

## بررسی کاربرد اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک بر متابولیسم گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری

سلما جمالیان\*

استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، فارس، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۹)

### چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی اثر اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک در رژیم‌های مختلف تنش شوری با نمک کلرید سدیم (NaCl)، روی تغییرات متابولیسمی برگ گیاه توت‌فرنگی از دو رقم 'کردستان' و 'کوئین‌الیزا' در قالب طرح کاملاً تصادفی به انجام رسید. کاهش اثرات نامطلوب تنش ناگهانی نمک کلرید سدیم و تنش شوری تدریجی با NaCl با افزایش مقدار فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مشاهده شد. اسید آبسازیک و اسید جاسمونیک باعث افزایش معنی‌دار مقدار کل پروتئین محلول در برگ‌های رقم 'کردستان' در شرایط بدون تنش و تنش تدریجی NaCl شدند. نقش اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک در افزایش اسید آسپارتیک در تنش تدریجی NaCl قابل‌مشاهده بود. تنش ناگهانی NaCl افزایش معنی‌دار تیروزین را القا کرد و کاربرد هر دو هورمون سبب افزایش مقدار اسیدهای آمینه آسپاراژین، آلانین، هیستیدین و GABA شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک، هورمون‌های مهم تنش هستند و کاربرد اسید آبسازیک و غلظت‌های مختلف اسید جاسمونیک، باعث فعال‌سازی مکانیزم دفاعی گیاه توت‌فرنگی در برابر تنش شوری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید آبسازیک، اسید جاسمونیک، توت‌فرنگی، تنش شوری، تغییرات متابولیسمی.

## Effects of Jasmonic acid and abscisic acid on metabolism of strawberry under NaCl stress

Salma Jamalian\*

Assistant Professor, College of Agriculture, Jahrom University, Fars, Iran  
(Received: Apr. 29, 2018 - Accepted: Jul. 10, 2018)

### ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the effect of application of exogenous jasmonic acid (JA) and abscisic acid (ABA) at different salinity regimes, on primary and secondary metabolic changes of 'Kurdistan' and 'Queen Elisa' strawberry leaves. The reduction of adverse effects of sudden salt stress and gradual salt stress regime by increasing total phenolic content and total antioxidant capacity, has been confirmed in 'Kurdistan' and 'Queen Elisa' after application of JA and ABA. The presence of the two hormones under non-saline conditions significantly increased total soluble protein content but less than 10 mM L<sup>-1</sup> of sudden salt stress adverse effects were noticed. Abscisic acid and JA caused a clear increase in total soluble proteins of 'Kurdistan' leaves at both gradual salt stress and non-saline conditions. The role of JA and ABA in aspartic acid increment at gradual salt regime was notable. Salt stress induced tyrosine increase and both hormones enhanced asparagine, alanine, histidine, and GABA contents, respectively. The study reveals that JA and ABA are important plant stress hormones and application of ABA accompanied by different JA concentrations activated the protective mechanism of the strawberry plant against NaCl stress.

**Keywords:** Abscisic acid, Jasmonic acid, primary metabolites, salinity, secondary metabolites, strawberry.

### مقدمه

تنش شوری یکی از مهمترین عوامل محیطی محدودکننده تولید محصولات است. افزایش تنش شوری در زمین‌های کشاورزی موجب از بین رفتن زمین‌های قابل کشت به میزان ۵۰٪ تا اواسط قرن بیست و یکم شده است (Mahajan & Tuteja, 2005). غلظت‌های بالای نمک در خاک یا آب آبیاری، اثرات نامطلوبی روی متابولیسم گیاه دارد. اثر تنش شوری روی گیاهان بستگی به غلظت نمک، مدت زمان قرار گرفتن در معرض تنش، ژنوتیپ گیاه و عوامل محیطی از جمله دمای بالا و شرایط نوری دارد (Hassanuzzaman *et al.*, 2013; Ivanov, 2010). گیاه توت‌فرنگی نسبت به تنش شوری حساس است اما تفاوت‌هایی از نظر حساسیت بین ارقام مختلف آن وجود دارد. اثرات نامطلوب تنش شوری روی رشد گیاه، عملکرد میوه در مطالعات مختلف گزارش شده است (Keutgen & Pawelzik, 2009; D'Anna *et al.*, 2003; Kaya *et al.*, 2002). یکی از پاسخ‌های متابولیکی معمول در برابر تنش شوری در بسیاری از گیاهان، تجمع مواد آلی محلول با وزن ملکولی کم است. این مواد محلول، پلی‌ال‌های خطی (گلیسرول، مانیتول یا سوربیتول)، پلی‌ال‌های حلقوی (اینوسیتول یا پینیتول) و اسیدهای آمینه را شامل می‌شوند (Jouyban, 2012). سنتز پلی‌فنول‌ها و تجمع آنها در پاسخ به تنش‌های زیستی یا غیرزیستی القا می‌شود (Muthukumarasamy *et al.*, 2000). افزایش مقدار پلی‌فنول‌ها در بافت‌های مختلف گیاهی با افزایش تنش شوری قابل مشاهده است (Parida & Das, 2005). اثر بازدارنده تنش شوری روی تولید ترکیبات فنولی باند شده در ارقام گندم و لوبیا را گزارش کردند. تنش شوری متوسط در حدود ۴۰ میلی‌مول بر لیتر باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار فنول در رقم 'کورونا' می‌شود (Keutgen & Pawelzik, 2007). گزارش شده است که غلظت بالای نمک کلرید سدیم در محلول غذایی باعث کاهش مقدار کل پروتئین محلول در برگ‌های توت‌فرنگی می‌شود در حالی که فعالیت پراکسیداز افزایش نشان داد (Gulen *et al.*, 2006). غلظت بالای کلرید سدیم به میزان ۴۰ و ۸۰ میلی‌مول بر لیتر، آسکوربیک اسید و همچنین اسیدهای آمینه آزاد شامل پرولین، آسپاراژین، و گلوتامین

را افزایش داد (Keutgen & Pawelzik 2008 a,b). پاسخ گیاهان به تنش شوری تحت تأثیر هورمون‌های گیاهی از جمله متیل‌جاسمونات، آبسازیک‌اسید و سایتوکینین قرار می‌گیرد (Yoon *et al.*, 2009; Parida & Das, 2005). Kempa *et al.* (2008)، گزارش کردند که کاربرد آبسازیک‌اسید و غلظت بالای نمک NaCl، مسیر اولیه متابولیسم کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اسید جاسمونیک و متیل‌استرها، آن، ویژگی‌های هورمونی داشته و از ترکیبات اصلی سازگاری با تنش‌های زیستی و غیرزیستی هستند (Wasternach & Hause, 2003). Qui *et al.* (2012)، گزارش کردند که اسید جاسمونیک از طریق تحریک افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش غلظت ترکیبات آنتی‌اکسیداتیو، به‌طور مؤثری از دانه‌های گندم در برابر آسیب تنش شوری محافظت می‌کند. نقش اصلی آبسازیک‌اسید، تنظیم تعادل آب گیاه و ایجاد مقاومت اسمزی است (Tuteja, 2007). بین سطوح دو هورمون اسید آبسازیک و اسید جاسمونیک و مقاومت به تنش شوری، ارتباطاتی گزارش شده است. رشد برگ و اسیدی‌شدن آپوپلاست سلول‌های برگ در ژنوتیپ‌های ذرت در طول فاز اول تنش شوری، از طریق سیگنال‌های اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک به اثبات رسیده است (Shahzad, 2011). از طریق برهمکنش اسید جاسمونیک با اسید آبسازیک، پاسخ‌های گیاه به تنش‌های آبی در گیاه آرابیدوپسیس تنظیم شده است و تداخل پیچیده‌ای بین این دو هورمون یافت شده است (Ollas *et al.*, 2015). اما اثر هورمون‌های تنش، به‌خصوص اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک روی ویژگی‌های متابولیکی ارقام مختلف توت‌فرنگی تحت وضعیت تنش شوری با NaCl به‌طور ناگهانی در مقایسه با تدریجی تاکنون مطالعه نشده و یا اطلاعات اندکی وجود دارد. 'کردستان' یک رقم روزکوتاه محلی ایران با میوه‌های کوچک و کیفیت خوب است که در شهرستان سنندج، استان کردستان مورد کشت قرار می‌گیرد. 'کوئین‌الیزا' رقم روزکوتاه غیرمحلی است که در ایتالیا اصلاح و معرفی شده است و در ایران مورد کشت قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت اقتصادی و ارزش غذایی و افزایش تنش شوری در اراضی تحت کشت، ارقام 'کردستان' و 'کوئین‌الیزا' انتخاب و معرفی شدند. هدف

زمان استقرار کامل گیاه، به منظور انجام تیمار تنش شوری ناگهانی، گیاهان در معرض ۱۰ میلی مول بر لیتر NaCl قرار گرفتند. تیمارهای کنترل بدون هیچ نوع تنش شوری رشد یافتند. تمامی تیمارها سه بار در هفته انجام شد و برای جلوگیری از رسوب نمک در محیط کشت، آب دو بار تقطیر شده یک بار در هفته به هر گلدان داده شد. این راهکار به منظور کاهش اثرات کمبود آب و تمرکز بیشتر روی اثر نمک NaCl به طور خاص در سطوح مورد آزمایش در نظر گرفته شد. حدود ۲۴ ساعت پس از اولین تیمار شوری، گیاهان با اسیدآبسیزیک و اسیدجاسمونیک اسپری شدند. تمام گیاهان با اسیدآبسیزیک در غلظت‌های ۰ یا ۴۰ ماکرو مول بر لیتر اسپری شدند. برای بررسی اثر اسید جاسمونیک، تمام گیاهان (تیمارهای شاهد و ۴۰ ماکرومول بر لیتر اسید آبسیزیک) با سطوح شاهد، ۵، ۱۰ و ۲۰ میکرومول بر لیتر اسید جاسمونیک تیمار شدند. گیاهان شاهد با اتانول ۰/۵٪ و توپین ۲۰، ۰/۵٪ تیمار شدند. چهار هفته بعد از اتمام تیمار تنش شوری با NaCl به طور ناگهانی و تدریجی، شش برگ (دو برگ از هر کدام از انواع برگ‌های جوان، متوسط و مسن)، به عنوان نمونه از هر تکرار انتخاب شدند. تمام نمونه‌ها با اضافه کردن نیتروژن مایع و تحت خلأ خشک و پودر شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آسیاب پیشرفته (Retsch-MM 400, Germany) به ذرات بسیار ریز تبدیل شدند و به منظور انجام آنالیز در دمای اتاق نگهداری شدند. نمونه‌های برگ خشک توت‌فرنگی‌های رقم 'کوئین‌الیزا' و 'کردستان'، در یک محلول عصاره‌گیری (۷۰ میلی‌لیتر متانول ۰/۸۰٪، ۳۰ میلی‌لیتر آب و ۰/۱ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریدریک ۰/۳۶٪) به نسبت ۱:۵ همگن شدند و به لوله‌های پلاستیکی با حجم ۵ میلی‌لیتر منتقل شدند. بعد از سانتریفیوژ با قدرت  $\times g$  ۱۳۰۰۰، به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، محلول رویی به لوله‌های جدید منتقل شد. مقدار فنول کل به روش اسپکتوفوتومتری فولین-سیکاجیو اندازه‌گیری شد (Singleton & Rossi, 1965). یک منحنی کالیبراسیون با استفاده از غلظت‌های متفاوت (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ اکی‌والان بر گرم وزن تر اسید گالیک) از محلول‌های استاندارد گالیک‌اسید به دست آمد. به منظور آنالیز، ۵۰

از انجام این پژوهش، مطالعه اثرات کاربرد خارجی اسیدجاسمونیک و اسیدآبسیزیک در رژیم‌های مختلف تنش شوری بر تغییرات متابولیت‌های اولیه و ثانویه در برگ‌های این ارقام است.

## مواد و روش‌ها

گیاهان توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) از ارقام 'کردستان' و 'کوئین‌الیزا' به صورت تکی در گلدان‌های پلاستیکی دو لیتری محتوی مخلوط پرلیت و کوکوپیت (۱:۱)، کاشته شدند و سپس هر یک به طور مستمر با ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول غذایی ۱/۲ هوگلند شامل: عناصر ماکرو:

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ، ۱۱۵/۰۳ گرم بر لیتر

$\text{KNO}_3$ ، ۱۱۰/۱۰ گرم بر لیتر

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، ۲۳۶/۱۵ گرم بر لیتر

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۲۴۶/۴۷ گرم بر لیتر

عناصر میکرو:

$\text{KCl}$ ، ۳/۲۲۸ گرم بر لیتر

$\text{H}_3\text{BO}_3$ ، ۱/۵۴۶ گرم بر لیتر

$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۸۴۵ گرم بر لیتر

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۵۷۵ گرم بر لیتر

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۱۲۵ گرم بر لیتر

$\text{H}_3\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، ۰/۰۹ گرم بر لیتر

$\text{FeEDDHA}$ ، ۹/۳۱ گرم بر لیتر

گیاهان به صورت تصادفی در گلخانه‌ای با دمای روز/شب، ۲۵/۱۶ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۸۰٪-۷۵٪ و شرایط ۱۲ ساعت روشنایی/۱۲ ساعت تاریکی قرار گرفتند. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی (سه متغیر: رژیم‌های تنش شوری، تیمار آبسیزیک‌اسید و تیمارهای اسیدجاسمونیک) با سه تکرار در هر تیمار و سه گیاه در هر تکرار به انجام رسید. برای القای تنش شوری، نمک کلرید سدیم (NaCl)، به محلول غذایی اضافه شد. تیمار تنش شوری تدریجی تا حداکثر ۱۰ میلی‌مول بر لیتر در طول پنج هفته اعمال شد. هفته اول: ۰ میلی‌مول بر لیتر NaCl، هفته دوم: ۲ میلی‌مول بر لیتر NaCl، هفته سوم: ۴ میلی‌مول بر لیتر NaCl، هفته چهارم: ۸ میلی‌مول بر لیتر NaCl و هفته پنجم: ۱۰ میلی‌مول بر لیتر NaCl. چهار هفته بعد از کاشت و در

استفاده از روش سنجش BioRad با باین سرم آلبومین (BSA)، به عنوان استاندارد مشخص شد (Bradford, 1976).

برای اندازه‌گیری اسیدهای آمینه آزاد شامل اسیدآسپارتیک، آسپاراژین، آلانین، تیروزین و (-GABA (aminobutyric acid در برگ‌های رقم 'کوئین الیزا'، ۱۲۵ میلی‌گرم از هر کدام از نمونه‌های خشک در ۲ میلی‌لیتر از اسید هیدروکلریک ۰/۱ مول بر لیتر عصاره‌گیری شد. بعد از مخلوط کردن نمونه‌ها با استفاده از شیکر به مدت ۳۰ دقیقه (Edmund Buhler, KL-2, Germany) با ۱۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ (Eppendorf, 5804 R, Germany) با قدرت  $10000 \times g$  به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. پس از آن، محلول رویی به فلاسک‌های ۵ میلی‌لیتری منتقل شد. این شیوه عصاره‌گیری با اسید هیدروکلریک ۲ دفعه تکرار و محلول رویی از هر نمونه جمع‌آوری شد و با اضافه کردن اسید هیدروکلریک ۰/۱ مول بر لیتر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه شیکر با قدرت ۸۰ دور در دقیقه قرار گرفت. عصاره‌ها از فیلتر با غشای سلولزی (0.45  $\mu\text{m}$ , Milipore, Merck, Germany)، عبور داده شدند. عصاره صاف‌شده به منظور تعیین نوع و غلظت اسیدهای آمینه مورد استفاده قرار گرفت (Herbert *et al.*, 2000)، مشتقات رقیق شده اسیدهای آمینه با تزریق ۲۰ میکرولیتر از هر نمونه به دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا و فاز معکوس (RP-HPLC)، با استفاده از یک پیش‌ستون (LiChroCART 4-4 Purospher Star RP-18 5  $\mu\text{m}$ )، به همراه یک ستون جداکننده (250-3 Purospher STAR RP-185  $\mu\text{m}$  LiChroCART) از یکدیگر تفکیک شدند. جداسازی با دستگاه HPLC با استفاده از ۵۰ میلی‌لیتر از بافر استات سدیم با اسیدیته ۷ (حلال A)، و متانول (حلال B)، صورت گرفت. نسبت حجمی حلال A به حلال B، ۷۱ به ۲۹ بود و در ابتدا از یک گرادیان خطی و با نسبت حجمی ۲۰ به ۸۰، به مدت بیشتر از ۲۵ دقیقه پیروی می‌کرد. حد ماکسیمم نمودار برای هر اسید آمینه با استفاده از یک شناساگر فلورسانس در طول موج‌های Ex 330/ Em 450 نانومتر مشخص شد. جداسازی با سرعت جریان ۰/۶۵ میلی‌لیتر بر دقیقه و در

میکرولیتر از هر نمونه با ۴۷۵ میکرولیتر از محلول کربنات سدیم ۰/۲ مول بر لیتر مخلوط شد و به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ثابت آزمایشگاه قرار گرفت. مقدار جذب ۲۰۰ میکرولیتر از محلول استاندارد و همین‌طور نمونه‌ها، در طول موج ۷۲۴ نانومتر قرائت شد. نتایج بر اساس میلی‌مول بر لیتر بر اکی‌والان گرم وزن تر اسیدگالیک بیان شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با استفاده از روش (ABTS (2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt)، تعیین شد. دلیل انتخاب ABTS، آن بود که آنزیمی به نام پراکسیداز ترپ کوهی (HRP, Sigma Aldrich, Ec 1.11.1.17)، واکنش با پراکسید هیدروژن را تسهیل می‌کند و منجر به تولید محصول سبز ( $\text{ABTS}^{+\bullet}$ ) واکنش می‌شود. این واکنش از طریق اسپکتروفوتومتر (Hewlett Packard Agilent 8453, Germany) در طول موج ۷۳۰ نانومتر به مدت ۵ دقیقه تشخیص داده شد. منحنی استاندارد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به روش زیر به دست آمد:

در کووت‌های ۱ میلی‌لیتری، مخلوط واکنش شامل ۹۸۰ میکرولیتر از محلول بافری ABTS، ۱/۵۵ میکرولیتر  $\text{H}_2\text{O}_2$  و ۱۰ میکرولیتر HRP، تا زمان تشکیل فرم رادیکال ABTS و رسیدن به یک جذب ثابت قرار داده شد. پس از آن ۱۰ میکرو لیتر از غلظت‌های متفاوت (۰/۱ تا ۰/۸ میلی‌مول بر لیتر) اسیدآسکوربیک برای رسیدن به یک منحنی استاندارد اضافه شد.

ده میکرولیتر از عصاره متانولی بافت گیاه به جای استانداردهای اسیدآسکوربیک به مخلوط واکنش اضافه و به فرم رادیکال ABTS تبدیل شد. نتایج بر اساس میلی‌مول بر لیتر بر اکی‌والان گرم وزن تر اسیدآسکوربیک بیان گردید (Maksimovic & Zivanovic, 2012). برای جداسازی بخش‌های پروتئین محلول، ۰/۲۵ گرم از ماده خشک گیاهی (خشک‌شده تحت خلاء در دمای انجماد)، از رقم 'کوئین‌الیزا' و 'کردستان' ابتدا با استفاده از شیکر (Edmund Buhler, KL-2, Germany) به مدت ۳۰ دقیقه به صورت همگن در آمد و سپس در ۲۵ میلی‌لیتر از محلول کلرید سدیم با غلظت ۱ مول بر لیتر سانتریفیوژ شد. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد (Hewlett Packard Agilent 8453, Germany). مقدار پروتئین با

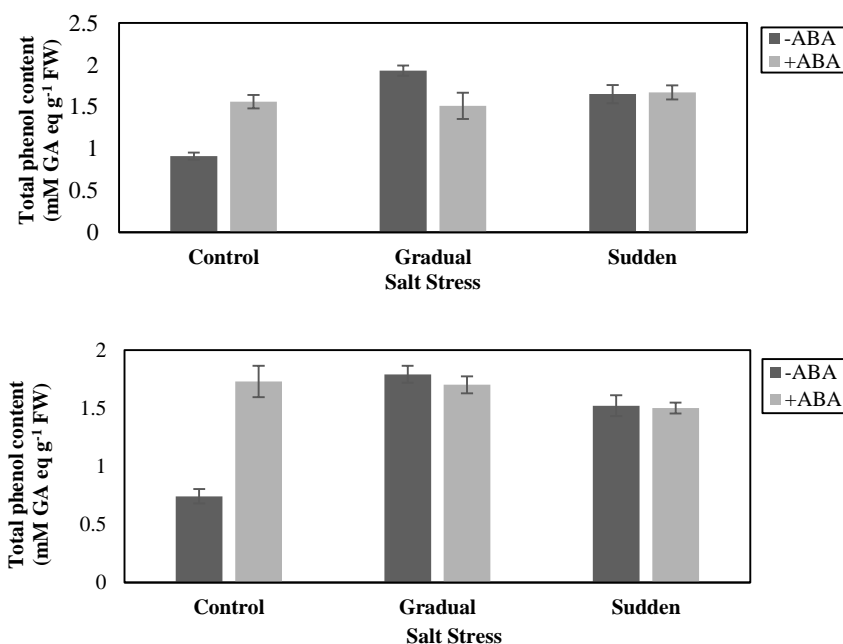
آنتی‌اکسیدانی کل بین تیمارهای متفاوت شوری (تدریجی و ناگهانی) در مقایسه با شاهد مشاهده نشد (شکل ۱- A و ۲- A). در برگ‌های رقم 'کوئین‌الیزا' ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل افزایش معنی‌داری را به‌خصوص در تنش شوری تدریجی نشان داد (شکل ۱- B و ۲- B). در رقم 'کردستان'، پس از کاربرد ABA، مقدار فنول کل با اعمال تیمار تنش شوری تدریجی افزایش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد و تنش ناگهانی نشان داد اما با کاربرد ABA، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، به‌طور معنی‌داری در تنش شوری تدریجی و ناگهانی کاهش یافت (شکل ۱- A و ۲- A). پس از اضافه‌کردن ABA، در رقم 'کوئین‌الیزا'، مقدار فنول کل، کاهش معنی‌داری پس از تیمار تنش ناگهانی شوری در مقایسه با شاهد نشان داد و کاهش مشخصی در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در هر دو رژیم شوری در مقایسه با شاهد بدون کاربرد اسیدجاسمونیک در این رقم قابل‌مشاهده بود (شکل ۱- B و ۲- B).

دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد به انجام رسید. محدوده شناسایی اسیدهای آمینه در این آزمایش بین ۰/۲۵ و ۲/۵ میکرومول بر لیتر بود (Keutgen & Pawelzik, 2008 a).

آنالیز آماری با روش تجزیه واریانس چند فاکتوره (ANOVA) و با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 انجام شد. مقادیر میانگین با آزمایش دانکن چند دامنه‌ای محاسبه شدند.

### نتایج

در این آزمایش مقدار جاسمونیک‌اسید در غلظت‌های متفاوت در ارتباط با رژیم‌های تنش شوری با نمک کلریدسدیم، تغییرات بارزی را در متابولیت‌های اولیه و ثانویه برگ‌های توت‌فرنگی نشان دادند. در برگ‌های رقم 'کردستان'، بعد از اعمال هر دو نوع رژیم تنش شوری، در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش معنی‌داری در مقدار فنول کل قابل‌مشاهده بود اما تفاوت بارزی در ظرفیت



شکل ۱. الف) اثر رژیم‌های مختلف تنش شوری و کاربرد ABA بر مقدار فنول کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کردستان'؛ ب) اثر رژیم‌های مختلف تنش شوری و کاربرد ABA روی مقدار فنول کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کوئین‌الیزا'. میله‌ها خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. میانگین داده‌ها از سه تکرار به‌ازای هر تیمار و سه گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

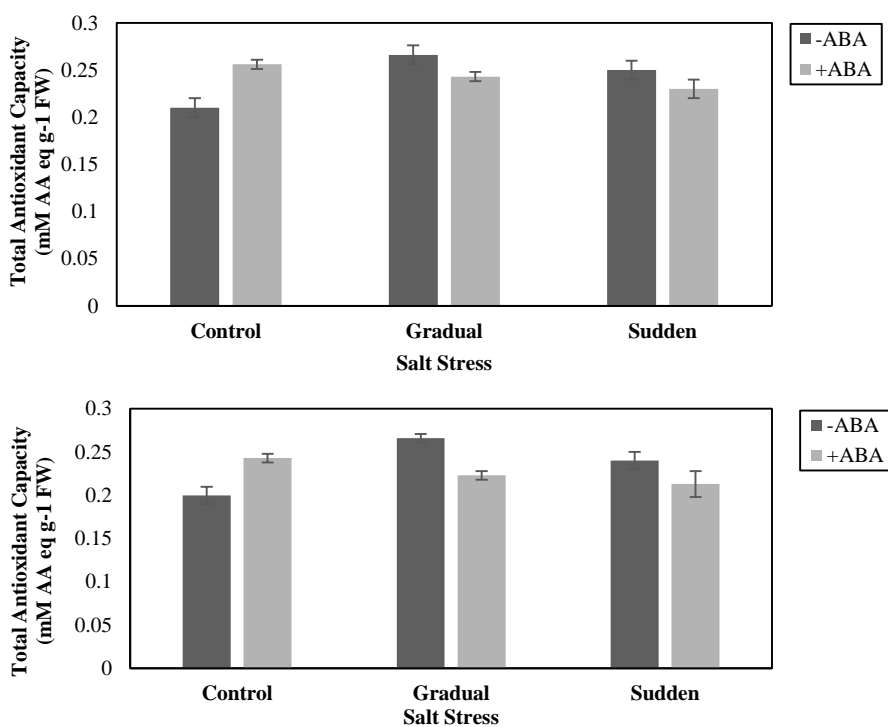
Figure 1. A) Effect of different salt stress regimes and ABA application on total phenolic contents in strawberry leaves of 'Queen Elisa'. Vertical bars indicate standard errors of means; B) Effect of different salt stress regimes and ABA application on total phenolic content in strawberry leaves of 'Queen Elisa'. Vertical bars indicate standard errors of means. The mean data are resulted from three replicates per treatment and three plants per replicate. Different letters indicate statistically significant differences between mean values according the Duncan's Multiple Range Test ( $P > 0.01$ ).

الیزا' و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در رقم 'کردستان' و 'کوئین‌الیزا' کاهش نسبی نشان دادند (شکل‌های ۵ و ۶). تنش شوری تدریجی و ناگهانی به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش مقدار پروتئین محلول کل در مقایسه با شاهد در برگ‌های رقم 'کردستان' شدند. با اضافه‌کردن ABA، مقدار پروتئین محلول در هر دو رژیم شوری افزایش معنی‌داری در برگ‌های رقم 'کردستان' نشان دادند (شکل A-۷).

با اضافه‌کردن ABA در هر دو رژیم شوری، اسید جاسمونیک به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش مقدار پروتئین محلول در برگ‌های رقم 'کردستان' شد. کاربرد دو هورمون در شرایط بدون شوری، به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش مقدار پروتئین در هر دو رقم شد (شکل‌های B-۷ و A-۸).

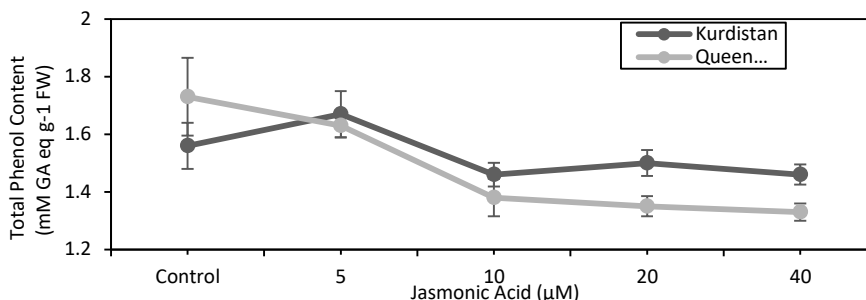
با اضافه‌کردن ABA و افزایش غلظت JA، مقدار فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل افزایش معنی‌داری نشان دادند (شکل‌های ۳ و ۴). در رقم 'کردستان' مقدار فنول کل با افزایش غلظت JA و پس از اضافه‌کردن ABA در شرایط بدون تنش شوری، تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. بدون کاربرد نمک NaCl، کاربرد هر دو هورمون منجر به کاهش معنی‌دار مقدار فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در رقم 'کوئین‌الیزا' شد (۱/۲ برابر) (شکل‌های ۳ و ۴).

پس از کاربرد JA با غلظت ۵ میکرومول بر لیتر در رقم 'کردستان'، افزایش معنی‌داری در مقدار فنول کل قابل‌مشاهده بود اما با افزایش غلظت JA، روند کاهشی نشان داد. پس از کاربرد JA و در حضور ABA، بدون در نظر گرفتن تنش شوری، مقدار فنول کل در رقم 'کوئین



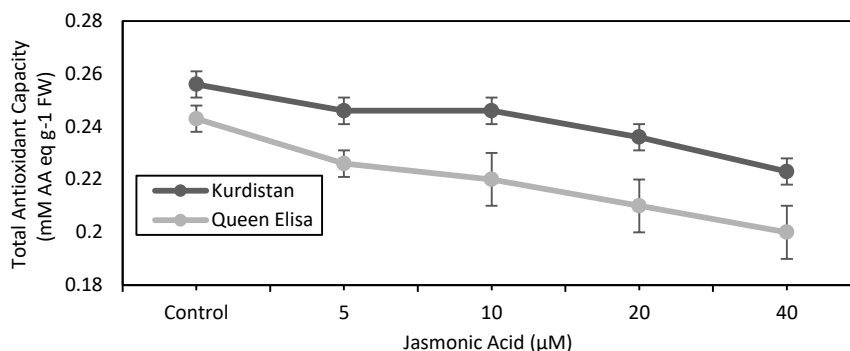
شکل ۲. الف) اثر رژیم‌های مختلف تنش شوری و کاربرد ABA روی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کردستان'؛ ب) اثر رژیم‌های مختلف تنش شوری و کاربرد ABA روی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کوئین‌الیزا'. ستون‌های عمودی خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. میانگین داده‌ها از سه تکرار به‌ازای هر تیمار و سه گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چنددامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

Figure 2. A) Effect of different salt stress regimes and ABA application on total antioxidant capacity in strawberry leaves of 'Kurdistan' Vertical bars indicates standard errors of means; B) Effect of different salt stress regimes and ABA application on total antioxidant capacity in strawberry leaves of 'Kurdistan' Vertical bars indicate standard errors of means. The mean data are resulted from three replicates per treatment and three plants per replicate. Different letters indicate statistically significant differences between mean values according the Duncan's Multiple Range Test ( $P > 0.01$ ).



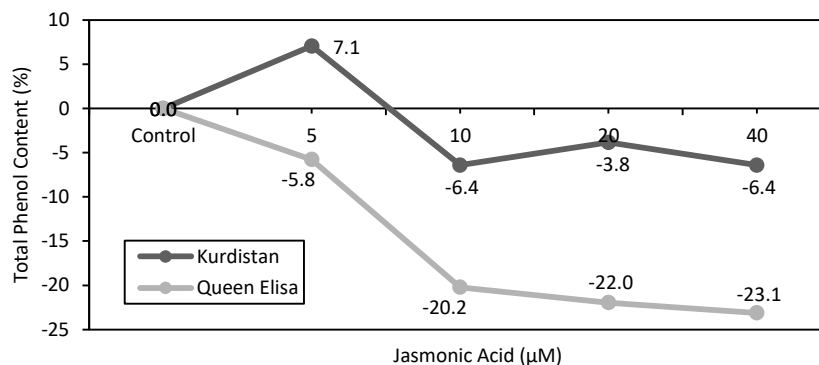
شکل ۳. اثر JA، روی مقدار فنول کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کوردستان' و 'کوئین‌الیزا'. نوارهای عمودی خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. میانگین داده‌ها از سه تکرار به‌ازای هر تیمار و سه گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

Figure 3. Effect of JA application on total phenolic contents in strawberry leaves of 'Kurdistan' and 'Queen Elisa'. Vertical bars indicate standard errors of means. The mean data are resulted from three replicates per treatment and three plants per replicate. Different letters indicate statistically significant differences between mean values according the Duncan's Multiple Range Test ( $P > 0.01$ ).



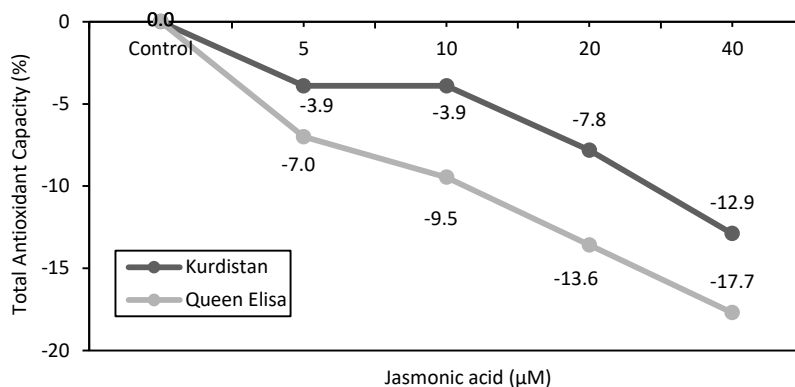
شکل ۴. اثر JA، روی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کوردستان' و 'کوئین‌الیزا'. نوارهای عمودی خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. میانگین داده‌ها از سه تکرار به‌ازای هر تیمار و سه گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

Figure 4. Effect of JA application on total antioxidant capacity in strawberry leaves of 'Kurdistan' and 'Queen Elisa'. Vertical bars indicate standard errors of means. The mean data are resulted from three replicates per treatment and three plants per replicate. Different letters indicate statistically significant differences between mean values according the Duncan's Multiple Range Test ( $P > 0.01$ ).



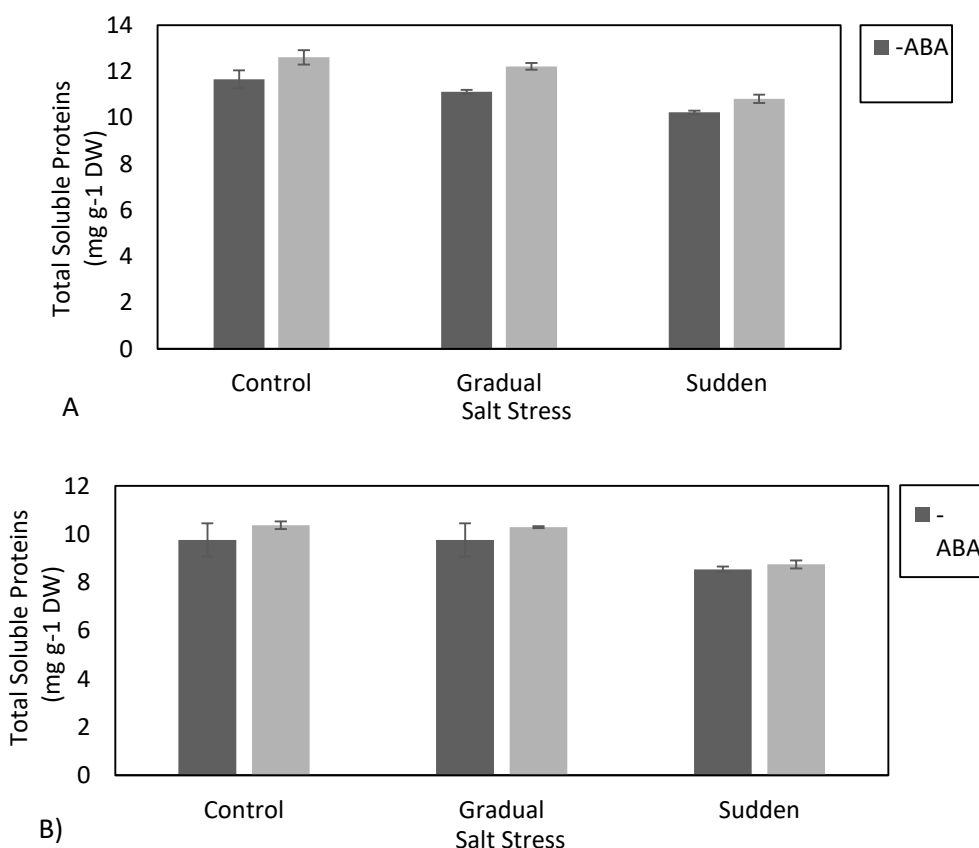
شکل ۵. درصد افزایش یا کاهش نسبی (٪)، مقدار فنول کل در برگ‌های توت‌فرنگی 'کوردستان' و 'کوئین‌الیزا' تحت تیمارهای JA در حضور ABA و بدون در نظر گرفتن تنش شوری

Figure 5. Relative increase or decrease (%) of total phenolic content in strawberry leaves of 'Kurdistan' and 'Queen Elisa' after JA application without ABA and regardless of salinity



شکل ۶. درصد افزایش یا کاهش نسبی (٪) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در برگ‌های توت‌فرنگی 'کوئین‌الیزا' و 'کردستان' تحت تیمارهای JA در حضور ABA و بدون در نظر گرفتن تنش شوری

Figure 6. Relative increase or decrease (%) of total antioxidant capacity in strawberry leaves of 'Kurdistan' and 'Queen Elisa' after JA application without ABA and regardless of salinity



شکل ۷. الف) اثر رژیم‌های مختلف تنش شوری و کاربرد ABA روی مقدار پروتئین‌های محلول کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کردستان'؛ ب) اثر رژیم‌های مختلف تنش شوری و کاربرد ABA روی مقدار پروتئین‌های محلول کل در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کوئین‌الیزا'. ستون‌های عمودی خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. ستون‌های عمودی خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. ستون‌های عمودی خطای استاندارد میانگین‌ها را نشان می‌دهند. میانگین داده‌ها از سه تکرار به‌ازای هر تیمار و سه گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

Figure 7. A) Effect of different salt stress regimes and ABA application on total phenolic content in strawberry leaves of 'Kurdistan'; B) Effect of different salt stress regimes and ABA application on total phenolic content in strawberry leaves of 'Queen Elisa'. Vertical bars indicate standard errors of means. The mean data are resulted from three replicates per treatment and three plants per replicate. Different letters indicate statistically significant differences between mean values according to the Duncan's Multiple Range Test ( $P > 0.01$ ).



اسیدهای آمینه، به‌طور مثال در مورد آسپاراژین و تیروزین در هر دو رژیم تنش شوری و پس از کاربرد JA با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ میکرومول بر لیتر مشاهده شد. غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میکرومول بر لیتر JA همراه با کاربرد ABA، بیشترین مقدار اسیدآسپارتیک را منجر شدند. بیشترین مقدار آلانین نیز در برگ‌های گیاهان تیمار شده با شوری ناگهانی و JA با غلظت ۴۰ میکرومول بر لیتر به‌همراه ABA قابل‌مشاهده بود. کاربرد غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میکرومول بر لیتر JA در حضور ABA افزایش معنی‌دار اسیدآمینه GABA را باعث شد. بالاترین مقدار این اسید آمینه را کاربرد غلظت ۴۰ میکرومول بر لیتر و ABA در شرایط بدون نمک و هر دو رژیم شوری نتیجه داد. شوری ناگهانی و کاربرد ABA منجر به افزایش غلظت هیستیدین شد؛ اما کاربرد هر دو هورمون، اثر مشخصی را نشان نداد. داده‌های مربوط به غلظت اسیدهای آمینه فقط برای رقم 'کوئین‌الیزا' ذکر شده و عصاره‌های گیاهی رقم کردستان از کیفیت مناسبی برخوردار نبود.

تنش شوری ناگهانی به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش معنی‌دار میزان اسیدآسپارتیک، هیستیدین و آسپاراژین در هر دو رژیم تنش شوری در مقایسه با شاهد شد. افزایش معنی‌دار میزان تیروزین در هر دو رژیم تنش شوری در مقایسه با شاهد قابل‌مشاهده بود. تفاوت معنی‌داری در ارتباط با اسیدآمینه آلانین و GABA وجود نداشت (جدول ۱). پس از اضافه‌کردن اسیدآبسیزیک، مقدار اسیدآسپارتیک و تیروزین در هر دو رژیم تنش شوری در مقایسه با شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هیستیدین و GABA، پس از کاربرد اسیدآبسیزیک در تنش شوری ناگهانی در مقایسه با تنش تدریجی و شاهد، افزایش معنی‌داری را نشان دادند. تنش شوری ناگهانی در مقایسه با شرایط بدون تنش شوری، پس از کاربرد ABA به‌طور معنی‌داری مقدار آلانین را افزایش داد (جدول ۱). اسیدآسپارتیک، اسیدآمینه شاخص و بارز در برگ توت‌فرنگی بود و پس از آن GABA، هیستیدین و تیروزین از اسیدآمینه‌های مهم بودند. بالاترین مقدار

جدول ۱. اثر ABA با غلظت ۴۰ میلی‌مول بر لیتر و غلظت‌های مختلف JA در رژیم‌های متفاوت تنش شوری روی مقدار اسیدهای آمینه آزاد (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در برگ‌های توت‌فرنگی رقم 'کوئین‌الیزا'

Table 1. The effect of 40 mM L<sup>-1</sup> ABA and different JA concentrations on free amino acids content (mg g<sup>-1</sup> DW), of 'Queen Elisa' leaves

JA	Control		Gradual NaCl Stress		Sudden NaCl Stress	
	-ABA	+ABA	-ABA	+ABA	-ABA	+ABA
Aspartic Acid						
0	8.64±0.41k	9.23±0.02 jk	10.21±0.85hij	12.12±0.70fg	12.94±0.51 ef	12.51±0.21 ef
5	9.54±0.14ijk	9.54±0.05ijk	12.70±0.16ef	12.98±0.46ef	13.34±0.17 def	12.56±0.58 ef
10	9.71±0.05 hijk	9.72±0.05 hijk	12.38±0.16 ef	14.70±0.67 abc	10.96±1.16 gh	10.61±0.31 hi
20	10.36±0.17c hij	12.52±1.1 ef	12.79±0.54 cd	15.92±1.42 a	10.13±0.10hij	10.01±0.11 hij
40	10.83±0.52 hi	15.18±0.50 ab	13.65±0.26 cde	14.37±0.23 bcd	10.47±0.52 hij	10.25±0.09 hij
Histidine						
0	3.41±0.16 j	3.71±0.13 j	3.41±0.22 j	5.71±0.11 ij	5.39±0.61 def	6.40±0.07 abc
5	3.95±0.05 hij	4.70±0.16 fgh	3.74±0.51 ij	5.96±0.71 bcde	5.30±0.84 def	6.91±0.04a
10	3.93±0.04 hij	4.46±0.27 ghi	3.77±0.03 ij	6.10±0.24 abcd	5.24±0.44 efg	6.64±0.34 ab
20	3.77±0.37 ij	5.37±0.40 def	4.39±0.12 hi	6.27±0.55 abc	5.83±0.03 bcde	6.39±0.06 abc
40	4.68±0.29 fgh	5.73±0.25 cde	4.45±0.39 ghi	6.32±0.12 abc	5.91±0.05 bcde	6.92±0.11a
Asparagine						
0	1.37±0.06 i	1.78±0.50ghi	1.62±0.21 hi	1.98±0.17 fghi	2.96±0.70 abcd	2.22±0.40cdefghi
5	2.04±0.54efghi	2.39±0.06bcdefgh	1.90±0.28 fghi	2.36±0.60bcdefgh	2.22±0.06cdefghi	2.76±0.63abcdef
10	3.14±0.08 ab	2.34±0.10 e	2.12±0.07defghi	2.26±0.06bcdefgh	2.66±0.12abcdefg	3.40±0.17 a
20	2.20±0.71cdefghi	3.07±0.19 abc	2.13±0.37defghi	3.30±0.33 a	2.93±0.46 abcd	3.12±0.20 ab
40	3.43±0.13 a	3.14±0.31 ab	2.90±0.34abcde	3.54±0.12 a	3.46±0.21 a	3.54±0.25 a
Alanine						
0	1.49±0.06lm	1.59±0.06 klm	1.46±0.18 m	1.93±0.03ghijkl	1.90±0.03ghijklm	2.28±0.26defghi
5	1.81±0.12klm	2.06±0.01efghi	2.00±0.10fghijk	2.29±0.07defgh	2.18±0.67 efghij	2.34±0.18 defg
10	1.82±0.13 ijklm	2.03±0.18fghijk	2.17±0.11efghij	2.45±0.02bcdef	2.21±0.20efghij	2.55±0.10abcde
20	1.85±0.11hijklm	2.44±0.19bcdef	2.14±0.07efghij	2.71±0.15abcd	2.44±0.19bcdef	2.88±0.20ab
40	2.03±0.04fghijk	2.40±0.08 cdef	2.08±0.04efghij	2.81±0.12 abc	2.44±0.23bcdef	2.97±0.16 a
Tyrosine						
0	1.42±0.21 m	2.27±0.13 kl	2.56±0.11 jk	3.32±0.13 hi	2.20±0.06 kl	5.19±0.03 de
5	1.97±0.01 l	2.73±0.21 jk	2.64±0.11 jk	4.44±0.19 fg	2.25±0.08 kl	5.49±0.15 cd
10	2.17±0.02 kl	2.66±0.15 jk	3.09±0.02 jk	4.82±0.05 ef	3.46±0.38 hi	6.66±0.37b
20	2.20±0.10 kl	3.01±0.19 ij	3.70±0.15 h	5.24±0.30 de	3.51±0.05 hi	6.91±0.08 b
40	2.27±0.19 kl	3.04±0.65 ij	4.78±0.09 ef	5.86±0.54 c	4.22±0.39 g	7.89±0.03 a
GABA						
0	3.55±0.12ij	5.00±0.50 gh	3.11±0.13 j	4.82±1.72 ghi	3.82±0.54 hij	7.40±0.66 de
5	3.96±0.22 hij	6.36±0.35 ef	3.90±0.47 hij	7.52±0.64 de	4.12±0.37 hij	9.08±0.16 ab
10	4.55±0.05 hi	7.70±0.53 cd	4.10±0.60 hij	8.93±0.38 abc	3.76±0.56 hij	8.93±0.34 abc
20	4.41±0.27 hij	8.27±0.33 bcd	4.45±1.05 hij	9.64±0.51 a	4.56±0.18 hi	9.04±0.72 ab
40	4.65±0.16 hi	9.41±0.73ab	5.95±0.41 fg	10.29±0.29a	4.48±0.20 hij	9.34±0.04 ab

JA: jasmonic acid; ABA: abscisic acid; GABA:γ-Aminobutyric acid

آنتی‌اکسیدانی کل در شرایط تنش شوری و دریغاب گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

**بحث**

در مطالعه حاضر، کاربرد ABA در رقم 'کردستان' منجر به افزایش مقدار فنول کل در تنش شوری ناگهانی شد؛ اما این افزایش در تنش شوری تدریجی قابل‌ملاحظه بود. مکانیسم دفاعی بهتر این رقم در تنش شوری تدریجی بدون ABA مشاهده شد. در رقم 'کوئین‌الیزا' نیز در تنش شوری تدریجی، گیاه با اثرات نامطلوب محیط نامناسب مقابله می‌کند (نمودار ۱-A و ۱-B). در هر دو رقم، تنش شوری تدریجی منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شد و افزایش در سطح پائین‌تر پس از اضافه‌کردن ABA در هر دو رژیم تنش شوری مشاهده شد (نمودارهای ۲-A و ۲-B). با افزایش سطح JA، حضور ABA، کاهش مقدار فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اتفاق افتاد (نمودارهای ۳ و ۴). در میوه‌های توت‌فرنگی، تنش شوری با نمک NaCl به غلظت ۴۰ میلی‌مول بر لیتر، منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شد (Keutgen & Pawelzik, 2007b). در رقم حساس به شوری 'الزانتا' در مقایسه با 'کورونا'، میزان افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر بود (Keutgen & Pawelzik, 2008b). افزایش فنول کل در برگ‌های شش رقم برنج تایلندی در اثر اعمال تنش شوری گزارش شده است (Daiponmak et al., 2010). سطوح مختلف تنش شوری اثر متفاوتی روی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارند. تنش شوری منجر به افزایش متابولیت‌های ثانویه در توت‌فرنگی شد و این امر منجر به آماده‌سازی ریشه و برگ‌های این گیاه از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به‌منظور دفاع در برابر تنش گردید (Neocleous et al., 2012). مشخص نیست که سطوح بالاتر ترکیبات فنولی برای گیاهان تحت تنش شوری در نتیجه مقدار بیشتر متابولیت‌هاست یا در اثر افزایش غلظت به‌دلیل تأثیر کاهش زیست‌توده (Khan et al., 2011). در آزمایش حاضر مقدار فنول کل و ظرفیت

آنتی‌اکسیدانی کل در شرایط تنش شوری و دریغاب گیاه در هر تکرار به‌دست آمده‌اند. حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار را از نظر آماری و بین میانگین‌ها بدون کاربرد ABA و پس از کاربرد ABA، با توجه به آزمون چند دامنه‌ای دانکن، مشخص می‌کنند ( $P > 0.01$ ).

## بحث

در مطالعه حاضر، کاربرد ABA در رقم 'کردستان' منجر به افزایش مقدار فنول کل در تنش شوری ناگهانی شد؛ اما این افزایش در تنش شوری تدریجی قابل‌ملاحظه بود. مکانیسم دفاعی بهتر این رقم در تنش شوری تدریجی بدون ABA مشاهده شد. در رقم 'کوئین‌الیزا' نیز در تنش شوری تدریجی، گیاه با اثرات نامطلوب محیط نامناسب مقابله می‌کند (نمودار ۱-A و ۱-B). در هر دو رقم، تنش شوری تدریجی منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شد و افزایش در سطح پائین‌تر پس از اضافه‌کردن ABA در هر دو رژیم تنش شوری مشاهده شد (نمودارهای ۲-A و ۲-B). با افزایش سطح JA، حضور ABA، کاهش مقدار فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اتفاق افتاد (نمودارهای ۳ و ۴). در میوه‌های توت‌فرنگی، تنش شوری با نمک NaCl به غلظت ۴۰ میلی‌مول بر لیتر، منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شد (Keutgen & Pawelzik, 2007b). در رقم حساس به شوری 'الزانتا' در مقایسه با 'کورونا'، میزان افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتر بود (Keutgen & Pawelzik, 2008b). افزایش فنول کل در برگ‌های شش رقم برنج تایلندی در اثر اعمال تنش شوری گزارش شده است (Daiponmak et al., 2010). سطوح مختلف تنش شوری اثر متفاوتی روی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارند. تنش شوری منجر به افزایش متابولیت‌های ثانویه در توت‌فرنگی شد و این امر منجر به آماده‌سازی ریشه و برگ‌های این گیاه از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به‌منظور دفاع در برابر تنش گردید (Neocleous et al., 2012). مشخص نیست که سطوح بالاتر ترکیبات فنولی برای گیاهان تحت تنش شوری در نتیجه مقدار بیشتر متابولیت‌هاست یا در اثر افزایش غلظت به‌دلیل تأثیر کاهش زیست‌توده (Khan et al., 2011). در آزمایش حاضر مقدار فنول کل و ظرفیت

افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم GABA می‌شود (Krasensky & Jonak, 2012). افزایش مقدار GABA در نتیجه شوری بالا به دلیل نقش فعال این اسیدآمینو در دفاع در برابر تنش است. در طول تنش طولانی مدت شوری، اسیدهای آمینو والین، تیروزین، سرین، فنیل‌آلانین، گلیسین، گلوتامین و اسید گلوتامیک، افزایش نشان دادند که ممکن است به دلیل افزایش کاتابولیسم پروتئین باشد (Kempa et al., 2008). در آزمایش حاضر پس از کاربرد JA، در تنش شوری تدریجی، اسیدآسپارتیک و GABA، به طور معنی‌داری افزایش نشان دادند. افزایش معنی‌دار آسپاراژین، آلانین و تیروزین با اضافه کردن JA، در هر دو رژیم شوری مشاهده شد (جدول ۱). در ارقام جهش‌یافته گوجه‌فرنگی با کمبود ABA، اسیدهای آمینو مرتبط با پاسخ‌های تنش شوری، کاهش یافتند اما در انواع وحشی، به طور معنی‌داری افزایش نشان دادند (Al. Asbahi, 2012). در این آزمایش، JA و ABA در دو رژیم تنش شوری باعث افزایش مقدار اسیدآسپارتیک، آسپاراژین، آلانین، هیستیدین و GABA شدند (جدول ۱). کاربرد JA، مقدار کلسیم، منیزیم و پتاسیم برگ را افزایش داد و اثر مثبتی بر پتانسیل آب برگ و میزان فتوسنتز داشت (Kang et al., 2005).

#### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اثر کاربرد خارجی JA و ABA در رژیم‌های مختلف شوری روی تغییر برخی از متابولیت‌های اولیه و ثانویه در برگ‌های توت‌فرنگی ارقام 'کردستان' و 'کوئین‌الیزا' مورد بررسی قرار گرفت. در تنش شوری ناگهانی، پروتئین‌های محلول کل در رقم 'کردستان' نشان دادند؛ در حالی که کاربرد JA منجر به افزایش پروتئین‌های محلول کل شد. افزایش سریع پروتئین‌های محلول کل در تنش شوری تدریجی در این رقم تأیید شد اما در رقم 'کوئین‌الیزا'، کاربرد ABA و JA، افزایشی در پروتئین‌های محلول کل نشان نداد. براساس گزارش‌های قبلی نمی‌توان با اطمینان نتیجه گرفت که رقم 'کردستان' پس از کاربرد هر دو هورمون در مقایسه با 'کوئین‌الیزا' پاسخ بهتری در مواجهه با تنش شوری نشان می‌دهد.

ضروری است (Chen et al., 2007). از طرف دیگر، جهت بقا در شرایط تنش شوری، گیاهان پروتئین‌هایی تجمع می‌دهند که از سلول در برابر تنش شوری محافظت می‌کنند (Wang et al., 2003). با توجه به گزارش Keutgen & Pawelzik (2008a)، غلظت‌های بالای نمک NaCl در اطراف ریشه منجر به افزایش اسیدهای آمینو آزاد، به خصوص آسپاراژین و گلیسین در میوه توت‌فرنگی می‌شود. شوری بالا منجر به القای افزایش اسیدهای آمینو آزاد در برگ‌ها و ریشه‌های گوجه‌فرنگی می‌شود. همچنین ارتباط بین افزایش سرین و پرولین با تجمع GABA و آسپاراژین تشخیص داده شده است (Debouba et al., 2010). Kovacs et al. (2012)، گزارش کردند که گلوتامین، گلیسین، اسیدآسپارتیک، تروئونین، آلانین و تیروزین، سه روز بعد از اعمال تنش اسمزی به سرعت افزایش پیدا کردند. میزان این افزایش در روز هفتم بارزتر بود. در شرایط تنش اسمزی نسخه‌برداری از ژن‌های کدکننده آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز آرژنینین فعال شد و افزایش در بیان ژن‌های مرتبط با سنتز آسپاراژین قابل مشاهده بود؛ بنابراین نقش اسیدهای آمینو آرژنینین و آسپاراژین در پاسخ به تنش اسمزی به اثبات رسید (Herrera-Rodriguez et al., 2005; Wang et al., 2007). در شرایط تنش شوری، جریان کربن افزایش پیدا می‌کند و به عنوان منبعی برای انتقال الکترون فتوسنتزی عمل می‌کند و موجب تسهیل تولید ترکیبات کربن‌دار مانند اسمولیت‌ها (موجود در سیتوسول) می‌شود (Martino et al., 2003). در آزمایش حاضر اسید آسپارتیک، هیستیدین، آسپاراژین و تیروزین تحت رژیم‌های متفاوت تنش شوری افزایش نشان دادند (جدول ۱). این افزایش به دلیل تولید اسمولیت‌های بیشتر تحت تنش شوری و درگیربودن ژن‌های مرتبط با بیوسنتز اسیدهای آمینو است. اسید آمینو GABA می‌تواند به عنوان یک شاخص تنش در نظر گرفته شود (Bouche & Frommer, 2004). تجمع GABA در پاسخ به تنش‌های متعدد محیطی رخ می‌دهد و موجب تنظیم اسمزی سلول و اسیدیته آن می‌شود (Akçay et al., 2012). افزایش ناگهانی GABA در مقابل با تنش بسیار اهمیت دارد. تنش شوری باعث

## REFERENCES

1. Akcay, N., Bor, M., Kerabudak, T., Ozdem, F. & Turkan, I. (2012). Contribution of gamma amino butyric acid (GABA) to salt stress responses of *Nicotinia sylvestris* CMII mutant and wild type plants. *Journal of Plant Physiology*, 169(5), 452-458.
2. Al.Asbahi, A., Al.Maqtari, M. A. & Naji, K. M. (2012). ABA biosynthesis defective mutants reduce some free amino acids accumulation under drought stress in tomato leaves in comparison with Arabidopsis plant tissues. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8(2), 179-192.
3. Ashraf, M. & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166, 3-16.
4. Bouche, N. & Fromm, H. (2004). GABA in plants: just a metabolite? *Trends in Plant Science*, 9, 110-115.
5. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annals of Biochemistry*, 72, 248-254.
6. Chen, Z., Cuin, T. A., Zhou, M., Twomey, A., Naidu, B. P. & Shabala, S. (2007). Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58(15-16), 4245-4255.
7. Daiponmak, W. P., Theerakulpisut, P., Thanonkao, P., Vanavichit, A. & Prathepa, P. (2010). Changes of anthocyanin cyanidine-3-glucoside content and antioxidant activity in Thai rice varieties under salinity stress. *Science Asia*, 286-291.
8. D'Anna, F. D., Incalcaterra, G., Moncad, A. & Miceli, A. (2003). Effects of different electrical conductivity levels on strawberry grown in soilless culture. *Acta Horticulture*, 609, 355-360.
9. Debouba, M., Suzuki, A., Boutet, S., Ghorbel, M. H. & Gouia, H. (2010). Amino acid changes in leaves and roots of tomato (*Solanum lycopersicon*) during salt stress. *Acta Botanica Gallica*, 157(2), 255-264.
10. Gulen, H. E., Turhan, E. & Eris, A. (2006). Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 28(2), 109-116.
11. Hajlaoui, H., El Ayeb, N., Garrec, J. P. & Denden, M. (2010). Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties. *Indian Crop Production*, 31, 122-130.
12. Hassanuzzaman, M., Nahar, K. & Fujita, M. (2013). Plant responses to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt stress damages. In: Ahmad P *et al.*, (eds) *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. Springer. Science, pp 25-87.
13. Herrera-Rodriguez, M. B., Perez-Vicente, R. & Maldonado, A. (2007). Expression of asparagine synthetase genes in sunflower (*Helianthus annuus*) under various environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(1), 33-38.
14. Ivanov, A. A. (2010). Effect of light conditions of wheat growing on sensitivity of photosynthetic machinery to salt stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57(6), 770-777.
15. Jaleel, C. A., Manivannan, P., Lakshmanan, G. M. A., Sridharan, R. & Panneerselvam, R. (2007). NaCl as a physiological modulator of proline metabolism and antioxidant potential in *Phyllanthusamarus*. *CR: Biology*, 330, 806-813.
16. Jamalian, S., Gholami, M. & Esnaashari, M. (2013). Salinity-induced jasmonic acid, abscisic acid, mineral elements and some physiological changes in two strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cultivars. *Agrochimica*, 57(3), 201-217.
17. Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1), 7-10.
18. Kang, D. J., Seo, Y. J., Lee, L. D., Ishii, R., Kim, K. U., Shin, D. H., Park, S. K., Jang, S. W. & Lee, I. J. (2005). Jasmonic acid differentially affects growth, ion uptake and abscisic acid concentration in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 273-282.
19. Kaya, C., Kirnak, Higgs, H. & Saltali, K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulture*, 93, 65-72.
20. Kempa, S., Krasensky, J., Dal Santo, S., Kopka, J. & Jonak, C. (2008). A central role of abscisic acid in stress regulated carbohydrate metabolism. *Plos One*, 3, e3935.
21. Keutgen, A. & Pawelzik, E. (2007a). Modification of taste relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chemistry*, 105, 1487-1494.
22. Keutgen, A. J. & Pawelzik, E. (2007b). Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl stress. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55(10), 4066-4072.
23. Keutgen, A. & Pawelzik, E. (2008a). Contribution of amino acids to strawberry fruit quality and their relevance as stress indicators under NaCl salinity. *Food Chemistry*, 111, 642-647.
24. Keutgen, A. & Pawelzik, E. (2008b). Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chemistry*, 107, 1413-1420.

25. Keutgen, A. & Pawelzik, E. (2009). Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two strawberry cultivars of strawberry. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 170-176.
26. Khan, T. A., Mazid, M. & Mohammad, F. (2011). Status of secondary plant products under abiotic stress: an overview. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 7(2), 75-98.
27. Kovacs, Z., Simon-Sarkadi, L., Vashegyi, I. & Gabor, K. (2012). Different accumulation of free amino acids during short-and long term osmotic stress in wheat. *Scientific World Journal*. Doi:10.1100.2012.216521.
28. Krasensky, J. & Jonak, C. (2012). Drought, salt and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, doi: 10.1093/jxb/err460
29. Lakhdar, A., Hafsi, C., Rahbi, M., Debez, A., Montemurro, F., Abdell, C., Jeddi, N. & Oureghi, Z. (2008). Application of municipal solid waste compost reduces the negative effects of saline water in (*Hordeum aritimum* L.). *Bioresource and Technology*, 99, 7160-7167.
30. Maksimovic, J. J. D. & Zivanovic, B. D. (2012). *Quantification of the antioxidant activity in salt-stressed tissues*. In: Shabala S, Cui T A (eds.) *Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols*. Methods in Molecular Biology. Springer Science. Vol. 913 pp 237-250.
31. Martino, C. D., Delfine, S., Pizzuto, R., Loreto, F. & Fuggi, A. (2003). Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. *New Phytology*, 158, 455-463.
32. Muhajan, S. & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives in Biochemistry and Biophysics*, 444, 139-158.
33. Muthukumararasyam, M., Gupta, S. D. & Pannerselvam, R. (2000). Enhancement of peroxidase, polyphenoloxidase and superoxide dismutase activities by tridimefon in NaCl stressed *Raphanus sativus* L. *Biologia Plantarum*, 43, 317-320.
34. Neocleou, D., Ziogas, V. & Vasilakakis, M. (2012). Antioxidant response of strawberry plants under stress conditions. *Acta Horticulturae*, 10.17660/Acta Hort.2012.926.47
35. Ollas, C. Arbona, V. & Gomez-Cadenas, A. (2015). Jasmonic acid interacts with abscisic acid to regulate plant responses to water stress conditions. *Plant Signaling and Behaviour*, 10(12), e1078953. doi: 10.1080/15592324.2015.1078953.
36. Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environment Safety*, 60, 324-349.
37. Parvaiz, A. & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants: a review. *Plant Soil and Environment*, 54(3), 89-99.
38. Radi, A. A., Faraghy, F. A. & Hamada, A. M. (2013). Physiological and biochemical responses of salt tolerant and salt sensitive wheat and bean cultivars to salinity. *Journal of Biology and Earth Science*, 3(1), 72-88.
39. Setayesh Mehr, Z., Khajeh, H., Esmailzadeh Behdadi, S. & Sabbagh, S. K. (2012). Changes on proline, phenolic compounds and activity of antioxidant enzymes in *Anethum graveolens* L. under salt stress. *International Journal of Agriculture and Plant Production*, 3, 710-715.
40. Shahzad, A. N. (2011). *The role of jasmonic acid (JA) and abscisic acid (ABA) in salt resistance of maize (Zea mays L.)*. Doctoral thesis. Justus Liebig University Giessen. VVB LAUFERSWEILER VERLAG. Printed in Germany. ISBN: 978-3-8359-5829-6. 96 pp.
41. Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
42. Tuteja, N. (2007). Abscisic acid and abiotic stress signaling. *Plant Signal Behaviour*, 2(3), 135-138.
43. Wang, H. D., Liu, J. S. & Zhang, A. (2005). Asparagine synthetase gene TaASN1 from wheat is upregulated by salt stress, osmotic stress and ABA. *Journal of Plant Physiology*, 162(1), 81-89.
44. Wang, W., Vinocur, B. & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: toward genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1-14
45. Wasternack, C. & Hause, B. (2003). Jasmonates and octadecanoids: signals in plant stress responses and development. *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*, 72, 165-221.
46. Yan, H., Hu, X. & Li, F. (2012). Leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence, ion content and free amino acids in *Caragana korshinskii* Kom exposed to NaCl stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 34(6), 2285-2295.
47. Yoon, J. Y., Homayun, M., Lee, S. & Lee, I. (2009). Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 12(2), 63-68.