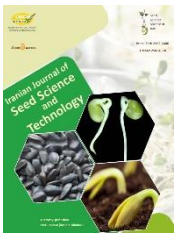
XXXX, XX (X), X-X https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364903.1515

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

*Research Article*

# Investigating the priming with salicylic acid on seed germination, seedling growth, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Tina) in the field

**Hamid Reza Darafshi[1], Seyyed Mohammad Javad Arvin[2], Fatemeh Nejad-Alimoradi[3*]**

1. M.Sc. Graduate in Horticulture, Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.
2. Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

## Article Information

Received: 05 Feb. 2024
Revised: 07 May 2024
Accepted: 08 May 2024

**Keywords:**
Fruit Yield,
Seed Germination,
Seedling Growgh,
*Solanum lycopersicum*

Corresponding Author:
alimoradi@pnu.ac.ir

## Abstract

Salicylic acid (SA) plays a crucial role in regulating various physiological mechanisms, including; germination, growth, flowering and fruit ripening. Here, the impact of seed priming of tomato (Tina) with SA on indicators of seed germination, seedling growth and quantitative and qualitative characteristics of the fruit was examined under field conditions. The treatments included seed priming in SA solution with zero, 0.10, 0.25 and 0.50 mM for a duration of 24 h. Then, the early seedlings obtained from SA priming (0.25 and 0.50 mM) were grown in the greenhouse and transferred to the field. The results showed that SA led to the significant increase in seed germination properties, also an increase in all the traits of the seedlings, the effect of 0.50 mM was more significant, so that compared to the control, this concentration increased the seed germination percentage and speed (16% and 28 % respectively) and the dry weight of seedling shoot (124%). Moreover, SA contributed to the enhancement of measured field traits and the qualitative of fruit extract, such as carotenoid, ascorbic acid levels, acidity and total soluble solids, and for all traits, except for the number and weight of fruit per plant, no difference was observed between the two concentrations of SA. The highest number and weight of fruit was obtained from the 0.50 mM treatment and the fruit yield increased by 75% compared to the control. Overall, due to the small consumption of chemicals and the ease of used, SA priming will help to reduce production costs.

**How to cite this paper:** Darafshi, H.R., Arvin, S.M.J., & Nejad-Alimoradi, F. (2025). Investigating the priming with salicylic acid on seed germination, seedling growth, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Tina) in the field. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *XX* (X), X-X. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364903.1515

© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

*Solanum lycopersicum* (Solanaceae) is an important and commercial crop and contains the most efficient antioxidants that protect cells against damage by scavenging free radicals. Seed priming is a low-cost and effective physiological process that leads to stimulation of seed germination and increased plant yield. Hormonal seed priming plays an important role in seed metabolism and is widely used in commercial seeds. Salicylic acid (SA) is considered a plant hormone with strong potential due to its diverse regulatory role in plant metabolism, and it is an endogenous regulator of plant growth that plays a key role in regulating growth and development as well as in response to environmental stresses. In addition, its role in the processes of glycolysis, seed germination, ion absorption and transport, photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration, flowering, and fruit yield has been established. Studies with SA treatment have been conducted on a specific stage of plant growth, including seed germination, greenhouse growth, or fruit production in pots under controlled environmental conditions. However, although a few experiments have studied the effect of SA treatments on plants in the field, the number of experiments that have studied the effect of SA from the germination stage, seedling development in the greenhouse to plant growth and fruit production in the field is limited. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of SA treatments as seed priming on germination, seedling production, and quantitative and qualitative yield of tomato fruit in the field.

### Materials and Methods

Three experiments (seed germination in Petri dish, seedling production in greenhouse and field experiment) were conducted. The treatments at the stage of germination and seedling production included seed priming in distilled water (control) and SA solution with concentrations of 0, 0.10, 0.25 and 0.5 mM for 24 hours. After 7 weeks, seedling related parameters were measured. The field experiment was conducted in the research farm of the Faculty of Agriculture of Bahoner University, Kerman, and seedlings produced in the greenhouse were used under seed priming treatments at the levels of 0, 0.25 and 0.5 mM of SA. The recording of vegetative and physiological traits was conducted 60 days after the seedlings were transferred to the field and before the appearance of the tomato flower clusters. The fruit harvest began on July 1 and continued until September 25. Statistical analysis was performed using SPSS software (version 22) and DMRT (p=0.05) was used to compare the means.

### Results and Discussion

In general, compared to the control, the effect of different SA concentrations on seed germination percentage and rate was significant, but no difference was observed between the SA concentrations. 0.5 mM SA resulted in a 16% increase in germination percentage, a 28% increase in germination rate, a 100% increase in seedling height, a 124% increase in shoot dry weight, and a 65% increase in root dry weight. At the seedling stage, although no significant difference was observed between the SA concentrations in most cases, the 0.5 mM treatment significantly increased the shoot and root dry weight of the seedlings. The results of the field experiment showed a significant difference between the two concentrations of 0.25 and 0.50 mM SA in fruit number and weight. The 0.5 mM concentration increased plant dry weight by 60%, the number of lateral branches by 68%, the number of flowering branches by 70%, total chlorophyll by 40%, leaf chlorophyll concentration by 18%, the number of fruits per plant by 53%, and the fruit weight per plant by 75%. The effect of different SA concentrations on all qualitative fruit traits was significant, but no difference was observed between the two concentrations of 0.25 and 0.50 mM SA. The 0.5 mM SA concentration increased carotenoid content by 18%, vitamin C by 32%, titratable acidity (TA) by 18%, and the percentage of total soluble solids (TSS) in fruit extract by 22%, while it reduced the pH of the fruit extract by 18%.

The effectiveness of seed priming in SA solution depends on various factors, including plant species, priming duration, and its concentration. It seems that SA improves growth parameters by enhancing root and shoot growth, thereby aiding in the absorption and transport of water and mineral nutrients. The positive effects of SA application on growth and biomass accumulation are due to the preservation of photosynthetic pigments and increased CO2 absorption and fixation. Furthermore, SA increases plant growth by maintaining levels of auxin and cytokinin regulators in the plant, resulting in increased cell division in the apical meristems of the root and stem. Evidence suggests that SA plays a significant role in regulating photosynthetic processes in plants through its effect on stomatal function and chlorophyll content, and by maintaining and improving the root system, it enhances nutrient absorption, leading to an increase in the number and size of fruits. Seed priming with SA also improves plant performance by affecting the increase in activity and translocation of stored nutritional elements required for plant growth and inducing antioxidant defense mechanisms. A concentration of 0.5 mM SA improved the quality of fruit extract by increasing TSS and decreasing pH. The use of SA improves the TSS content of the fruit regardless of the application method.

### Conclusion

The present study demonstrated that seed priming with SA solution improved the percentage and rate of germination, growth and development, yield, and qualitative traits of tomato fruit. Although no significant difference was observed between SA concentrations compared to the control during the germination stage, the 0.5 mM concentration significantly improved seedling growth. Most of the measured traits in the field did not show a difference between the two concentrations of 0.25 and 0.5 mM, but the 0.5 mM concentration significantly increased the number of fruits per plant, which led to an increase in fruit yield per plant as the most important economic indicator. Therefore, in general, seed priming, due to its minimal chemical consumption and ease of application, will greatly contribute to environmental protection, reduction of production costs, and enhancement of both quantity and quality of fruit.

دوره XX، شماره X، صفحات X-X

https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364903.1515

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

# بررسی پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید در برخی صفات جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. cv. Tina) در شرایط مزرعه

**حمیدرضا درفشی[۱]، سید محمدجواد آروین[۲]، فاطمه نژادعلیمرادی[۳]***

۱. کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲. استاد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۳. استادیار فیزیولوژی گیاهی، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

## چکیده

سالیسیلیک‌اسید (SA) نقش اساسی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف مانند رشد و نمو، جوانه‌زنی، گلدهی و بلوغ میوه دارد. در این تحقیق اثرات پرایمینگ بذر گوجه‌فرنگی (رقم تینا) با SA در برخی شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد نشاء و خصوصیات کمی و کیفی میوه در مزرعه بررسی شد. تیمارها شامل پرایمینگ بذر در محلول SA با غلظت‌های صفر، ۰/۱۰، ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت بود. سپس نشاء حاصل از پرایمینگ (۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار) در گلخانه نمو پیدا کرده و گیاهچه به مزرعه منتقل شد. نتایج نشان داد SA منجر به افزایش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی و همچنین افزایش تمام صفات نشاء گردید که اثر ۰/۵۰ میلی‌مولار معنی‌دار تر بود به طوری که در مقایسه با شاهد این غلظت باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی (۱۶ و ۲۸ درصد) و وزن خشک اندام هوایی نشاء (۱۲۴ درصد) گردید. همچنین SA باعث افزایش بهبود صفات اندازه‌گیری شده در مزرعه و صفات کیفی عصاره میوه شامل کاروتنوئید، اسیدآسکوربیک، اسیدیته و مواد جامد محلول کل گردید و برای کلیه صفت‌ها به‌جزء تعداد و وزن میوه در بوته، تفاوتی بین دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار SA مشاهده نشد. بیشترین تعداد و وزن میوه از تیمار ۰/۵۰ میلی‌مولار بدست آمد، بطوریکه عملکرد میوه نسبت به شاهد ۷۵ در صد افزایش یافت. با توجه به مصرف ناچیز ماده شیمیایی و آسان بودن روش مصرف، پرایمینگ بذر با سالیسیلیک‌اسید می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید کمک نماید.

## اطلاعات مقاله

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

**واژه‌های کلیدی:**
جوانه‌زنی،
عملکرد میوه،
نمو گیاهچه،
*Solanum lycopersicum*

**نویسنده مسئول:**
alimoradi@pnu.ac.ir

**نحوه استناد به این مقاله:**
Darafshi, H.R., Arvin, S.M.J., & Nejad-Alimoradi, F. (2025). Investigating the priming with salicylic acid on seed germination, seedling growth, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Tina) in the field. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *XX* (X), X-X. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364903.1515

## مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گیاهی یک‌ساله، متعلق به تیره سیب زمینی[1] (Peralta et al., 2008) یکی از سبزی‌های میوه‌ای مهم تجاری در سطح جهان بوده که منبع غالب کاروتنوئیدها است. لیکوپن که حدود ۸۰ درصد از کل محتوای کاروتنوئید میوه‌ی رسیده‌ی قرمز گوجه‌فرنگی را تشکیل می‌دهد، کارآمدترین آنتی‌اکسیدان است که از طریق حذف و پاک‌سازی رادیکال‌های واکنش‌پذیر اکسیژن از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو مرتبط با سرطان محافظت می‌کند (Jahanbakhshi & Kheiralipour, 2019; Salim et al., 2020).

سالیسیلیک اسید (SA) به‌دلیل نقش تنظیمی متنوع آن در متابولیسم گیاه، به‌عنوان یک هورمون گیاهی با پتانسیل قوی در نظر گرفته می‌شود و یک تنظیم کننده‌ی درون‌زا رشد گیاهی با ساختار فنلی است که دارای یک حلقه آروماتیک و یک گروه هیدروکسیل است. در حالت آزاد، به‌حالت کریستالی با نقطه ذوب ۱۵۷-۱۵۹ درجه سانتیگراد و pH، ۲/۴ یافت می‌شود. مشخص شده‌است که SA نقش کلیدی در تنظیم رشد و نمو گیاه و در پاسخ به تنش‌های محیطی دارد. علاوه بر این، نقش آن در فرایند گلیکولیز، جوانه‌زنی بذر، جذب و انتقال یونی، نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، گلدهی و عملکرد میوه ثابت شده‌است (Bijanzadeh et al., 2019; Hayat et al., 2010; Maghsoudi et al., 2019; Miao et al., 2020; Souri & Tohidloo, 2019).

کارایی SA برون‌زا به گونه گیاهی، مرحله رشد، غلظت، روش کاربرد و شرایط محیطی بستگی دارد (Chakma et al., 2021). یکی از روش‌های کاربرد SA برون‌زا، روش پرایمینگ بذر[2] می باشد که به عنوان یک فرآیند فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کم‌هزینه و مؤثر، منجر به تحریک جوانه‌زنی بذر، استقرار اولیه گیاهچه، بهبود پارامترهای مورفولوژیکی و رشد و نمو، زودرسی و افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی محصول می‌شود (Rhaman et al., 2020; Wiszniewska, 2021; Zhao et al., 2020).

به‌طور کلی پرایمینگ بذر در محلول‌های حاوی غلظت‌های پایین‌تر از ۱ میلی‌مولار باعث بهبود پارامترهای رشد، محصول و کیفیت میوه می‌گردد (Koo et al., 2020). برای مثال، در هویج، بیشترین مقدار محصول از غلظت ۰/۱ میلی‌مولار به مدت ۱۲ ساعت پرایمینگ بذر (Mahmood-ur-Rehman et al., 2020)، در خیار، بیشترین تأثیر بر رشد گیاه، تعداد و عملکرد میوه از ۰/۰۱ میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت پرایمینگ بذر (Abbasi et al. 2020) و در فلفل دلمه‌ای نیز بیشترین اثر بر شاخص‌های رشد، تعداد گل، تعداد میوه و عملکرد از غلظت ۰/۳ میلی‌مولار SA به دست آمد (Ahmed et al., 2020). در گوجه‌فرنگی نیز از پرایمینگ بذر در محلول‌های حاوی SA با غلظت‌های ۰/۰۲ تا ۲ میلی‌مولار استفاده شده است که واکنش‌های متفاوتی گزارش شده است (Chakma *et al*., 2021; Galviz *et al*., 2021; Galviz-Fajardo et al., 2020;) Karami et al., 2020; Mirabi & Hasanabadi, 2012; Srinivasa et al., 2022). مطالعاتی با تیمار SA بر روی یک مرحله خاص رشد گیاهی شامل؛ جوانه‌زنی بذر، رشد در گلخانه و یا تولید میوه در گلدان تحت شرایط محیط کنترل شده اجرا شده است. با این حال، اگرچه آزمایش‌های معدودی به مطالعه اثر تیمارهای SA بر گیاهان، در مزرعه وجود دارد ولی تعداد آزمایشاتی که به مطالعه اثر SA از مرحله جوانه‌زنی، نمو دانهال در گلخانه تا رشد گیاه و تولید میوه در مزرعه انجام شده باشد محدود است. بنابراین، پژوهش حاضر، به‌منظور مطالعه اثر تیمارهای SA به‌صورت پرایمینگ بذر، بر جوانه‌زنی، تولید نشاء و عملکرد کمی و کیفی میوه گوجه‌فرنگی در مزرعه انجام شد.

## مواد و روش‌ها

بذرهای گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L) رقم Teena مورد نیاز این تحقیق از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. پژوهش در سه مرحله (پرایمینگ بذر در آزمایشگاه، تولید نشاء در گلخانه و کشت آن در مزرعه) اجرا شد. گندزدایی بذرها با اتانول ۷۰ درصد به مدت دو دقیقه و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم ۲ درصد به مدت سه دقیقه و سه بار شستشو با آب مقطر انجام شد. پرایمینگ بذر با استفاده از غلظت‌های صفر، ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار SA به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. آزمون جوانه‌زنی بذر در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با چهار تکرار

[1] Solanaceae
[2] Priming



In Press

(۳۰ بذر در هر پتری‌دیش) انجام شد. بدین منظور، بذرها در پتری حاوی کاغذ صافی واتمن در ژرمیناتور مدل RH، 1CH در شرایط روشنایی (۲۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۱۶ ساعت)، تاریکی (۱۶ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۸ ساعت) قرار داده شد (ISTA, 1985). در طول دوره آزمایش، تعداد بذور جوانه‌زده در هر روز شمارش و ثبت شد. معیار جوانه‌زنی، خروج ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر یا بیشتر بود (Hardegree & Van Vactor, 2000). شمارش تا زمانی که تعداد بذور جوانه‌زده تا سه روز متوالی در هر نمونه ثابت ماند، ادامه یافت (۱۰ روز). همچنین تولید نشاء در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار (هر تکرار شامل ۲۰ عدد گلدان و یک عدد گیاه در هر گلدان) انجام شد. گلدان‌های مورد استفاده در تولید نشاء با طول ۱۸ سانتی‌متر و قطر ۵ سانتی‌متر حاوی مخلوطی از خاک مزرعه و کوکوپیت با نسبت یک به یک و در گلخانه نگهداری شد. تیمارها در مرحله جوانه‌زنی و تولید نشاء شامل پرایمینگ بذر در محلول SA با غلظت‌های صفر، ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار به مدت ۲۴ ساعت بود. بذرهای پرایم شده جهت کشت نشاء به گلدان منتقل شد. پس از ۷ هفته، پارامترهای رشد نشاء شامل؛ ارتفاع و وزن خشک ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد و سپس در اول اردیبهشت ماه نشاءهای تولید شده به مزرعه منتقل شد. آزمایش مزرعه، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تکرار (هر تکرار شامل ۶۰ بوته) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه باهنر کرمان (طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا) اجرا گردید (مشخصات خاک مزرعه در جدول ۱). ثبت صفات رویشی و فیزیولوژیک، ۶۰ روز بعد از انتقال نشاءها به مزرعه و قبل از ظاهر شدن خوشه گل انجام شد. برداشت میوه از اول تیر ماه شروع و تا ۲۵ شهریور ادامه داشت. کوددهی در مزرعه با استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم اوره و ۱۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار انجام گرفت. نصف مقدار کود اوره به همراه کودهای فسفره و پتاسه قبل از کشت در سطح زمین پخش و سپس با گاوآهن زمین شخم زده شد. سپس با کمک دیسک خاک مزرعه کاملاً صاف، یکدست و بدون کلوخه شد. سپس با ایجاد جوی و پشته‌هایی به طول ۱۵ متر و با عرض ۲ متر (ابعاد پلات ۳۰ متر مربع و فاصله بوته‌ها ۵۰ سانتی متر)، مزرعه برای انتقال نشاء آماده شد. جهت کاهش مصرف آب از طریق جلوگیری از تبخیر از سطح زمین و همچنین جلوگیری از رشد علف‌های هرز، سطح جوی با مالچ پلاستیکی با رنگ مشکی و با عرض ۱/۵ متر پوشانده شد. بعد از اتمام مالچ‌کشی با ایجاد حفره‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بر روی مالچ نشاءها به همراه خاک گلدان کشت گردید. دو مرحله کود NPK (۲۰-۲۰-۲۰) کامل که دارای ۲ درصد از عناصر روی، منیزیم و آهن بوده است محلول‌پاشی گردید. برای کنترل تریپس و مگس سفید در مزرعه یک مرحله سم‌پاشی با سم دیکلروس انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physicochemical characteristics of the soil where the experiment was carried out

| نیتروژن N (%) | فسفر P ($mg.kg^{-1}$) | پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$) | کربن آلی Organic Carbon (%) | EC (میلی‌موس) ($mmhos.cm^{-1}$) | pH | بافت خاک Soil Texture |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 4.8 | 320 | 1 | 1.8 | 7.5 | شنی لومی Sandy Loam |

درصد و سرعت جوانه‌زنی: درصد جوانه‌زنی[1] و سرعت جوانه‌زنی[2] طبق فرمول زیر محاسبه شد (Maguire, 1962):

$$GP = \frac{\sum G}{N} \times 100$$

$$GR = \sum \left(\frac{n_t}{t_1}\right)$$

G: تعداد بذرهای جوانه زده، N: تعداد کل بذرها، ni: تعداد بذرهای جوانه زده در یک زمان مشخص، ti: تعداد روز

[1] Germination percentage
[2] Germination Rate



In Press

ارتفاع نشاء: با انتخاب ۵ بوته در هر تیمار و شستشوی خاک اطراف ریشه، ارتفاع نشاء، با خط کش اندازه‌گیری شد.

وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه: جهت توزین، ابتدا نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و سپس توزین شد.

تعداد شاخه‌های جانبی بوته: پس از توقف تقریبی رشد رویشی بوته‌ها و ورود نیمی از بوته‌ها به مرحله گلدهی، تعداد شاخه‌های جانبی شمارش شد.

تعداد خوشه‌ی گل‌دهنده بوته: زمانی که شاخه‌های گل دهنده به رشد کامل رسیده و گل‌ها شروع به باز شدن کردند را به عنوان روز تا گلدهی در نظر گرفته شد و خوشه‌های گل شمارش گردید.

تعداد میوه: منظور میوه‌هایی بود که در بازار ارزش اقتصادی دارند و بازارپسند می‌باشند.

محتوای کلروفیل و کارتنوئید کل: مقدار کلروفیل برگ و محتوای کاروتنوئید کل میوه با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) سنجش و نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

غلظت کلروفیل (SPAD): کلروفیل ۵ برگ بالغ و کاملاً توسعه‌یافته با دستگاه کلروفیل سنج (Minolta SPAD-502) اندازه‌گیری شد.

pH: بدین منظور عصاره میوه پس از عبور از صافی در ظروف استوانه مدرج ریخته و pH با دستگاه pH متر مدل ۲۱۱ HANNA instrument اندازه‌گیری شد.

مواد جامد محلول کل (Total Soluble Solid): اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول نمونه‌ها بر حسب بریکس و توسط دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (PrismaTech BPTR50, Iran) صورت گرفت (Fu et al., 2009).

اسیدآسکوربیک: جهت سنجش اسید آسکوربیک از عصاره میوه، ۱/۲۶۹ گرم ید با ۱۶/۶ گرم یدید پتاسیم در آب مقطر مخلوط و حجم آن به یک لیتر رسانده شد. پس از تعیین فاکتور ید، به ۱۰ میلی‌لیتر عصاره میوه، ۲ میلی‌لیتر نشاسته ۱ درصد اضافه شد. سپس مخلوط نشاسته و عصاره میوه با محلول ید، تیتر شد و تا تشکیل رنگ خاکستری روشن عمل تیتراسیون ادامه یافت. سرانجام با استفاده از فرمول زیر مقدار اسیدآسکوربیک در عصاره میوه محاسبه شد (Basiouny, 1996):

$$A=(S\times N\times F\times 88.1)/10\times 100$$

A – مقدار اسیدآسکوربیک در عصاره میوه (میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، S – مقدار محلول ید مصرف‌شده (میلی‌لیتر)، F– فاکتور مخلوط ید، N– نرمالیته مخلوط ید

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA): بدین منظور، ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شده و با سود ۰/۱ نرمال در حضور فنل فتالئین سنجش شد. با مشاهده اولین تغییر رنگ پایدار (قرمز کم‌رنگ) که معمولاً در pH=۸/۲ اتفاق می‌افتد، اضافه نمودن سود متوقف و میزان سود مصرفی یادداشت گردید. سپس بر اساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرف‌شده در عمل تیتراسیون، مقدار اسید در عصاره میوه به‌صورت درصد یا گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه محاسبه گردید (Rasiouny, 1996).

## تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

### صفات جوانه‌زنی و تولید نشاء

نتایج تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی بذر، رشد نشاء و رشد گیاه در مزرعه، در جداول ۲، ۴ و ۶ ارائه شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری اثر تیمارها بر پارامترها در مرحله جوانه‌زنی و تولید نشاء در جدول۳ ارائه شده است. در مقایسه با شاهد، اثر غلظت‌های مختلف SA، بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر معنی‌دار بود ولی تفاوتی بین غلظت‌های SA مشاهده نشد (جدول۳). سطح ۰/۵ میلی‌مولار باعث شد درصد جوانه‌زنی ۱۶ درصد، سرعت جوانه‌زنی ۲۸ درصد، ارتفاع نشاء ۱۰۰ درصد، وزن خشک اندام هوایی ۱۲۴ درصد و وزن خشک ریشه‌چه ۶۵ درصد افزایش یابد. همچنین SA بر صفات مورد بررسی در تولید نشاء معنی‌دار بود. گرچه در اکثر موارد تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های SA مشاهده نگردید، ولی، تیمار ۰/۵۰ میلی‌مولار باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌چه نشاء

In Press

در مقایسه با سایر غلظت‌ها گردید.

اثر بخشی پرایمینگ بذر در محلول SA بستگی به عوامل مختلف شامل گونه گیاهی، مدت زمان پرایمینگ و غلظت دارد. بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه در گونه‌های زراعی و سبزی گزارش شده‌است. از گیاهان زراعی می‌توان به گندم (Abdolahi, 2014; Hayat et al., 2005)، خردل (Fariduddin et al., 2003)، جو (Ellouzi et al., 2023) و ذرت (Sallam & Ibrahim., 2015) اشاره کرد که در آنها با استفاده از غلظت‌های کمتر از ۱ میلی‌مولار بهبود در رشد اولیه گیاهچه مشاهده شده‌است. همچنین گزارش متعددی از اثر مثبت پرایمینگ بذر در سبزی‌ها ارائه شده است. برای مثال، در بامیه، پرایمینگ بذر در ۱ میلی‌مولار باعث بهبود پارامترهای جوانه‌زنی شد (Rhaman et al., 2021)، در ریحان غلظت ۰/۰۵ میلی‌مولار SA باعث افزایش جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گردید (Kulak et al., 2021)، در دو رقم گوجه‌فرنگی، پرایمینگ بذر با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار SA، جوانه‌زنی و بنیه بذر را به‌طور قابل توجهی بهبود داد (Srinivasa et al., 2022). همچنین پرایمینگ بذر گوجه‌فرنگی با ۶۰ میلی‌گرم در لیتر (۰/۴۳ میلی‌مولار) SA، میانگین زمان جوانه‌زنی را کاهش و درصد جوانه‌زنی و پارامترهای رشد گیاهچه را افزایش داد (Mirabi & Hasanabadi, 2012). در طالبی پرایمینگ بذر با محلول SA با غلظت ۲ میلی‌مولار به‌مدت ۲۴ ساعت، باعث افزایش پارامترهای جوانه‌زنی شد (Alam et al 2022). در سیاهدانه، پرایمینگ بذر با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار SA باعث بهبود پارامترهای رشد گیاهچه شد و غلظت‌های بالاتر منجر به کاهش اثربخشی گردید (Kabiri & Naghizadeh, 2015). نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد در اکثر پارمترهای اندازه‌گیری شده اثر ۰/۱ میلی‌مولار ضعیف‌تر از سایر غلظت‌ها بود و بهترین نتایج در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. به نظر می رسد، SA از طریق افزایش رشد ریشه و اندام هوایی گیاه و در نتیجه کمک به جذب و انتقال آب و مواد مغذی معدنی منجر به بهبود پارامترهای رشد شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای جوانه‌زنی و رشد نشاء تحت تیمارهای SA.

Table 2- Variance analysis of germination parameters and seedling growth under SA treatments

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | درصد جوانه‌زنی Germination percentage | سرعت جوانه‌زنی Germination speed | ارتفاع نشاء Seedling height | وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight | وزن خشک ریشه Root dry weight |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اسید سالیسیلیک SA | 3 | 137** | 0.34** | 10.45** | 19425** | 553** |
| خطا Error | 12 | 22.96 | 0.03 | 0.33 | 2474 | 12.56 |
| ضریب تغییرات C.V | - | 5.4 | 6.3 | 9.3 | 6 | 5.99 |

**معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *معنی‌دار در سطح ۵ درصد

ns, * , **: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۳- اثر پرایمینگ بذربا محلول SA بر پارامترهای جوانه‌زنی بذر و رشد نشاء گوجه‌فرنگی

Table 3-Impact of seed priming with SA solution on the parameters of seed germination and seedling growth of tomato

| اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) Salicylic acid (mM) | درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%) | سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination speed (Seed per day) | ارتفاع نشاء (سانتی‌متر) Seedling height (cm) | وزن خشک اندام هوایی (میلی‌گرم) Shoot dry weight (mg) | وزن خشک ریشه (میلی‌گرم) Root dry weight (mg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 80 b | 2.4 b | 3.8 b | 129 d | 43 c |
| 0.10 | 91 a | 2.8 a | 6.3 a | 211 c | 61 b |
| 0.25 | 93 a | 2.9 a | 7.1 a | 236 b | 63 b |
| 0.50 | 93 a | 3.07 a | 7.8 a | 289 a | 71 a |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different using LSD at 1% of probability level.



In Press

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای SA بر پارامترهای فیزیولوژیکی و رشد گوجه‌فرنگی در مزرعه.

Table 4- Variance analysis of SA treatments on physiological parameters and tomato growth in the field.

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | کلروفیل کل Total chlorophyll | غلظت کلروفیل SPAD | وزن خشک بوته Plant dry weight | تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches | تعداد شاخه‌های گل دهنده Number of flowering branches | تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant | وزن میوه در بوته Fruit weight per plant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 5 | 2.5$^{ns}$ | 9.9$^{*}$ | 1859$^{**}$ | 6.8$^{*}$ | 5.5$^{ns}$ | 4.9$^{ns}$ | 1.31$^{ns}$ |
| اسید سالیسیلیک SA | 2 | 26$^{**}$ | 119$^{**}$ | 105739$^{**}$ | 83.4$^{**}$ | 250.7$^{**}$ | 400.7$^{**}$ | 6.97$^{**}$ |
| خطا Error | 10 | 1.73 | 2.92 | 139 | 1.26 | 3.5 | 6.65 | 0.07 |
| ضریب تغییرات C.V | - | 9.87 | 3.49 | 2.1 | 6.95 | 7.69 | 6.7 | 6.4 |

$^{**}$معنی‌دار در سطح ۱ درصد، $^{*}$معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

$^{ns}$, $^{*}$ , $^{**}$: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively

## صفات مورد بررسی در مزرعه

اثر غلظت‌های مختلف SA بر کلیه صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود (جدول ۵). همچنین اختلاف معنی‌داری بین دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار SA در تعداد و وزن میوه مشاهده شد. نتایج نشان داد غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، وزن خشک بوته را ۶۰ درصد، تعداد شاخه‌های جانبی را ۶۸ درصد، تعداد خوشه‌های گل را ۷۰ درصد، کلروفیل کل برگ را ۴۰ درصد، غلظت کلروفیل برگ را ۱۸ درصد، تعداد میوه در بوته را ۵۳ درصد و وزن میوه در بوته را ۷۵ درصد افزایش داد. اثرات مثبت کاربرد SA بر رشد و تجمع زیست توده در خرفه تحت تنش کم آبی به‌دلیل حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش جذب و تثبیت $CO_2$ مشاهده شد (Saheri et al., 2020). همچنین SA با حفظ سطوح تنظیم کننده‌های اکسین و سیتوکینین در گیاه و در نتیجه افزایش تقسیم سلولی در مریستم رأسی ریشه و ساقه، منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود (Shakirova et al., 2007). مشابه این پژوهش، گزارشات متعددی به اثربخشی پرایمینگ بذر با SA در غلظت‌های مختلف بر بهبود عملکرد محصول در گیاهان متفاوت اشاره شده است. در طالبی، غلظت ۲ میلی‌مولار (Alam et al 2022)، در جو، غلظت ۱/۱ میلی‌مولار (Khaliliaqdam et al., 2013)، در بامیه نیز، ۱ میلی‌مولار (Rhaman et al., 2021)، در گوجه‌فرنگی گیلاسی، غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۰/۷۲ میلی‌مولار) (Chakma et al., 2021)، در لوبیای چشم بلبلی، غلظت ۲/۷ میلی‌مولار SA به مدت ۴ ساعت (Shekari et al., 2010)، بیشترین اثربخشی را بر عملکرد میوه داشت.

شواهد نشان داد SA از طریق اثر بر عملکرد روزنه و محتوای کلروفیل نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای فتوسنتزی در گیاهان داشته و با حفظ و بهبود سیستم ریشه در خیار (Abbasi et al. 2020) و گوجه‌فرنگی (Nangare et al., 2016)، باعث بهبود جذب مواد مغذی، و در نتیجه، افزایش تعداد و اندازه میوه‌ها شده است (Abbasi et al. 2020; Islam et al., 2022). گزارش شده است تیمار با SA از طریق اثر بر افزایش فعالیت و جابجایی عناصر تغذیه‌ای ذخیره مورد نیاز رشد گیاه منجر به بهبود عملکرد گیاه می‌شود (Jini & Joseph, 2017). پرایمینگ با SA (۰/۵ میلی‌مولار برای ۲۴ ساعت)، از طریق القای مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی باعث بهبود عملکرد محصول در ماش گردید (Roychoudhury et al., 2016).

## صفات کیفی میوه

نتایج اثر تیمارهای SA بر صفات کیفی عصاره میوه گوجه‌فرنگی در جدول ۶ نشان داده شده است. اثرغلظت‌های مختلف SA بر کلیه صفات کیفی میوه معنی دار بود ولی تفاوتی بین دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵۰ میلی‌مولار SA مشاهده نگردید.



In Press

غلظت ۰/۵ میلی‌مولار SA، میزان کاروتنوئید را ۱۸ درصد، ویتامین C را ۳۲ درصد، اسید قابل تیتراسیون(TA) را ۱۸ درصد ، درصد مواد جامد محلول (TSS) عصاره میوه را ۲۲ در صد افزایش pH عصاره میوه را ۱۸ درصد کاهش داد.

جدول ۵- اثر پرایمینگ بذر با محلول SA بر پارامترهای رشد و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی در مزرعه

Table 5- Priming effect of of SA on growth and biochemical parameters of tomato in the field.

| اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) Salicylic acid (mM) | کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW) | غلظت کلروفیل SPAD | وزن خشک بوته (گرم) Plant dry weight (g) | تعداد شاخه‌های جانبی Number of lateral branches | تعداد شاخه‌های گل‌دهنده Number of flowering branches | تعداد میوه در بوته Number of fruits per plant | وزن میوه در بوته (کیلوگرم) Fruit weight per plant (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 10.92 b | 44 b | 401 b | 11.0 b | 17 b | 29.5 c | 2.8 c |
| 0.25 | 14.10 a | 51 a | 618 a | 17.5 a | 27 a | 39.2 b | 4.4 b |
| 0.50 | 15.24 a | 52 a | 640 a | 18.5 a | 29 a | 45.3 a | 4.9 a |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different using LSD at 1% of probability level.

جدول ۶- تجزیه واریانس پارامترهای کیفی میوه گوجه‌فرنگی تحت تیمارهای SA.

Table 6- Variance analysis of tomato fruit quality parameters under different SA treatments.

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | کاروتنوئید Carotenoid | اسیدآسکوربیک Ascorbic acid | pH Acidity of fruit extract | اسیدیته قابل تیتراسیون TA | مواد جامد محلول کل TSS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 5 | $7.42^{ns}$ | $6.5^{ns}$ | $0.14^{ns}$ | $0.16^{ns}$ | $0.031^{ns}$ |
| اسید سالیسیلیک Salicylic acid | 2 | $35.4^{**}$ | $10.7^{**}$ | $1.74^{*}$ | $1.25^{**}$ | $1.74^{**}$ |
| خطا Error | 10 | 4.58 | 2.72 | 0.36 | 0.014 | 0.075 |
| ضریب تغییرات C.V | - | 6.9 | 5.5 | 13.6 | 8.3 | 5.4 |

**معنی‌دار در سطح ۱ درصد، *معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

ns, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

گزارش‌های متناقضی در خصوص اثر SA بر پارامترهای کیفی عصاره میوه گوجه‌فرنگی ارائه شده است. برای مثال، Chakma و همکاران (۲۰۲۱) در آزمایشی با کاربرد تیمار SA در غلظت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۰/۴ تا ۱/۵ میلی‌مولار) نشان دادند که SA اثرمعنی داری برpH عصاره میوه نداشت در حالی که باعث بهبود TSS عصاره میوه شد. در تحقیق دیگری، غلظت ۰/۵ میلی‌مولار SA از طریق افزایش TSS و کاهش pH باعث بهبود کیفیت عصاره میوه گردید (Yıldırım & Dursun, 2009) که با نتیجه تحقیق حاضر همخوانی دارد. همچنین SA در غلظت‌های ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌مولار باعث افزایش لیکوپن، ویتامین C و TSS در عصاره میوه گوجه‌فرنگی شد (Javaheri et al.,2012). استفاده از SA محتوای TSS میوه را بدون توجه به روش‌های کاربرد آن بهبود می‌بخشد (Chakma et al., 2021). در مطالعه حاضر کاربرد برون‌زای SA، به‌صورت پرایمینگ بذر با SA مقدار رنگیزه و غلظت کلروفیل را افزایش داد که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Hayat et al., 2008; Sharma et al., 2017). نقش SA در حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی و ممانعت از تخریب کلروفیل، به مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی آن نسبت داده شده است (Gill & Tuteja, 2010).

جدول ۷- اثر پرایمینگ بذر درمحلول SA بر خصوصیات کیفی محصول گوجه‌فرنگی

Table 7- The priming effect of different concentrations of SA solution on the quality characteristics of tomato product

| اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) Salicylic acid (mM) | کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) Carotenoid ($mg.g^{-1}$ FW) | اسیدآسکوربیک (میلی‌گرم بر صد میلی‌لیتر) Ascorbic acid ($mg.100ml^{-1}$) | pH (درصد) Acidity of fruit extract (%) | اسیدیته قابل تیتراسیون (درصد) TA (%) | مواد جامد محلول کل (درصد) TSS (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 28.0 [b] | 25 [b] | 4.9 [a] | 3.4 [b] | 4.35 [b] |
| 0.25 | 32.1 [a] | 31 [a] | 4.0 [b] | 4.0 [a] | 5.17 [a] |
| 0.50 | 32.9 [a] | 33 [a] | 4.0 [b] | 4.0 [a] | 5.30 [a] |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد با استفاده از آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the means followed by at least one common letter, are not statistically different using LSD at 1% of probability level.

## نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد پرایمینگ بذر با محلول SA باعث بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی، رشد و نمو، عملکرد و صفات کیفی میوه گوجه‌فرنگی گردید. گرچه در مرحله جوانه‌زنی، تفاوتی بین غلظت‌های SA در مقایسه با شاهد مشاهده نگردید ولی در مرحله رشد نشاء، غلظت ۰/۵ میلی‌مولار به طور معنی‌داری، رشد نشاء را بهبود بخشید. اکثر صفات اندازه‌گیری شده در مزرعه تحت تاثیر دو غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌مولار تفاوتی نشان نداد ولی غلظت ۰/۵ میلی‌مولار آن به طور معنی‌داری باعث افزایش تعداد میوه در بوته گردید که افزایش عملکرد میوه در بوته را به عنوان مهمترین شاخص اقتصادی به همراه داشت. بنابراین در مجموع پرایمینگ بذر، به دلیل مصرف ناچیز ماده شیمیایی و آسان بودن مصرف آن، کمک بزرگی به حفظ محیط زیست، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کمیت و کیفیت میوه خواهد نمود.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت تحصیلات تکمیلی دانشگاه شهید باهنر کرمان در خصوص تأمین مالی انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

## تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافعی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

## References

**Abbasi, F., Khaleghi, A., & Khadivi, A. (2020).** The effect of salicylic acid on physiological and morphological traits of cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Dream). *Gesunde Pflanzen*, *72*(2), 155-162. https://doi.org/10.1007/s10343-019-00496-0

**Abdolahi, M. (2014).** Physiological changes in wheat plants due to seed treatment with salicylic acid under late growing conditions. *Applied Biology*, *27*(1), 45-62. [In Persian]. https://doi.org/10.22051/jab.2014.1160

**Ahmed, W., Imran, M., Yaseen, M., Ul Haq, M. U., Jamshaid, S., Rukh, ..., & Khan, M. A. (2020).** Role of salicylic acid in regulating ethylene and physiological characteristics for alleviating salinity stress on germination, growth, and yield of sweet pepper. *PeerJ*, *8*, e8475. https://doi.org/10.7717/peerj.8475

**Alam, A., Ullah, H., Thuenprom, N., Tisarum, R., Cha-Um, S., & Datta, A. (2022).** Seed priming with salicylic acid enhances growth, physiological traits, fruit yield, and quality parameters of cantaloupe under water-deficit stress. *South African Journal of Botany*, *150*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.06.056

**Bijanzadeh, E., Naderi, R., & Egan, T. P. (2019).** Exogenous application of humic acid and salicylic acid to alleviate seedling drought stress in two corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(13), 1483-1495. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617312

**Chakma, R., Biswas, A., Saekong, P., Ullah, H., & Datta, A. (2021).** Foliar application and seed priming of salicylic acid affect growth, fruit yield, and quality of grape tomato under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *280*, 109904. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109904

**Ellouzi, H., Zorrig, W., Amraoui, S., Oueslati, S., Abdelly, C., Rabhi, M., ..., & Hessini, K. (2023).** Seed priming with salicylic acid alleviates salt stress toxicity in barley by suppressing ROS accumulation and improving antioxidant defense systems compared to halo- and gibberellin priming. *Antioxidants*, *12*(9), 1779. https://doi.org/10.3390/antiox12091779

**Fariduddin, Q., Hayat, S., & Ahmad, A. (2003).** Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*, *41*, 281-284. https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000011962.059

**Fu, X. P., Li, J. P., Zhou, Y., Ying, Y. B., Xie, L. J., Niu, X. Y., ..., & Yu, H. Y. (2009).** Determination of soluble solid content and acidity of loquats based on FT-NIR spectroscopy. *Journal of Zhejiang University Science B*, *10*(2), 120-125. https://doi.org/10.1631/jzus.B0820097

**Galviz-Fajardo, Y. C., Bortolin, G. S., Deuner, S., Amarante, L. D., Reolon, F., & Moraes, D. M. D. (2020).** Seed priming with salicylic acid potentiates water restriction-induced effects in tomato seed germination and early seedling growth. *Journal of Seed Science*, *42*, e202042031. https://doi.org/10.1590/2317-1545v42234256

**Galviz, Y. C., Bortolin, G. S., Guidorizi, K. A., Deuner, S., Reolon, F., & de Moraes, D. M. (2021).** Effectiveness of seed priming and soil drench with salicylic acid on tomato growth, physiological and biochemical responses to severe water deficit. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(3), 2364-2377. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00528-7

**Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010).** Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909-930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

**Hardegree, S. P., & Van Vactor, S. S. (2000).** Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. *Annals of Botany*, *85*(3), 379-390. https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1076

**Hayat, S., Hasan, S. A., Fariduddin, Q., & Ahmad, A. (2008).** Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions*, *3*(4), 297-304. https://doi.org/10.1080/17429140802320797

**Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B., & Ahmad, A. A. A. H. (2005).** Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*, *53*(4), 433-437. https://doi.org/10.1556/AAgr.53.2005.4.9

**Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010).** Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(1), 14-25. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005

**International Seed Testing Association. (1985).** *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Zürich.

**Jahanbakhshi, A., & Kheiralipour, K. (2019).** Influence of vermicompost and sheep manure on mechanical properties of tomato fruit. *Food Science & Nutrition*, *7*(4), 1172-1178. https://doi.org/10.1002/fsn3.877

**Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A., & Tavallaee, F. Z. (2012).** Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *4*(16), 1184-1187.

**Kabiri, R., & Naghizadeh, M. (2014).** Investigating the effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of *Nigella sativa* seedlings under salt stress conditions. *Iranian Journal of Seed Research*, *4*(1), 61-72. [In Persian].

**Karami, L., Hedayat, M., & Farahbakhsh, S. (2020).** Effect of salicylic acid priming on seed germination and morphophysiological and biochemical characteristics of tomato seedling (*Lycopersicon esculentum*). *Iranian Journal of Seed Research*, *7*(1), 165-180. https://doi.org/10.29252/yujs.7.1.165

**Khaliliaqdam, N., Mir-Mahmoodi, T., & Zadeh, H. S. (2013).** Effect of salicylic acid seed priming on barley yield. *Journal of Biotechnology*, *1*(7), 109-113. [In Persian].

**Koo, Y. M., Heo, A. Y., & Choi, H. W. (2020).** Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *The Plant Pathology Journal*, *36*(1), 1-10. https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.12.2019.0295

**Kulak, M., Jorrín-Novo, J. V., Romero-Rodriguez, M. C., Yildirim, E. D., Gul, F., & Karaman, S. (2021).** Seed priming with salicylic acid on plant growth and essential oil composition in basil (*Ocimum basilicum* L.) plants grown under water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, *161*, 113235. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113235

**Lichtenthaler, H. K. (1987).** Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in Enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

In Press

**Mahmood-ur-Rehman, M., Amjad, M., Ziaf, K., & Ahmad, R. (2020).** Seed priming with salicylic acid improves seed germination and physiological responses of carrot seeds. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *57*(2), 351-359. https://doi.org/10.21162/PAKJAS/20.8975

**Maghsoudi, K., Emam, Y., Ashraf, M., & Arvin, M. J. (2019).** Alleviation of field water stress in wheat cultivars by using silicon and salicylic acid applied separately or in combination. *Crop and Pasture Science*, *70*(1), 36-43. https://doi.org/10.1071/CP18213

**Maguire, J. D. (1962).** Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, *2*, 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

**Miao, Y., Luo, X., Gao, X., Wang, W., Li, B., & Hou, L. (2020).** Exogenous salicylic acid alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis and root system architecture in cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae*, *272*, 109577. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109577

**Mirabi, E., & Hasanabadi, M. (2012).** Effect of seed priming on some characteristics of seedling and seed vigor of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Advanced Laboratory Research in Biology*, *3*(3), 237-240.

**Nangare, D. D., Singh, Y., Kumar, P. S., & Minhas, P. S. (2016).** Growth, fruit yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on a phenological basis. *Agricultural Water Management*, *171*, 73-79. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.016

**Peralta, I. E., Spooner, D. M., & Knapp, S. (2008).** Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs*, *84*.

**Rasiouny, F. M. (1996).** Blueberry fruit quality and storability influenced by postharvest application of polyamines and heat treatments. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* (Vol. 109, pp. 269-271).

**Rehman, H., Farooq, M., Basra, S. M. A., & Afzal, I. (2011).** Hormonal priming with salicylic acid improves the emergence and early seedling growth in cucumber. *Journal of Agriculture and Social Sciences*, *7*(3), 109-113.

**Rhaman, M. S., Rauf, F., Tania, S. S., Karim, M. M., Sagar, A., Robin, A. H. K., ... & Murata, Y. (2021).** Seed priming and exogenous application of salicylic acid enhance growth and productivity of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) by regulating photosynthetic attributes. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *9*(6), 759-769. https://doi.org/10.18006/2021.9(6).759.769

**Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y., & Hasanuzzaman, M. (2020).** Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, *10*(1), 37. https://doi.org/10.3390/plants10010037

**Roychoudhury, A., Ghosh, S., Paul, S., Mazumdar, S., Das, G., & Das, S. (2016).** Pre-treatment of seeds with salicylic acid attenuates cadmium chloride-induced oxidative damages in the seedlings of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Acta Physiologiae Plantarum*, *38*, 1-18. https://doi.org/10.1007/s11738-015-2027-0

**Saheri, F., Barzin, G., Pishkar, L., Boojar, M. M. A., & Babaeekhou, L. (2020).** Foliar spray of salicylic acid induces physiological and biochemical changes in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Biologia*, *75*(12), 2189-2200. https://doi.org/10.2478/s11756-020-00571-2

**Salim, M. M. R., Rashid, M. H., Hossain, M. M., & Zakaria, M. (2020).** Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *19*(3), 233-240. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.11.001

**Sallam, A. M., & Ibrahim, H. I. (2015).** Effect of grain priming with salicylic acid on germination speed, seedling characters, antioxidant enzyme activity, and forage yield of teosinte. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, *15*(5), 744-753. https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.5.12616

**Shakirova, F. M. (2007).** Role of the hormonal system in the manifestation of growth-promoting and antistress action of salicylic acid. In *Salicylic Acid: A Plant Hormone* (pp. 69-89). Springer, Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-5184-0_4

**Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Vazayefi, M., & Goreishi Nasab, N. M. (2010).** Effect of salicylic acid seed priming on some physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. *Journal of Crop Ecophysiology*, *4*(13), 13-30. [In Persian].

**Souri, M. K., & Tohidloo, G. (2019).** Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *6*(1), 1-7. https://doi.org/10.1186/s40538-019-0169-9

**Srinivasa, C., Umesha, S., Pradeep, S., Ramu, R., Gopinath, S. M., Ansari, M. A., ... & Shivamallu, C. (2022).** Salicylic acid-mediated enhancement of resistance in tomato plants against *Xanthomonas perforans*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*(4), 2253-2261. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.067

**Wiszniewska, A. (2021).** Priming strategies for benefiting plant performance under toxic trace metal exposure. *Plants*, *10*(4), 623. https://doi.org/10.3390/plants10040623

**Yıldırım, E., & Dursun, A. (2008).** Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. In *International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate* (Vol. 807, pp. 395-400). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.807.56

**Zhao, T., Deng, X., Xiao, Q., Han, Y., Zhu, S., & Chen, J. (2020).** IAA priming improves the germination and seedling growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) via regulating the endogenous phytohormones and enhancing the sucrose metabolism. *Industrial Crops and Products*, *155*, 112788. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112788

In Press