



Effect of salicylic acid on some growth parameters and its interaction with two hormones, auxin and gibberellin, in potato plants (*Solanum tuberosum*) grown under *in vitro* culture

Maleki MS^a, Ehsanpour AA^{b*}

^aM.Sc., Department of plant and animal biology, university of Isfahan, Isfahan, iran

^bph.D., Department of plant and animal biology, university of Isfahan, Isfahan, iran

Original Article

Use your device to scan and read the article online



Citation: Maleki MS, Ehsanpour AA. Effect of salicylic acid on some growth parameters and its interaction with two hormones, auxin and gibberellin, in potato plants (*Solanum tuberosum*) grown under *in vitro* culture. Journal of Cell and Tissue . 2025; 15(4): 269-280.

<https://10.61186/JCT.15.4.269>.

KEYWORDS

Salicylic acid
Reactive oxygen species
Plant hormones
Plant pigments

ABSTRACT

Aim: Potato (*Solanum tuberosum* L.) is a crop belongs to the Solanaceae family. It is the fourth strategic crops following wheat, rice, and corn. Salicylic acid or orthohydroxybenzoic acid, act as a regulator that can regulate physiological, biochemical and signaling functions in plant metabolic processes. Aim: Salicylic acid as a growth regulator can interact with auxin and gibberellin hormones and effectively induce growth and metabolic processes in potato plants. Potato is one of the most important agricultural plants and *in vitro* culture can be used as a model in laboratory conditions. The aim of this study is to investigate the effect of salicylic acid on growth indicators and its interaction with other hormones.

Material and method: In this study, potato seedlings with uniform growth were grown on MS culture medium with concentrations of zero, 0.1, 10 and 100 μ M salicylic acid. The seedlings were placed in the growth room under light conditions of 16 hours of light and 8 hours of darkness at room temperature. After four weeks, the grown seedlings were used for wet weight, dry weight, shoot and root length, photosynthetic pigments, auxin and gibberellin hormones content were measured. The statistical analysis was performed using SPSS software.

Results: According to the data, growth parameters in the samples treated with salicylic acid showed similar patten. Our results showed that relative water capacity, root and shoot length and pigments under 0.1, 1 and 10 μ M significantly increased compared to control samples. While at the concentration of 100 μ M, a decreasing trend was observed in the growth parameters and showed a significant decrease compared to the control samples. In this study, the maximum values in all growth parameters were obtained under the concentration of 10 μ M salicylic acid. Furthermore, based on the results, the concentration of 0.1 μ M salicylic acid had no significant difference on gibberellin hormone content. While the gibberellin hormone content under salicylic acid treatment at concentrations of 1 and 10 μ M significantly increased compared to the control

* Corresponding author. Tel.: 031- 37934150

E-mail address: ehsanpou@sci.ui.ac.ir

DOI: : <https://10.61186/JCT.15.4.269>

Received: 29 May. 2024; Received in revised form: 24 Dec. 2024; Accepted: 7. Jan. 2025

Original Article

© Author



sample, and the maximum level was observed at 10 μM . The concentration of 100 μM , unlike the other concentrations, showed a significant difference compared to the control sample with a decreasing trend. Also the results in auxin levels showed a similar pattern with growth parameters and gibberellin hormone. The auxin levels showed a significant increase under the concentrations of 1, 10 and 100 μM compared to the control sample, and the maximum levels were observed at the concentration of 10 μM . However, concentrations of 1 and 10 μM did not show significant differences. Similar to the results of gibberellin hormone, auxin hormone showed a significant difference under the concentration of 100 μM with a decreasing trend compared to the control sample.

Conclusion: It seems that salicylic acid increased in low concentrations due to the direct effects on the metabolic and enzymatic processes of growth parameters, photosynthetic pigments, and auxin and gibberellin content. On the other hand, at high concentrations, the growth parameters were inhibited due to the high accumulation of reactive oxygen species produced by salicylic acid and the resulting oxidative stress.



بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر برخی از پارامترهای رشد و برهم کنش آن با دو هورمون اکسین و ژبیرلین در گیاه سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) تحت کشت در شیشه

محمد صادق مالکی^۱، علی اکبر احسانپور^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زیست شناسی گیاهی و جانوری، دانشکده علوم و فناوری های زیستی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
^۲ استاد، گروه زیست شناسی گیاهی و جانوری، دانشکده علوم و فناوری های زیستی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

واژگان کلیدی	چکیده
سالیسیلیک اسید گونه های فعال اکسیژن هورمون های گیاهی رنگدانه های فتوسنتزی	<p>هدف: هورمون سالیسیلیک اسید به عنوان یک تنظیم کننده رشدی می تواند با هورمون های اکسین و ژبیرلین برهم کنش نشان داده و در القا رشد و فرایندهای متابولیسمی گیاه سیب زمینی موثر باشد. سیب زمینی یکی از مهم ترین گیاهان زراعی است که کشت در شیشه آن می تواند به عنوان مدل در شرایط آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گیرد. هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر سالیسیلیک اسید بر شاخص های رشدی و برهم کنش با سایر هورمون های گیاهی می باشد. مواد و روش ها: در این مطالعه گیاهچه های سیب زمینی تحت غلظت های ۰، ۰/۱، ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید در شرایط کشت در شیشه کشت شدند. پس از چهار هفته پارامترهای رشدی، میزان کلروفیل a و b، کاروتنوئید و محتوای هورمون های اکسین و ژبیرلین اندازه گیری شدند. نتایج: داده های مطالعه حاضر نشان داد محتوای نسبی آب، سطح برگ، طول اندام هوایی و ریشه در غلظت های ۰/۱، ۱ و ۱۰ میکرومولار نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی داری یافت که بالاترین میزان تحت غلظت ۱۰ میکرومولار مشاهده شد. علاوه بر این، میزان رنگدانه های فتوسنتزی و محتوای هورمون های اکسین و ژبیرلین در گیاه الگویی مشابه با پارامترهای رشدی را نشان دادند. در مقابل غلظت ۱۰۰ میکرومولار موجب مهار و یا کاهش تمام پارامترهای مورد سنجش در این مطالعه شد. نتیجه گیری: به نظر می رسد سالیسیلیک اسید در غلظت های پائین به دلیل اثرات مستقیم هورمون بر فرایندهای متابولیسمی و آنزیمی سبب افزایش پارامترهای رشدی، رنگدانه های فتوسنتزی و محتوای اکسین و ژبیرلین شده است. در مقابل در غلظت های بالا به دلیل تجمع بالای گونه های فعال اکسیژن تولید شده به وسیله سالیسیلیک اسید و تنش اکسیداتیو ناشی از آن پارامترهای رشدی مهار شد.</p>
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸	

۱- مقدمه

سالیسیلیک اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک اسید به عنوان یک تنظیم کننده می تواند با تولید مولکول های پیام رسان مانند گونه های فعال اکسیژن موجب تنظیم عملکردهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و پیام رسانی در فرایندهای متابولیسمی گیاه شود

(۱). این هورمون با ماهیت فنولی دارای نقش‌های متعددی در رشد گیاه و متابولیسم‌های وابسته همچون فتوسنتز، تنفس، همانندسازی، جوانه‌زنی، پاسخ‌های دفاعی، القای متابولیت‌های اولیه و ثانویه، هدایت روزنه‌ای و نقش‌های آنتی‌اکسیدانتی می‌باشد (۲). سالیسیلیک اسید می‌تواند از طریق گلیکوزیلاسیون، متیلاسیون و ترکیب اسیدآمین به فرم غیرفعال تبدیل گردد و تجمع، عملکرد و یا تحرک این هورمون در گیاه را تنظیم نماید (۳). به‌گونه‌ای که تغییر در نسبت فرم فعال و غیرفعال می‌تواند نقش این هورمون در رشد گیاه و فرایندهای متابولیسمی را تنظیم نماید. تعداد و اندازه سلول می‌توانند نقش مهمی را در رشد نهایی گیاه ایفا کنند که عمدتاً توسط فرایندهای تقسیم و گسترش سلولی کنترل می‌شود و این فرایندها توسط محدودیت‌های ژنتیکی و پیام‌های محیطی تعیین می‌گردند (۴). مطالعات جدید نشان داده‌اند که سالیسیلیک اسید نقش ضروری را در تنظیم رشد گیاه با اثر بر روی تقسیم و گسترش سلولی بازی می‌کند (۵). با این حال، عملکرد سالیسیلیک اسید در تنظیم رشد گیاه، در مقایسه با نقش سایر هورمون‌های گیاهی، مانند اکسین و ژبیرلین و برهم‌کنش این هورمون‌ها با یکدیگر هنوز در مطالعات صورت‌گرفته به شکل جامع توضیح داده نشده است (۶). میزان تأثیر هورمون سالیسیلیک اسید بر گیاهان به گونه گیاهی، غلظت مورد مطالعه، مرحله نمو گیاه و شرایط محیطی وابسته می‌باشد. به طور کلی غلظت‌های پائین سالیسیلیک اسید عملکرد رشدی و غلظت‌های بالا و سمی این هورمون موجب اثرات مهاری بر روی رشد گونه‌های مختلف گیاهی می‌شود (۱). مشاهده شده است که این هورمون در غلظت‌های بهینه می‌تواند رشد، سطح برگ و میزان فتوسنتز را در گیاه برنج تحت تیمار سالیسیلیک اسید بهبود بخشد. درحالی‌که غلظت‌های بالا به دلیل تجمع زیاد گونه‌های فعال اکسین و تنش اکسیداتیو ناشی از آن موجب مهار و یا کاهش رشد اندام هوایی و ریشه شود (۷). بر اساس نتایج، تغییر در سطوح مختلف غلظت سالیسیلیک اسید در گیاهان می‌تواند منجر به فنوتیپ‌های رشد غیر طبیعی گردد (۸). مطالعه‌ای دیگر در گیاه آرابیدوپسیس نشان داد میزان رشد برگ و ریشه گیاه تحت غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید افزایش می‌یابد، درحالی‌که در گیاهان کشت‌شده در غلظت‌های بالا تمام فرایندهای رشدی گیاه مهار شد (۹). این اثرات متضاد ناشی از غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید نشان‌دهنده نقش پیچیده این هورمون در رشد گیاه است (۱۰).

سالیسیلیک اسید در نقش یک تنظیم‌کننده رشدی با هورمون‌های اکسین و ژبیرلین که در رشد گیاه دخیل می‌باشند، برهم‌کنش مثبتی را نشان داده است (۱۱، ۱۲). مشاهده شده است که سالیسیلیک اسید می‌تواند با اثر بر تجمع و انتقال هورمون اکسین که فرایندهای سلولی از جمله رشد و تقسیم سلولی را کنترل می‌کند موجب بهبود رشد ریشه و اندام هوایی گیاه شود (۱۳). نتایج نشان داده‌اند که سالیسیلیک اسید خارجی مریستم نوک ریشه را در غلظت‌های بهینه تحریک می‌نماید. در همین راستا در غلظت‌های پائین این هورمون با فعال کردن بیان ژن‌های وابسته به سنتز اکسین موجب تجمع اکسین می‌گردد. سپس تعداد سلول‌های پریکلینال در لایه‌های بیرونی ریشه را از طریق مکانیسم‌های وابسته به سیکلین D افزایش داده و در نهایت موجب رشد ریشه می‌شود. در مقابل در غلظت‌های بالا (بالتر از ۰/۰۵ میلی‌مولار) سالیسیلیک اسید با سرکوب ژن‌های دخیل در انتقال اکسین موجب کاهش اکسین در مریستم شده و در ادامه چرخه سلولی و فرایندهای رشدی را مهار می‌کند (۹). علاوه بر این، مشاهده شده است که سالیسیلیک اسید در غلظت‌های بالا می‌تواند به‌طور مستقیم به زیرواحدهای A پروتئین فسفاتاز ۲ (PP2A) متصل شده تا فسفوریلاسیون حامل‌های اکسین (PIN) را سرکوب کند و در نهایت از رشد ریشه (از جمله طویل شدن ریشه، پاسخ گرانشی و تشکیل ریشه جانبی) جلوگیری نماید (۱۴). همچنین گزارش شده است سالیسیلیک اسید سیگنال‌دهی اکسین را با تنظیم دینامیک غشای پلاسمایی انتقال‌دهنده‌های خروجی اکسین PIN در گیاه آرابیدوپسیس محدود می‌کند که این اتفاق در نهایت موجب کاهش انتقال دهی و عمل اکسین می‌گردد (۱۵). در نتایج دیگر نیز مشخص شد سالیسیلیک اسید به‌واسطه پیام‌رسانی برخی از ژن‌های دخیل در انتقال اکسین و سرکوب پیام‌رسانی اکسین موجب کاهش اکسین در گیاه و به دنبال آن کاهش ریشه‌های جانبی در گیاه آرابیدوپسیس می‌گردد (۱۶). علاوه بر این، نشان داده شده است که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید در گیاهان آرابیدوپسیس وحشی میزان ژبیرلین را افزایش و جوانه‌زنی دانه و رشد جوانه‌ها را توسعه داده که بیان‌گر یک برهم‌کنش مثبت میان هورمون‌های سالیسیلیک اسید و ژبیرلین می‌باشد (۱۷). هر چند سالیسیلیک اسید می‌تواند با اثرات مهاری بر ژبیرلین در تنظیم رشد نقش متفاوتی را ایفا کند. برای نمونه تیمار سالیسیلیک اسید بیان آلفا آمیلاز القا شده به‌وسیله ژبیرلین را در لایه آلورون مهار می‌کند (۱۸). مطالعات بیوشیمیایی نشان دادند که پروتئین‌های دخیل در پیام‌رسانی سالیسیلیک

اسید با گسترش یوبی کوئیناسیون، منجر به تخریب گیرنده ژبیرلین شده و در ادامه موجب افزایش پایداری DELLA به عنوان تنظیم‌های منفی پیام‌رسانی ژبیرلین می‌گردد (۱۹). با این حال، مکانیسم‌های مولکولی کلیدی زیربنای برهم‌کنش میان انتقال اکسین، ژبیرلین و سالیسیلیک اسید هنوز به طور کامل درک نشده‌اند.

با توجه به این که گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) بعد از گندم، برنج و ذرت رتبه چهارم را در بین محصولات کشاورزی دارد (۲۰). از همین رو، مطالعات بر روی افزایش تولید، بهبود کیفیت و تجاری‌سازی آن یک عامل مهم در کشورهای دارای اقتصاد کشاورزی است. علاوه بر اهمیت اقتصادی و کشاورزی گیاه سیب‌زمینی، این گیاه به عنوان گیاه الگو به شکل وسیعی در تحقیق و مطالعات زیست‌شناسی و کشاورزی استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی اثر سالیسیلیک اسید به عنوان یک هورمون و القاکننده زیستی بر میزان برخی از شاخص‌های رشدی و برهم‌کنش این ترکیب با هورمون‌های رشدی دیگر همچون اکسین و ژبیرلین می‌باشد. با توجه به اهمیت رشد بهتر و وسیع‌تر گیاه سیب‌زمینی در حوزه کشاورزی و استفاده از آن به عنوان یک گیاه الگو، این گیاه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به تجاری‌سازی هر چه بیشتر کشت در شیشه گیاه سیب‌زمینی و استفاده آن در صنعت کشاورزی و همچنین درک بهتر روابط فیزیولوژیکی این هورمون کمک نماید.

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه از گیاهان سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) رقم وایت دزیره که قبلاً در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه اصفهان تحت شرایط کشت در شیشه در محیط موراشیک-اسکوگ (MS) رشد یافته بودند، استفاده شد. به منظور تیماردهی، از گیاهان رشد یافته بر روی محیط کشت MS، جداکشت‌های گیاهی (explant) که از نظر فیزیولوژیکی بیشترین شباهت را داشتند بر روی محیط کشت جدید حاوی غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید واکشت گردیدند. درون هر شیشه کشت بافت ۳ گیاهچه تقریباً یکسان کشت داده شد و شیشه‌ها در اتاق رشد تحت شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. گیاهچه‌های رشد یافته پس از چهار هفته از شیشه خارج و پارامترهای وزن تر، وزن خشک، طول اندام هوایی و ریشه، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و میزان محتوای هورمون‌های اکسین و ژبیرلین اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب: برای اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب (RWC)، برگ گیاه را برداشت کرده و بلافاصله وزن تر آن اندازه‌گیری شد. سپس به مدت ۴۸ ساعت در آب مقطر خیسانده و وزن اشباع آن اندازه‌گیری شد. سپس برگ را در آون گذاشته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا وزن خشک به دست آید. در ادامه با استفاده از رابطه ۱ میزان محتوای نسبی آب محاسبه شد.

$$RWC\% = (FW - DW) / (TW - DW) * 100 \quad (1)$$

اندازه‌گیری طول ساقه و ریشه گیاه: گیاهچه‌هایی که به مدت چهار هفته بر روی محیط‌های شاهد و تیمار سالیسیلیک اسید رشد کرده بودند به منظور اندازه‌گیری طول ساقه، طول ریشه برداشت شدند. اندازه‌گیری بر اساس سانتی‌متر و به وسیله خط کش یا به کمک کاغذهای مدرج میلی‌متری انجام شد.

اندازه‌گیری سطح برگ: برای اندازه‌گیری سطح برگ نیز گیاهچه‌های رشد یافته در محیط‌های شاهد و تیمار داده شده از محیط خارج و برگ‌های موجود در ساقه‌های اصلی و فرعی آن جدا و با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter مدل Delta T (MK2) ساخت کشور انگلستان، سطح برگ اندازه‌گیری شد. بدین منظور دستگاه ابتدا با استفاده از کاغذهای میلی‌متری با مساحت ۱ سانتی‌متر مربع کالیبره شد و سپس برگ‌های گیاه سیب‌زمینی بر روی آن قرار گرفته شد و میانگین مساحت توسط دستگاه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری رنگ‌های فتوسنتزی در گیاه: به منظور استخراج و سنجش کلروفیل‌ها و کاروتنوئید مقدار ۰/۱ گرم از برگ‌های

جوان و تازه گیاه درون استون ۸۰ درصد در محیط تاریک و به روی یخ سائیده شد. محلول همگن به‌دست‌آمده به اپندرف‌های ۲ میلی‌لیتر منتقل و به‌مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شد. پس از سانتریفیوژ محلول رویی سبزرنگ را به درون فالکون‌های ۱۵ سی‌سی ریخته و با استفاده از استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید خوانده شد. همچنین قبل از خواندن جذب نمونه‌ها از استون ۸۰ درصد برای صفر جذب نوری دستگاه استفاده شد. میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به‌ترتیب طبق فرمول‌های زیر برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه (mg/g FW) (محاسبه شد (۲۱)). در این فرمول D بیانگر جذب نوری، V بیانگر حجم نهایی عصاره بر حسب میلی‌لیتر و W بیانگر وزن بافت گیاهی بر حسب گرم می‌باشد و با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$\text{Chla}(\text{mg}/(\text{g.Fw})) = [(12.7 \text{ D}^{663}) - (2.69 \text{ D}^{647}) \times V] / 1000W \quad (۲)$$

$$\text{Chlb}(\text{mg}/(\text{g.Fw})) = [(22.9 \text{ D}^{647}) - (4.93 \text{ D}^{663}) \times V] / 1000W \quad (۳)$$

$$\text{Total Chlorophyll}(\text{mg}/(\text{g.Fw})) = [(20.2 \text{ D}^{647}) + (8.02 \text{ D}^{663}) \times V] / 1000W \quad (۴)$$

$$\text{Carotenoid}(\text{mg}/(\text{g.Fw})) = [(1000 \text{ D}^{470}) - (1.8 \text{ Chla}) - (85.02 \text{ Chlb})] / 198 \quad (۵)$$

استخراج و اندازه‌گیری میزان هورمون ژبیرلین و اکسین

استخراج هورمون: جهت استخراج هورمون‌های ژبیرلین و اکسین در ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاهی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۱۰۰ درصد بر روی یخ به‌طور کامل ساییده شد. سپس عصاره را به درون فالکن ۱۵ میلی‌لیتری منتقل کرده و به‌مدت یک شبانه‌روز در درون یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. برای ممانعت از اکسیدشدن هورمون‌ها در برابر نور، دور فالکن با فویل آلومینیومی پوشانده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۲۰۰۰ rpm و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفیوژ شد. برای تغلیظ عصاره، عصاره به‌مدت ۲ ساعت در هوای آزاد در تاریکی قرار داده شد تا میزان عصاره از ۱۰ به ۵ میلی‌لیتر کاهش یابد. با استفاده از فیلترهای سرسرنگی PVDF عصاره صاف گردید و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای تهیه محلول استاندارد اکسین از IAA در مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ ppm و استاندارد ژبیرلین در مقادیر ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ ppm از ماده GA3 استفاده شد و از متانول به‌عنوان حلال استاندارد استفاده شد. بلانک نیز متانول خالص بود.

اندازه‌گیری هورمون: در ابتدا برای اندازه‌گیری استانداردها مقدار ۲۰ میکرولیتر از محلول‌های استاندارد تهیه‌شده به‌شکل جداگانه به دستگاه HPLC تزریق شد و میزان سطح زیر نمودار برای هر یک از استانداردها محاسبه شد. سپس دو استاندارد را به میزان یکسان درون یک اپندرف ریخته و مجدداً برای محاسبه مخلوط استاندارد (Mix Standard) (از آن استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان هورمون عصاره‌ها نیز میزان ۲۰ میکرولیتر از عصاره به دستگاه تزریق شد و میزان دو هورمون را محاسبه می‌کنیم. برای اندازه‌گیری این دو هورمون از دستگاه HPLC مدل Kauner K-1001 ساخت کشور آلمان با دو فاز متحرک متانول و آب و اسید استیک ۰/۶٪، ستون ۱۸ با جریان ۰/۶ میلی‌لیتر بر دقیقه و طول‌موج ۲۲۰ نانومتر استفاده شد.

۳- آنالیز آماری

این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با انجام سه تکرار برای هر تیمار انجام گرفت. به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS (version 26) استفاده گردید و نتایج داده‌ها بر اساس آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه ANOVA، در سطح احتمال $p \leq 0/05$ ، آزمون دانکن گزارش شد.

۳- نتایج

اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر پارامترهای رشدی

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می شود پارامترهای رشدی شامل محتوای نسبی آب، سطح برگ، طول اندام هوایی و ریشه گیاه سیب زمینی تحت تیمار سالیسیلیک اسید الگوی تغییرات تقریباً یکسانی را نشان دادند. به گونه ای که این پارامترهای رشدی تحت غلظت های ۰/۱، ۱ و ۱۰ میکرومولار افزایش معنی داری در مقایسه با نمونه شاهد نشان دادند. در حالی که در غلظت ۱۰۰ میکرومولار پارامترهای رشدی تفاوت معنی داری را در مقایسه با نمونه شاهد نشان ندادند. در این مطالعه بالاترین مقادیر در تمام پارامترهای رشدی تحت غلظت ۱۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید به دست آمد.

جدول ۱: اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر طول ساقه، طول ریشه، سطح برگ و محتوای نسبی آب در گیاه سیب زمینی. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار و حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار ($p \leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن می باشند.

تیمار	غلظت (μM)	طول ساقه (cm)	طول ریشه (cm)	سطح برگ (mm^2)	RWC (%)
سالیسیلیک اسید	۰	۶/۸۶ ± ۰/۶۶ ^d	۶/۳ ± ۰/۴ ^c	۳۱/۹ ± ۱/۱ ^c	۵۲/۷ ± ۳/۸ ^d
	۰/۱	۸/۵۳ ± ۰/۸۷ ^c	۷/۴ ± ۰/۴۵ ^b	۳۵/۱ ± ۱/۲ ^b	۵۹/۶ ± ۱/۹ ^c
	۱	۱۰/۱۳ ± ۰/۴۵ ^b	۷/۶ ± ۰/۵ ^{ab}	۳۵/۵ ± ۰/۹ ^b	۶۴/۶ ± ۲/۶ ^b
	۱۰	۱۵/۰۶ ± ۱/۲۵ ^a	۸/۴ ± ۰/۴۱ ^a	۵۶/۳۳ ± ۲/۶ ^a	۷۰ ± ۱/۷ ^a
	۱۰۰	۷/۲۴ ± ۰/۲۶ ^{cd}	۷/۳۱ ± ۰/۴۳ ^b	۲۴/۵۸ ± ۰/۲۹ ^c	۵۹/۹ ± ۲/۴ ^c

اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر رنگ دانه های فتوسنتزی

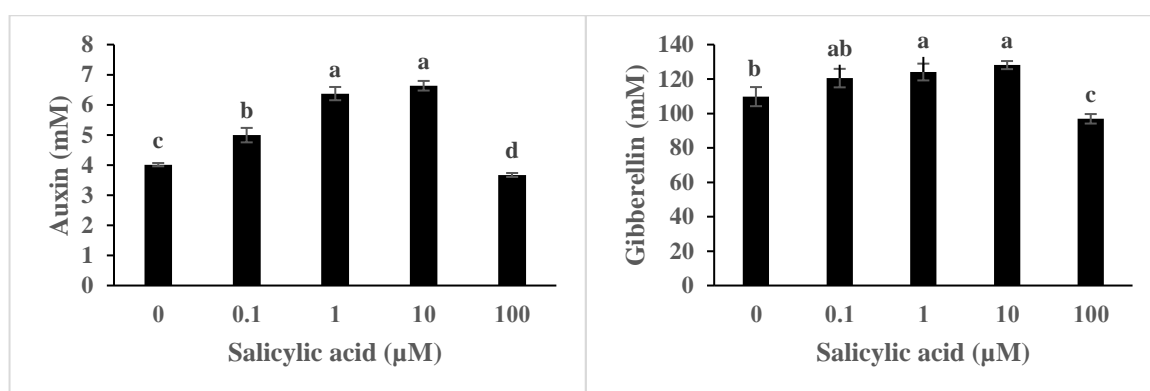
نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داد در تمام غلظت های سالیسیلیک اسید میزان رنگ دانه های فتوسنتزی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافتند. بر این اساس میزان رنگ دانه های فتوسنتزی کلروفیل a و b و همچنین محتوای کاروتنوئید تحت تیمار سالیسیلیک اسید نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت به گونه ای که بالاترین مقادیر رنگ دانه های فتوسنتزی در غلظت ۱۰ میکرومولار مشاهده شد. هر چند میزان رنگ دانه های فتوسنتزی در غلظت ۱۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید تفاوت معنی داری را نسبت به نمونه شاهد نشان ندادند. به طور کلی نتایج حاصل از محتوای رنگ دانه های فتوسنتزی الگویی مشابه با پارامترهای رشدی را نشان داد.

جدول ۲: اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاه سیب زمینی. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار و حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی دار ($p \leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن می باشند.

تیمار	غلظت (μM)	کلروفیل a (mg/g FW)	کلروفیل b (mg/g FW)	کلروفیل کل (mg/g FW)	کاروتنوئید (mg/g FW)
سالیسیلیک اسید	۰	۰/۳۰۸ ± ۰/۰۵ ^d	۰/۱۸۴ ± ۰/۰۱۱ ^c	۰/۴۹۹ ± ۰/۰۶۲ ^d	۰/۲ ± ۰/۰۰۸ ^d
	۰/۱	۰/۴۴۲ ± ۰/۰۰۸ ^c	۰/۲۵۰ ± ۰/۰۳۸ ^{bc}	۰/۷۲ ± ۰/۰۴۷ ^c	۰/۱۹۸ ± ۰/۰۰۴ ^d
	۱	۰/۶۲۵ ± ۰/۰۵۸ ^b	۰/۳ ± ۰/۰۱۳ ^b	۰/۹۴ ± ۰/۰۵ ^b	۰/۲۹۶ ± ۰/۰۰۳ ^b
	۱۰	۰/۹۷۹ ± ۰/۰۵ ^a	۰/۴۸۹ ± ۰/۰۶۹ ^a	۱/۴۹ ± ۰/۱۱۳ ^a	۰/۳۳۷ ± ۰/۰۰۶ ^a
	۱۰۰	۰/۵۷۷ ± ۰/۲۳ ^b	۰/۳۲ ± ۰/۰۱۴ ^b	۰/۹۱ ± ۰/۰۳۲ ^b	۰/۲۶۲ ± ۰/۰۱۳ ^c

اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر میزان هورمون اکسین و ژبیرلین

بر اساس نتایج شکل ۱ در این مطالعه غلظت ۰/۱ میکرومولار سالیسیلیک اسید بر محتوای هورمون ژبیرلین تفاوت معنی‌داری نداشت. درحالی‌که تیمار سالیسیلیک اسید تحت غلظت‌های ۱ و ۱۰ میکرومولار محتوای هورمون ژبیرلین را در برابر نمونه شاهد افزایش معنی‌داری داد و بالاترین مقدار در غلظت ۱۰ میکرومولار مشاهده گردید. غلظت ۱۰۰ میکرومولار نیز برخلاف سایر غلظت‌ها با یک روند کاهشی تفاوت معنی‌داری را نسبت به نمونه‌ی شاهد از خود نشان داد. میزان هورمون اکسین نیز تحت غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میکرومولار افزایش معنی‌داری را در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد که بالاترین مقدار در غلظت ۱۰ میکرومولار مشاهده شد. با این حال غلظت ۱ و ۱۰ میکرومولار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. مشابه نتایج هورمون ژبیرلین، هورمون اکسین نیز تحت غلظت ۱۰۰ میکرومولار با یک روند کاهشی اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد.



شکل ۱: اثر تیمار سالیسیلیک اسید بر میزان هورمون اکسین و ژبیرلین در گیاه سیب‌زمینی. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار و حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

۴- بحث

پارامترهای رشدی همچون میزان سطح برگ، طول اندام هوایی و ریشه صفات مهمی می‌باشند که به‌منظور بررسی رشد عمومی گیاه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. این پارامترها می‌تواند به‌شکل غیرمستقیم جهت تحلیل چگونگی پاسخ و واکنش‌های گیاه در برابر تیمار مورد استفاده قرار گیرند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که محتوای نسبی آب، سطح برگ، طول اندام هوایی و ریشه در غلظت‌های پائین سالیسیلیک اسید افزایش یافت و بالاترین میزان این پارامترها در غلظت ۱۰ میکرومولار مشاهده شد. این توسعه عمومی رشد را می‌توان به‌دلیل اثر القایی سالیسیلیک اسید در تجمع محتوای پروتئین و کربوهیدرات به‌عنوان عمده ترکیبات تشکیل دهنده اسکلت سلولی گیاه دانست (۱). علاوه بر این، بهبود پارامترهای رشدی می‌تواند ناشی از نقش سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشدی بر گیاه و افزایش تقسیم‌سلولی و طولی شدن سلول‌ها باشد (۴، ۵). مطالعات گذشته نیز نشان دادند که سالیسیلیک اسید می‌تواند در غلظت‌های بهینه و پائین رشد اندام هوایی و ریشه را در گیاه گندم (۲)، اسفناج (۲۲) و گوجه‌فرنگی (۲۳) توسعه دهد. علاوه‌براین، افزایش در میزان شاخص‌های رشدی همچون وزن و طول اندام هوایی و ریشه را می‌توان به برهم‌کنش سالیسیلیک اسید با سایر هورمون‌های رشدی از جمله هورمون‌های اکسین و ژبیرلین مرتبط دانست (۹). به‌گونه‌ای که بهترین نتایج حاصل از رشد طولی اندام هوایی و ریشه و همچنین بالاترین محتوای هورمون‌های گیاهی اکسین و ژبیرلین در این مطالعه در غلظت ۱۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد. علاوه‌براین، گزارش شده است که سطح برگ در گیاه گوجه‌فرنگی (۲۴) و خردل (۲۵) تحت تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت‌های بهینه افزایش می‌یابد. در این مطالعه نیز بالاترین میزان سطح برگ در غلظت ۱۰ میکرومولار به‌عنوان غلظت بهینه به‌دست آمد.

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز الگویی مشابه با پارامترهای رشدی را در گیاه سیب‌زمینی نشان داد. فتوسنتز تحت تأثیر رنگیزه‌های فتوسنتزی از قبیل کلروفیل و کاروتنوئیدهای موجود در کلروپلاست می‌باشد. این رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌توانند بیانگر پاسخ گیاه به شرایط محیطی و یا تیمار مورد استفاده باشد (۲۶). مطالعات نشان دادند که کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید می‌تواند میزان رنگدانه‌های کلروفیلی را در برگ‌های گیاه *Pistacia chinensis* (۲۷) و *Valeriana officinalis* (۲۸)، *Zingiber officinale* (۲۹) و *Triticum aestivum* (۳۰) افزایش دهد. با توجه به مطالعات گذشته می‌توان پیشنهاد نمود که سالیسیلیک اسید در غلظت‌های پائین با بیوسنتز کلروفیل و مهار آنزیم‌های کلروفیل اکسیداز از تجزیه کلروفیل جلوگیری می‌کند که در نهایت منجر به تجمع رنگدانه‌های کلروفیلی و افزایش فتوسنتز و بهبود رشد می‌شود (۳۱). همچنین افزایش در میزان رنگدانه‌های کلروفیلی می‌تواند به دلیل نقش این هورمون در افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو باشد (۲۹). از سوی دیگر در توجیه کاهش رنگدانه‌های کلروفیل در غلظت ۱۰۰ میکرومولار می‌توان پیشنهاد کرد که احتمالاً با تولید و تجمع زیاد گونه‌های فعال اکسیژن، میزان پراکسید هیدروژن در سلول‌های گیاه افزایش و در نهایت منجر به تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود. این تنش اکسیداتیو با به‌کارگیری گونه‌های فعال اکسیژن و دیگر مکانیسم‌های تخریبی موجب افزایش تجزیه‌ی کلروفیل و کاهش بیوسنتز آن و به‌دنبال آن کاهش محتوای رنگیزه کلروفیلی می‌باشد (۳۲). در مطالعات مشابه، مشاهده شد که غلظت بالای سالیسیلیک اسید در گیاه گوجه‌فرنگی (۳۳) و گیاه بادام‌زمینی (۳۴) با تخریب کلروفیل میزان محتوای این رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش داد. همچنین در این مطالعه الگوی تغییرات محتوای کاروتنوئیدی مشابه با میزان محتوای کلروفیل به‌دست آمد. با این حال، روند کاهشی کاروتنوئید در غلظت بالای سالیسیلیک اسید می‌تواند به دلیل تجمع بالای گونه‌های فعال اکسیژن و تنش اکسیداتیو شدید باشد. با توجه به نقش کاروتنوئید به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدانت در تنش‌های ضعیف، احتمالاً گیاه به‌منظور مقابله با تنش اکسیداتیو شدید با کاهش میزان کاروتنوئید مکانیسم‌های دفاعی دیگر همچون افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی و تجمع هورمون آبسزیزیک اسید را فعال نموده است (۳۵). مطالعات مشابه نشان دادند که میزان کاروتنوئید در گیاهان *Satsuma* (۳۶) و *Crocus sativus* (۳۷) تحت تیمار سالیسیلیک اسید در غلظت‌های پائین مشابه با میزان رنگیزه‌های کلروفیلی افزایش یافته است.

در این مطالعه، اثر سالیسیلیک اسید بر هورمون‌های ژبیرلین و اکسین بررسی و مشاهده شد که میزان ژبیرلین و اکسین مشابه با نتایج پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در غلظت‌های پائین به‌تدریج افزایش و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار کاهش یافت. سالیسیلیک اسید می‌تواند به دلیل فعال کردن و تنظیم بیان ژن‌های وابسته به سنتز اکسین و در نهایت تجمع اکسین موجب افزایش محتوای هورمون اکسین در گیاه شود. در مقابل غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید می‌تواند با مهار ژن‌های دخیل در انتقال و همچنین سنتز اکسین موجب کاهش تجمع اکسین در مریستم گردد که متعاقباً منجر به مهار چرخه سلولی و فرایندهای رشدی در گیاه شود (۹). نتایج مشابه با مطالعه حاضر نشان داد غلظت‌های بهینه سالیسیلیک اسید در سه گونه متفاوت گیاه برنج توانست میزان تجمع هورمون اکسین را در ریشه و برگ گیاه گسترش دهد (۳۸). همچنین در گیاه آرابیدوپسیس نیز هورمون سالیسیلیک اسید میزان تجمع اکسین را در ریشه نسبت به نمونه شاهد افزایش داد (۹). در نتایجی متفاوت در گیاه آرابیدوپسیس غلظت بالای سالیسیلیک اسید تجمع هورمون اکسین و عمل‌های وابسته به آن همچون رشد ریشه و رشد وابسته به گرانش را کاهش و سرکوب نمود (۱۵). با توجه به نقش تنظیم‌کنندگی سالیسیلیک اسید، این هورمون می‌تواند به‌طور مستقیم موجب افزایش ژبیرلین و القای رشد گردد (۳۹). مطالعات مشابه نشان داد سالیسیلیک اسید می‌تواند میزان محتوای ژبیرلین را در گیاه *Phoenix dactylifera* (۴۰) و آرابیدوپسیس موتانت فاقد ژبیرلین افزایش داده و جوانه‌زنی دانه و رشد جوانه‌ها را توسعه دهد (۱۷). در مقابل مشاهده شده است که غلظت بالای سالیسیلیک اسید میزان تجمع و پیام‌رسانی هورمون ژبیرلین را در گیاه آرابیدوپسیس کاهش داده (۱۹) که این کاهش می‌تواند به دلیل اثرات آنتاگونیستی سالیسیلیک اسید با هورمون ژبیرلین به‌واسطه افزایش پروتئین DELLA به‌عنوان مهارکننده پیام‌رسانی ژبیرلین باشد (۴۱). علاوه بر این، غلظت‌های بالای سالیسیلیک اسید می‌تواند منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو و در نتیجه افزایش هورمون آبسزیزیک اسید شود که این هورمون به‌عنوان یک آنتاگونیست ژبیرلین موجب کاهش این هورمون می‌شود (۴۲).

۶- نتیجه‌گیری

سالیسیلیک اسید به‌عنوان یکی از هورمون‌های رشدی گیاهی با تولید گونه‌های فعال اکسیژن به‌عنوان مولکول پیام‌رسان سبب افزایش پارامترهای رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای هورمون‌های اکسین و ژبیرلین گردید. بر اساس نتایج می‌توان پیشنهاد نمود که سالیسیلیک اسید در غلظت‌های پائین به دلیل نقش القایی بر فرایندهای متابولیسمی و فیزیولوژیکی توانست پارامترهای رشدی، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و محتوای اکسین و ژبیرلین را گسترش داده و در غلظت‌های بالا به‌دلیل تجمع بالای گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده و در نتیجه تنش اکسیداتیو پارامترهای رشدی کاهش یابد.

۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از قطب آنتی اکسیدانت‌های گیاهی و دانشگاه اصفهان به‌واسطه حمایت از این پژوهش تشکر می‌نمایند.

۸- منابع

1. Li A, Sun X, Liu L. Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13:878-976.
2. Alam P, Balawi TA, Faizan M. Salicylic acid impact on growth, photosynthesis, and antioxidant enzyme activity of *Triticum aestivum* when exposed to salt. *Molecules*. 2022;28(1):100-128.
3. Dempsey DMA, Klessig DF. How does the multifaceted plant hormone salicylic acid combat disease in plants and are similar mechanisms utilized in humans? *BMC biology*. 2017; 15:1-11.
4. Tsukaya H. Re-examination of the role of endoreduplication on cell-size control in leaves. *Journal of plant research*. 2019;132(5):571-580.
5. Fujikura U, Ezaki K, Horiguchi G, Seo M, Kanno Y, Kamiya Y, et al. Suppression of class I compensated cell enlargement by xs2 mutation is mediated by salicylic acid signaling. *PLoS Genetics*. 2020;16(6):e1008873.
6. Ali S, Khan N, Xie L. Molecular and hormonal regulation of leaf morphogenesis in *Arabidopsis*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(14):31-52.
7. Xu L, Zhao H, Ruan W, Deng M, Wang F, Peng J, et al. Abnormal Inflorescence mersitem1 functions in salicylic acid biosynthesis to maintain proper reactive oxygen species levels for root meristem activity in rice. *The Plant Cell*. 2017;29(3):560-574.
8. Pokotylo I, Hodges M, Kravets V, Ruelland E. A ménage à trois: salicylic acid, growth inhibition, and immunity. *Trends in Plant Science*. 2022;27(5):460-471.
9. Pasternak T, Groot EP, Kazantsev FV, Teale W, Omelyanchuk N, Kovrizhnykh V, et al. Salicylic acid affects root meristem patterning via auxin distribution in a concentration-dependent manner. *Plant Physiology*. 2019;180(3):1725-1739.
10. Arif Y, Sami F, Siddiqui H, Bajguz A, Hayat S. Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental Experimental Botany*. 2020; 175:104-124.
11. Mazzoni-Putman SM, Brumos J, Zhao C, Alonso JM, Stepanova AN. Auxin interactions with other hormones in plant development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2021;13(10):205-217.
12. Emamverdian A, Ding Y, Mokhberdoran F. The role of salicylic acid and gibberellin signaling in plant responses to abiotic stress with an emphasis on heavy metals. *Plant signaling behavior*. 2020;15(7):177-189.
13. Seo DH, Jeong H, Choi YD, Jang G. Auxin controls the division of root endodermal cells. *Plant Physiology*. 2021;187(3):1577-1586.
14. Tan S, Abas M, Verstraeten I, Glanc M, Molnár G, Hajný J, et al. Salicylic acid targets protein phosphatase 2A to attenuate growth in plants. *Current Biology*. 2020;30(3):381-395.

15. Ke M, Ma Z, Wang D, Sun Y, Wen C, Huang D, et al. Salicylic acid regulates PIN2 auxin transporter hyperclustering and root gravitropic growth via Remorin-dependent lipid nanodomain organisation in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist*. 2021;229(2):963-978.
16. Kong X, Zhang C, Zheng H, Sun M, Zhang F, Zhang M, et al. Antagonistic interaction between auxin and SA signaling pathways regulates bacterial infection through lateral root in *Arabidopsis*. *Cell Reports*. 2020;32(8):25-37.
17. Alonso-Ramírez A, Rodríguez D, Reyes D, Jiménez JA, Nicolás G, López-Climent M, et al. Cross-talk between gibberellins and salicylic acid in early stress responses in span style. *Plant signaling behavior*. 2009;4(8):57-69.
18. Xie Z, Zhang Z-L, Hanzlik S, Cook E, Shen QJ. Salicylic acid inhibits gibberellin-induced alpha-amylase expression and seed germination via a pathway involving an abscisic-acid-inducible WRKY gene. *Plant molecular biology*. 2007;64:293-303.
19. Yu X, Cui X, Wu C, Shi S, Yan S. Salicylic acid inhibits gibberellin signaling through receptor interactions. *Molecular Plant*. 2022;15(11):1759-1571.
20. Singh P, Sandhu A. Energy budgeting and economics of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation under different sowing methods in north-western India. *Energy*. 2023;269:126-155.
21. Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*. 1949;24(1):1-18.
22. Seyedi A, Fathi S, Asl Mohammadi Z. Influence of exogenous salicylic acid on growth and biochemical parameters of *Spinacia oleracea* L. under salinity stress. *journal of plant process and function*. 2023;12(55):33-40.
23. Shaheen M, Ayyub C, Hussain R, Manan A, Mustafa Z, Sarwar M, et al. Salicylic acid improved the heat tolerance by enhancing growth, gas exchange attributes and chlorophyll contents of tomato. *plant physiology*. 2018;5(2):39-51.
24. Soury MK, Tohidloo G. Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical Biological Technologies in Agriculture*. 2019;6(1):1-7.
25. Nazar R, Umar S, Khan N, Sareer O. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*. 2015;98:84-94.
26. Bekheta M, Abbas S, El-Kobisy O, Mahgoub M. Influence of Selenium and Paclobutrazole on Growth, Metabolic Activities and Anatomical Characters of *Gebera Jasmonii* L. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2008;2(4):1284-1297.
27. Song X, Guo H, Liu Y, Wan F, Zhang J, Chang X. Effects of salicylic acid and sucrose on pigment content in *Pistacia chinensis* leaves. *Scientia Horticulturae*. 2020;259:108-123.
28. Mohit Rabary P, Movahedi Z, Ghabooli M, Rostami M. Exogenous salicylic acid improves photosynthetic pigments and morphological traits of four medicinal plants in an aeroponic system. *Journal of Plant Molecular Breeding*. 2020;8(1):1-9.
29. Hundare A, Joshi V, Joshi N. Salicylic acid attenuates salinity-induced growth inhibition in in vitro raised ginger (*Zingiber officinale*) plantlets by regulating ionic balance and antioxidative system. *Plant Stress*. 2022;4:100-117.
30. Saeed S, Ullah A, Ullah S, Elshikh MS, Noor J, Eldin SM, et al. Salicylic acid and α -tocopherol ameliorate salinity impact on wheat. *ACS omega*. 2023;8(29):26122-2635.

31. Kohli SK, Handa N, Sharma A, Gautam V, Arora S, Bhardwaj R, et al. Interaction of 24-epibrassinolide and salicylic acid regulates pigment contents, antioxidative defense responses, and gene expression in *Brassica juncea* L. seedlings under Pb stress. *Environmental Science Pollution Research*. 2018;25:15159-15173.
32. Santos CV. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*. 2004;103(1):93-99.
33. Moustakas M, Sperdouli I, Adamakis I-DS, Moustaka J, İşgören S, Şaş B. Harnessing the role of foliar applied salicylic acid in decreasing chlorophyll content to reassess photosystem II photoprotection in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(13):703-708.
34. Arruda T, Lima GSd, Silva AA, Azevedo CA, Souza A, Soares LA, et al. Salicylic acid as a salt stress mitigator on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth of precocious-dwarf cashew in the post-grafting phase. *Plants*. 2023;12(15):27-83.
35. Koyro H-W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus*. *Environmental and Experimental Botany*. 2006;56(2):136-146.
36. Yamamoto R, Ma G, Zhang L, Hirai M, Yahata M, Yamawaki K, et al. Effects of salicylic acid and methyl jasmonate treatments on flavonoid and carotenoid accumulation in the juice sacs of *Satsuma mandarin in vitro*. *Applied Sciences*. 2020;10(24):891-896.
37. Moradi A, Zarinkamar F, Mita G, Caretto S, De Paolis A. Enhanced Production of Apocarotenoids by Salicylic Acid Elicitation in Cell Suspension Cultures of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Horticulturae*. 2022;8(12):11-26.
38. Wu Q, Jing H-K, Feng Z-H, Huang J, Shen R-F, Zhu X-F. Salicylic acid acts upstream of auxin and nitric oxide (NO) in cell wall phosphorus remobilization in phosphorus deficient rice. *Rice*. 2022;15(1):42-58.
39. Gharib F, Hegazi A. Salicylic acid ameliorates germination, seedling growth, phytohormone and enzymes activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under cold stress. *Journal of American Science*. 2010;6(10):675-683.
40. Talaat NB, Nesiem MR, Gadalla EG, Ali SF. Gibberellic acid and salicylic acid dual application improves date palm fruit growth by regulating the nutrient acquisition, amino acid profile, and phytohormone performance. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*. 2023;23(4):6216-6231.
41. Li Y, Yang Y, Hu Y, Liu H, He M, Yang Z, et al. DELLA and EDS1 form a feedback regulatory module to fine-tune plant growth–defense tradeoff in *Arabidopsis*. *Molecular plant*. 2019;12(11):1485-1498.
42. Li J, Seng S, Li D, Zhang F, Liu Y, Yao T, et al. Antagonism between abscisic acid and gibberellin regulates starch synthesis and corm development in *Gladiolus hybridus*. *Horticulture research*. 2021; 8:158-174.