. and Shakirova, F.M. (2003). Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue, 314-319.

Sakhabutdinova, A.R., Fatkhutdinova, D.R., Bezrukova, M.V. and Shakirova, F.M. (2003). Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue. 314-319.

Sharma, A.O., Sreelakshmi, Y. and Sharma, R. (1997). Antioxidant ability of anthocyanins against ascorbic acid oxidation. Phytochemistry, 45 (4): 671-674.

Sharma, R. and Lakhvir, S. (1988). Effect of phenolic compounds on some biochemical parameters during seed development in raya (*Brassica juncea* L.). Journal of Plant Science and Research, 4: 69-72.

Smirnoff, N. and Wheelev, G.L. (2000). Ascorbic acid in plants: Biosynthesis and function. Critical Reviews in plant sciences. 19 (4): 267-290.

Somogy, M. (1952). Notes on sugar determination. Journal of Biological Chemistry, 195: 19-29.

Syeed, S., Anjum, N.A., Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A. and Khan, N.A. (2011). Salicylic acid mediated changes in photosynthesis, nutrients content and antioxidant metabolism in two mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in salt tolerance. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 877-886.

Szalai, G., Tari, I., Janda, T., Pestenacz, A. and Paldi, E. (2000). Effects of cold acclimation and salicylic acid on changes in ACC and MACC contents in maize during chilling. Biologia Plantarum, 43: 637-640.

Turkyilmaz, B., Aktas, L. Y. and Güven, A. (2005). Salicylic acid induced some biochemical and physiological changes in *Phaseolus vulgaris* L.F.Ü. Fen ve MÜhendisilik Bilimleri Dergisi, 17: 319-326.

Wanger, G.J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology, 64: 88-93.

Yalpani N., Enyedi A.J., Leon J. and Raskin I. (1994). Ultraviolet light and ozone stimulate accumulation of salicylic acid and pathogenesis related proteins and virus resistance in tobacco. Planta, 193: 373-376.