E-ISSN: 2538-2187 | P-ISSN: 2251-7901

The Quarterly Scientific Journal of Applied Biology

https://jab.alzahra.ac.ir/
Vol. 37, No.1. (2024) Spring, 40-55
https://doi.org/10.22051/jab.2024.42978.1547

Paper Type: Original Article

The Effect of 24-Epibrassinolide on Germination, Physiological, Growth Parameters and Fruit Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

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

[1]*Department of Horticulture, College of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.*
[2]*Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran;*(Assistant Professor: Corresponding author: Alimoradi@pnu.ac.ir).*

Citation:

Darafshi, H. R., Arvin, S. M. J. & Nejad-Alimoradi, F. (2024). The effect of 24-Epibrassinolide on germination, physiological, growth parameters and fruit yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *The quarterly scientific journal of applied biology, Volume* 37 (Issue No. 1), PP. 40-55

Received: 2023.02.20 Accepted: 2024.03.04

Abstract

Introduction: Brassinosteroids play an important role in plant growth and development. Seedling is one of the most important factors affecting plant establishment and crop production.

Methods: The effects of tomato seed pretreatment with 24-Epibrassinolide (EBL) on germination indicators, seedling growth in the greenhouse and the effect of foliar spraying on plant growth and yield in the field were investigated. The treatments in the germination and seedling production stage included seed soaking (priming) in distilled water (control) and EBL solution with concentrations of 0.25, 0.5 and 0.75 µM for 24 hours. Seedlings obtained by seed priming in EBL (0, 0.5 and 0.75 µM) were transferred to the field and after one month, they were sprayed with concentrations of 0, 0.5 and 0.75 µM.

Results: Compared to the control, EBL increased the percentage and speed of seed germination and all physiological and growth parameters, and the effect of 0.75 µM was more significant. The effect of EBL on the measured parameters in the field was also very impressive. Although the effect of seed priming alone in all treatments was significantly better than the foliar spraying alone in all stages, but the combination of these two treatments in both concentrations of 0.5 and 0.75 µM was more significant than seed priming or foliar spraying treatments. Tomato production from the combination of seed priming along with foliar spraying increased by 74% at 0.5 µM and 145% at 0.75 µM concentration compared to the control.

Conclusion: The concentration of 0.75 µM of epibrassinolide as a combination of priming and foliar spraying had the greatest effect on seed germination, seedling growth, fruit yield, and quality traits of fruit extract.

Keywords: Foliar Spraying, Plant Growth Regulator, Seed Priming

فصلنامه علمی زیست‌شناسی کاربردی دانشگاه الزهرا(س)
دوره ۳۷، شماره ۱، پیاپی ۷۹، بهار ۱۴۰۳، صفحات ۵۵-۴۰
https://jab.alzahra.ac.ir
https://doi.org/10.22051/jab.2024.42978.1547

نوع مقاله: پژوهشی

اثر اپی‌براسینولید بر پارامترهای جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی، رشد و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)

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

[۱]کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
[۲]استاد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
[۳]استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(*نویسنده مسئول: *Alimoradi@pnu.ac.ir*)

تاریخ دریافت : ۱۴۰۲/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

چکیده

مقدمه: براسینوستروئیدها نقش مهمی در مراحل جوانه‌زنی، رشد نشاء و عملکرد کمی و کیفی محصول دارند.

روش‌ها: اثرات پیش‌تیمار بذر گوجه‌فرنگی با اپی‌براسینولید بر شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد نشاء در گلخانه و تأثیر محلول‌پاشی گیاه بر رشد بوته و عملکرد در مزرعه انجام شد. تیمارها در مرحله جوانه‌زنی و تولید نشاء شامل خیساندن بذر (پرایمینگ بذر) در آب مقطر (شاهد) و محلول اپی‌براسینولید با غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار به مدت ۲۴ ساعت بود. نشاءهای حاصل از پرایمینگ بذر در اپی‌براسینولید (۰، ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار) به مزرعه منتقل و پس از یک ماه، با غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار محلول‌پاشی شدند.

یافته‌ها: در مقایسه با شاهد، اپی‌براسینولید باعث بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و تمام پارامترهای فیزیولوژیکی و رشد نشاء گردید و اثر ۰/۷۵ میکرومولار شاخص‌تر بود. اثر اپی‌براسینولید بر پارامترهای اندازه‌گیری شده‌ی در مزرعه نیز بسیار چشمگیر بود. گرچه اثر پرایمینگ بذر به‌تنهایی در کلیه‌ی تیمارها نسبت به اثر محلول‌پاشی به‌تنهایی در کلیه‌ی مراحل، به‌طور معنی‌داری بهتر بود ولی ترکیب این دو تیمار در هر دو غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار نسبت به تیمارهای پرایمینگ بذر و یا محلول‌پاشی شاخص‌تر بود. تولید محصول گوجه‌فرنگی از ترکیب دو تیمار در غلظت ۰/۵ میکرومولار، ۷۴ درصد و در غلظت ۰/۷۵ میکرومولار، ۱۴۵ درصد، در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری: غلظت ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید به صورت ترکیب پرایمینگ و محلول‌پاشی بیشترین تأثیر را بر جوانه‌زنی بذر، رشد نشاء، عملکرد میوه، و صفات کیفی عصاره میوه داشت.

کلیدواژه‌ها: پرایمینگ بذر، تنظیم کننده‌ی رشد گیاهی، محلول‌پاشی

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) محصول یک‌ساله خود گرده‌افشان و متعلق به خانواده *Solanaceae* است [1]. گوجه‌فرنگی یکی از پرکشت‌ترین و پرمصرف‌ترین محصولات زراعی مهم و تجاری در سطح جهان است. لیکوپن که حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد از کل محتوای کاروتنوئید گوجه‌فرنگی رسیده قرمز را تشکیل می‌دهد، کارآمدترین آنتی‌اکسیدان در میان کاروتنوئیدها است که از طریق فعالیت خاموش کردن اکسیژن منفرد و پاک‌سازی رادیکال‌های پراکسیل از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو مرتبط با سرطان محافظت می‌کند [2]، [3]. از سوی دیگر، کاروتن، یک پیش‌ساز رژیمی قوی ویتامین A، حدود ۷ درصد از محتوای کاروتنوئید گوجه‌فرنگی را تشکیل می‌دهد. اسید آسکوربیک (ویتامین C)، در حالی که مؤثرترین آنتی‌اکسیدان در گیاهان است، ترکیب فیتوشیمیایی مهم میوه گوجه‌فرنگی نیز است. تأمین کالری محدود، محتوای فیبر نسبتاً بالا و تأمین مواد معدنی، ویتامین‌ها و فنل‌ها مانند فلاونوئیدها میوه گوجه‌فرنگی را به یک "غذای کاربردی" عالی تبدیل می‌کند که فواید اضافی فیزیولوژیکی و همچنین رعایت اصول تغذیه‌ای را ارائه می‌دهد [4].

تکنیک‌های مختلف فیزیولوژیکی و غیرفیزیولوژیکی برای افزایش جوانه زنی‌بذر و همچنین کاهش تنش‌های غیر زیستی موجود است. پرایمینگ یا خیساندن بذر یک فرآیند فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کم‌هزینه و مؤثر است که منجر به تحریک جوانه‌زنی بذر، بهبود پارامترهای مورفولوژیکی و افزایش رشد و نمو گیاه تحت تنش غیرزیستی می‌شود [5]. به‌طور ویژه، تکنیک‌های پرایمینگ شامل هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، بیوپرایمینگ، کموپرایمینگ و ترموپرایمینگ است [6]. بیوپرایمینگ با افزودن متابولیت‌هایی مانند تنظیم‌کننده رشد گیاهی به مخلوط پرایمینگ برای تنظیم رشد گیاه انجام می‌شود [6] و پرایمینگ با ۲۴-اپی‌براسینولید نمونه ای از بیوپرایمینگ است. پرایمینگ بذر نقش مهمی در متابولیسم بذر ایفا می‌کند و به طور گسترده در بذرهای تجاری استفاده می‌شود که می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی سرعت جوانه‌زنی بذر را بهبود و تحمل به تنش را افزایش دهد [7]، [8]. در حال حاضر، پرایمینگ بذر یک تکنیک رایج برای بهبود جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و عملکرد محصول در شرایط نامطلوب است [9]. براسینواستروئیدها نیز به‌عنوان یک عامل پرایمینگ و برای تنظیم رشد و نمو گیاهان و مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده شناخته شده‌اند [10]. گزارش شده‌است که پرایمینگ بذر یونجه (*Medicago sativa* L.) با براسینولید (۵ میکرومولار) باعث بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه تحت تنش شوری شد [11]. همچنین، پرایمینگ دانه بادام زمینی با براسینواستروئیدها ppm ۰/۱۵) تحمل به خشکی را بهبود بخشید و عملکرد بادام زمینی را افزایش داد [12].

براسینواستروئید تنظیم‌کننده‌ی استروئیدی مهم رشد گیاه در مقادیر نانومولار تا میکرومولار است که در فرایندهای نموی متعدد، از جمله تقسیم سلولی، طویل شدن سلول، تمایز آوندی، نمو زایشی و تنظیم و تعدیل بیان ژن نقش دارد [13]. براسینواستروئیدها فرایندهای نموی مختلف مانند جوانه‌زنی بذر، ریشه‌زایی، گل‌دهی، پیری، ریزش و بلوغ را تحت تأثیر قرار می‌دهند. آن‌ها همچنین مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی مختلف را بر عهده دارند [14]، [15]. نخستین بار، فعال‌ترین براسینواستروئید، براسینولید (BL)، از بیش از ۲۰۰ کیلوگرم دانه گرده کلزا (*Brassica napus*) تخلیص و استخراج شد و ساختار آن توسط تجزیه و تحلیل پرتوی ایکس تعیین شد [16]. براسینواستروئیدها بر بسیاری از صفات زراعی مهم مرتبط با رشد، فتوسنتز، عملکرد و کیفیت محصول تأثیر می‌گذارند. براسینواستروئیدها ظرفیت فتوسنتزی را با فعال کردن آنزیم روبیسکو اکتیواز افزایش می‌دهند و با القای بیان ژن‌های بیوسنتزی اتیلن، و در نتیجه تولید آن در میوه، منجر به تنظیم فرایند رسیدگی میوه می‌شوند [17]. بررسی اثر براسینواستروئید با غلظت‌های (۰/۰۱، ۱ و ۱۰۰ نانومولار) بر روی جوانه‌زنی و بهبود رشد نهال گوجه‌فرنگی نشان داد که براسینواستروئید باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و وزن تر و خشک بوته گوجه‌فرنگی می‌شود [18]. کاربرد براسینواستروئید به صورت اسپری برگی در گوجه‌فرنگی تحت تنش کادمیوم، باعث بهبود در کیفیت و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی شد، به‌طوری که در شرایط غیر تنش و نرمال رشد نیز تعداد و وزن میوه را به‌ترتیب ۶۰ و ۷۵ درصد افزایش داد [19]. اثرات پرایمینگ ۲۴-اپی براسینولید و محلول‌پاشی بر روی صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و پس از برداشت گلایول نشان داد بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در ترکیبی از پرایمینگ و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میکرومولار اپی‌براسینولید به دست آمد و از ۸ تا ۱۴ روز عمر گل را طولانی و به‌طور قابل‌توجهی ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گلایول را بهبود بخشید [20].

بیشتر مطالعات تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله براسینواستروئید بر روی گیاهانی که تحت شرایط محیط کنترل شده گلخانه‌ای رشد کرده‌اند، انجام شده است. با این حال، تیمارهای کمی در مزرعه وجود دارد که تحت شرایط رشد واقعی انجام شده باشد. پژوهش حاضر به‌منظور مطالعه اثر تیمارهای براسینواستروئید به‌صورت پرایمینگ بذر، محلول‌پاشی و ترکیب پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی بر جوانه‌زنی، تولید نشاء و عملکرد میوه گوجه‌فرنگی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه مرحله (آزمایش جوانه‌زنی بذر در پتری‌دیش، آزمایش تولید نشاء در گلخانه و آزمایش مزرعه‌ای) انجام شد. آزمایش جوانه‌زنی بذر با طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی و با چهار تکرار (۲۰ بذر در هر پتری‌دیش) انجام و پس از ۱۰ روز پارامترهای جوانه‌زنی شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی اندازه‌گیری شد. آزمایش تولید نشاء در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار (هر تکرار شامل ۲۰ عدد 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 محیط کنترل شده گلخانه قرار داده شد. در هر گلدان فقط یک گیاه نگهداری شد. تیمارها در مرحله جوانه‌زنی و تولید نشاء شامل خیساندن بذر (پرایمینگ) در آب مقطر (شاهد) و در محلول براسینواستروئید با غلظت‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید به مدت ۲۴ ساعت بود. پس از ۷ هفته، پارامترهای محتوای آب نسبی برگ، نشت یونی، طول و ارتفاع ریشه و اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد. آزمایش مزرعه‌ای 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. در آزمایش مزرعه‌ای، از نشاءهای تولید شده در گلخانه که تحت تاثیر تیمارهای حاصل از خیساندن بذر در اپی‌براسینولید (۰، ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار) بود استفاده گردید. ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در مزرعه در **جدول ۱** ارائه شده است. کوددهی در مزرعه با استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم 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. بعد از انجام عملیات خاک‌ورزی، با استفاده از نهرکن با ایجاد جوی و پشته‌هایی به طول ۱۵ متر و با عرض ۲ متر عملیات تهیه زمین انجام 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. بعد از کشت تمام نشاءها، آبیاری مزرعه بلافاصله انجام شد تا نشاءها دچار تنش نشوند. همچنین دو مرحله کود NPK کامل که دارای دیگر عناصر از جمله کلسیم، روی، منیزیم، منگنز، مولیبدن، آهن و گوگرد بوده است به‌صورت محلول‌پاشی در طول فصل کشت داده شد. برای کنترل تریپس و مگس سفید در مزرعه یک مرحله سم‌پاشی با سم دیکلروس انجام‌شد. این آزمایش در ۳ تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه اجرا گردید. یک ماه پس از انتقال گیاهان به مزرعه، محلول‌پاشی با غلظت‌های ۰، ۰/۵ و ۰/۷۵ میکرومولار ۲۴-اپی‌براسینولید انجام شد. سپس از بوته‌های حاوی میوه رسیده، نمونه‌برداری انجام و پارامترهای محتوی آب نسبی برگ، نشت یونی برگ، وزن‌تر و خشک بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد خوشه گل‌دهنده، تعداد روز تا گلدهی، تعداد میوه، متوسط وزن هر میوه در بوته، وزن کل میوه برداشت‌شده در بوته (عملکرد بوته)، کلروفیل و کاروتنوئید، ویتامین C، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون و pH میوه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

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

Soil texture	pH	EC(dS/m)	(%) Organic Carbon	K (mg/kg)	P (mg/kg)	N (%)
loamy sand	7.5	1.8	1%	320	4.8	9

درصد و سرعت جوانه‌زنی

بذرهای گوجه‌فرنگی در چهار تکرار یکصدتایی برای هر تیمار در پتری‌دیش قرار داده شدند و با شمارش تعداد بذور جوانه‌زده درصد جوانه‌زنی از طریق فرمول زیر محاسبه شد. درصد جوانه‌زنی (Germination percentage) و سرعت جوانه‌زنی (Germination Rate) طبق فرمول زیر محاسبه شد [21]:

$$GR=\sum\left(\frac{n_i}{t_i}\right) \qquad GP=\frac{\sum G}{N}\times 100$$

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

محتوای نسبی آب برگ در نشاء

ابتدا وزن تر برگ گیاه اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۵ ساعت در آب دیونایز قرارگرفته و وزن درحالت تورگر نیز اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها در فویل آلومینیومی قرار داده شد و به مدت ۷۲ ساعت درآون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. سپس وزن خشک نمونه‌ها با ترازو اندازه‌گیری شد و محتوی نسبی آب بافت برگ با استفاده از رابطه زیر بر حسب درصد محاسبه گردید [22].

RWC(%) =(وزن تر – وزن خشک / وزن تر- وزن خشک)×۱۰۰

اندازه‌گیری نشت یونی در برگ

برای محاسبه نشت یونی، سطح مقطعی به قطر ۲ سانتیمتر از بافت برگی تازه گیاه، پس از شستشو (شستشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه) با آب مقطر، درون لوله‌های آزمایش درپیچ‌دار قرار داده شد و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و بعد از ۲۴ ساعت میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC1) با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی (EC متر) مدل Metrhom (ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در فریزر قرار گرفتند و بعد از آن نمونه‌ها در دمای معمولی آزمایشگاه قرار داده شد و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC2) مجدداً اندازه‌گیری شد و در نهایت میزان نشت‌یونی در نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید [23].

$$EL= EC_1/EC_2\times 100$$

طول و ارتفاع ریشه و اندام هوایی نشاء

برای این منظور تعداد ۵ بوته در هر تیمار انتخاب و با دقت خاک اطراف ریشه شسته شده تا تمام ریشه‌ها سالم باقی بمانند و طول و ارتفاع ریشه و اندام هوایی نشاء و بوته‌ی گوجه‌فرنگی، با خط کش اندازه‌گیری شد.

وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه

برای جداسازی اندام هوایی و ریشه گوجه‌فرنگی در مزرعه، ابتدا خاک همراه باریشه از خاک خارج گشت. برای این منظور تمام خاک اطراف ریشه، از طوقه تا سطح سایه‌انداز بوته به عمق ۳۰ سانتی‌متر را با بیل خارج کرده و با آب، خاک اطراف ریشه را به طوری‌که کمترین آسیبی به ریشه‌ها وارد شود شسته و به‌سرعت با دستمال‌کاغذی ریشه‌ها را خشک کرده و از ناحیه طوقه گیاه به دو قسمت تقسیم و ریشه از بوته جدا شده و هر کدام به طور جداگانه با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری

وزن خشک نمونه‌ها، بوته و ریشه جداگانه در فویل آلومینیومی و به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس وزن خشک نمونه اندازه‌گیری شد.

تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد خوشه‌ی گل‌دهنده بوته

پس از اینکه تقریباً نصف بوته‌ها وارد مرحله گلدهی شد و رشد رویشی بوته‌ها تقریباً متوقف شد، تعداد شاخه‌های جانبی شمارش شد. از تاریخ کشت نشاء در مزرعه تا زمانی که شاخه‌های گل دهنده به رشد کامل رسیدند و گل‌ها شروع به باز شدن کردند را به عنوان روز تا گلدهی در نظر گرفته و خوشه‌های گل مورد شمارش قرار گرفتند.

تعداد کل میوه‌ی تشکیل‌شده، تعداد میوه‌ی برداشت‌شده و متوسط وزن میوه بازارپسند در بوته

زمانی که عمل گرده‌افشانی گل‌ها صورت گرفت و میوه تشکیل شد (مرحله نخودی) شمارش میوه‌ها انجام شد. پس از برداشت میوه‌هایی که ارزش اقتصادی دارند و بازارپسند می‌باشند، تعداد آنها شمارش و میوه‌های هر بوته از هر تیمار را به‌وسیله ترازوی آزمایشگاهی Mettler Toledo مدل AX204 با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن کرده و متوسط وزن میوه‌ها از هر تیمار به‌عنوان برداشت نهایی ثبت شد.

کلروفیل و کاروتنوئید

برای سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) [23] استفاده شد. ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد سائیده شد و پس از صاف کردن جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Visible مدل cary50 ساخت آلمان در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲۰، ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. جهت تنظیم دستگاه استن ۸۰ درصد مورد استفاده قرار گرفت. غلظت رنگیزه با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید [23].

$$Chla = (12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8})$$

$$Chlb = (21.21A_{646.8} - 5.1A_{663.2})$$

$$ChlT = Chla + chlb$$

$$Car = \left(\frac{(1000A_{470} - 1.8Chla - 85.02Chlb)}{198}\right)$$

در این فرمول‌ها Chla، Chlb، ChlT و Car به ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها (شامل کاروتن ها و گزانتوفیل ها) می‌باشد. غلظت بر حسب $mg.\ ml^{-1}$ عصاره گیاهی تعیین گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه گردیدند.

pH میوه

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول نمونه‌ها بر حسب بریکس و توسط دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (PrismaTech BPTR50, Iran) صورت گرفت و با ریختن چند قطره عصاره میوه بر روی صفحه شیشه‌ای رفرکتومتر انجام شد. بریکس برابر با گرم قند در ۱۰۰ گرم عصاره میوه می‌باشد [24].

میزان ویتامین C

اندازه‌گیری میزان ویتامین C با روش تیتراسیون با محلول ۲-۶ دی کلروفنل ایندوفنل استاندارد صورت گرفت و مقادیر آن بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد. در این روش، ۵ گرم ماده گیاهی به‌علاوه ۵ میلی‌لیتر متافسفریک ۱ درصد سائیده و با عبور از صافی، ۵ گرم آن را برداشته و با ۵ میلی‌لیتر متافسفریک ۱ درصد ترکیب شد. در ادامه با دی کلروفنل ایندوفنل ۰/۰۲۵ درصد، تیتر شد. توقف تیتر، با ظهور رنگ صورتی کم رنگ و پایداری آن به مدت ۱۰ تا ۱۵ ثانیه بود و میزان دی‌کلروفنل ایندوفنل مصرفی ثبت گردید و مقادیر آن بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد [25].

ویتامین C =(V ×T)/(W)×۱۰۰

V: میزان دی کلروفنل ایندوفنل مصرفی، T: میلی اکی‌والان استاندارد اسید آسکوربیک و W: گرم ماده گیاهی.

اسیدیته قابل تیتراسیون

به‌منظور اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتیراسیون، ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره با ۸۰ میلی‌لیتر 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 و از رابطه زیر محاسبه گردید [26].

A: مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه (میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، N: نرمالیته سود مصرفی (۰/۱ نرمال)، V: حجم سود مصرفی، M: مقدار عصاره میوه (میلی‌لیتر) و E: اکی‌والان اسید موردنظر (اسید مالیک).

$$A=\frac{N\times V\times E}{M}\times 100$$

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش جوانه‌زنی بذر با چهار تکرار (۲۰ بذر در هر پتری‌دیش) با طرح پایه کاملاً تصادفی، آزمایش تولید نشاء با ۳ تکرار (هر تکرار شامل ۲۰ عدد گلدان) در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمایش مزرعه‌ای با ۳ تکرار در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام و با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحت آنالیز واریانس قرار گرفته و اختلاف میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری اثر تیمارها بر پارامترها در مرحله جوانه‌زنی و تولید نشاء در **جدول ۱** ارائه شده است. غلظت‌های مختلف براسینواستروئید، بر درصد و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود. بیشترین میزان آن‌ها متعلق به غلظت ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید بود. با افزایش غلظت اپی‌براسینولید در سرعت جوانه‌زنی گیاهچه‌ها روندی افزایشی مشاهده شد. درحالی‌که بین دو غلظت بالاتر اپی‌براسینولید هیچ تفاوتی وجود نداشت. غلظت ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید در مقایسه با شاهد، به‌ترتیب درصد و سرعت جوانی‌زنی را ۲۱ و ۳۴ درصد افزایش داد (**جدول ۲**).

درصد نشت یونی نشاء و محتوی نسبی آب برگ نشاء

بیشترین نشت یونی به میزان ۶۹ درصد در تیمار شاهد و کمترین میزان آن نیز با مقدار ۵۳ درصد در تیمار ۰/۷۵ اپی‌براسینولید مشاهده شد و در مقایسه با شاهد، ۲۳ درصد آن را کاهش داد. البته در سایر تیمارهای آزمایشی درصد نشت یونی نسبت به تیمار شاهد کمتر بود اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف تنظیم‌کننده رشد وجود نداشت. محتوی نسبی آب در گیاه با افزایش غلظت اپی‌براسینولید نسبت به شاهد افزایش داشته است و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار ۰/۷۵ اپی‌براسینولید بود، به طوری که در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش ۱۶ درصدی آن شد (**جدول ۲**).

طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی نشاء

تیمار ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید در مقایسه با شاهد منجر به افزایش ۳۳ درصدی طول ریشه شد البته تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف اپی‌براسینولید مشاهده نشد. در مورد ارتفاع بوته نیز هرچند که کمترین ارتفاع (۳/۸ سانتی‌متر) در شاهد وجود داشت اما با افزایش غلظت تنظیم‌کننده رشد ارتفاع نشاء نیز افزایش یافت و این مقدار افزایش در تیمار ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید بیشتر از بقیه بود و در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش ۱۲۱ درصدی آن شد (**جدول ۲**).

جدول ۲- اثر پرایمینگ غلظت‌های مختلف محلول اپی‌براسینولید (EBL) بر پارامترهای جوانه‌زنی بذر و رشد نشاء گوجه‌فرنگی

Table 2- The effect of seed priming with Epibrassinolide (EBL) solution on parameters of seed germination and seedling growth of tomato

EBL (µM)	Germination percentage (%)	Germination speed (Seed per day)	Ion leakage (%)	Relative water content (%)	Seedling height (cm)	Root length(cm)
0	80.4±4 [d]	2.40±0.16 [c]	69.54±2.2 [a]	56.03±1.8 [d]	3.80±1.2 [b]	16.20±1.4 [c]
0.25	93.5±4 [c]	3.11±0.16 [b]	64.17±2.2 [b]	62.17±3.3 [c]	8.20±1.1 [a]	18.60±2.0 [b]
0.5	95.5±5.3 [b]	3.22±0.16 [a]	57.77±2.2 [bc]	63.50±2.2 [b]	8.20±1.3 [a]	20.40±2.4 [ab]
0.75	97.3±5.5 [a]	3.30±0.2 [a]	53.41±2.2 [c]	64.80±2.5 [a]	8.40±0.2 [a]	21.60±2.6 [a]

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی نشاء گوجه‌فرنگی

بیشترین وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی نشاءهای گوجه‌فرنگی مربوط به تیمار اپی‌براسینولید با غلظت ۰/۷۵ میکرومولار اختصاص داشت و به‌ترتیب در ریشه ۷۲ و ۸۹ درصد و در اندام هوایی ۱۵۴ و ۱۳۱ درصد آن‌ها را افزایش داد. با وجود اینکه تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف اپی‌براسینولید در وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی نشاء مشاهده نشده است ولی با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند (**جدول ۳**).

جدول ۳- اثر پرایمینگ غلظت‌های مختلف محلول اپی‌براسینولید بر پارامترهای رشد نشاء گوجه‌فرنگی

Table 3- The effect of seed priming with Epibrassinolide solution on tomato seedling growth parameters

EBL (µM)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (mg)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (mg)
0	1.54±0.16 [c]	129.20±11 [b]	0.994±0.13 [b]	43.60±2.1 [b]
0.25	2.93±0.16 [b]	248.80±8 [a]	1.59±0.13 [a]	81.20±4.1 [a]
0.5	3.47±0.16 [ab]	267.80±10 [a]	1.42±0.21 [a]	81.00±3.2 [a]
0.75	3.92±0.24 [a]	298.20±14 [a]	1.71±0.1 [a]	82.60±4.3 [a]

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

محتوای آب نسبی و نشت یونی بوته

سطوح تیماری مختلف اپی‌براسینولید بر محتوی آب نسبی بوته معنی‌دار بود. کمترین مقدار این پارامتر در تیمار شاهد مشاهده شد درحالی‌که در سایر غلظت‌ها و با کاربرد روش‌های پرایمینگ و محلول‌پاشی اپی‌براسینولید، محتوای آب نسبی افزایش یافت. در مقایسه کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی جداگانه، محلول‌پاشی بر محتوای آب نسبی مؤثرتر بود و بیشترین افزایش متعلق به اثر پرایمینگ به همراه محلول‌پاشی با ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید بود، به طوری که در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش ۶۳ درصدی آن شد (**جدول ۴**). در مقایسه با شاهد، با افزایش سطوح تیماری اپی‌براسینولید، نشت یونی کاهش یافت و بیشترین کاهش در تیمارهای پرایمینگ و محلول‌پاشی ۰/۷۵ میلی مولار اپی‌براسینولید مشاهده شد و در مقایسه با شاهد، منجر به کاهش ۵۶ درصدی آن شد. در مقایسه‌ی کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی جداگانه، اثر محلول‌پاشی بر کاهش نشت یونی مؤثرتر بود (**جدول ۴**).

وزن تر و خشک بوته

نتایج حاصل از اندازه‌گیری اثر تیمارها بر پارامترها در مرحله عملکرد و صفات مورفولوژیکی گیاه در **جدول ۳** ارائه شده است. غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید بر وزن‌تر و خشک گیاهان گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود. بیشترین افزایش در هر دو پارامتر، متعلق به تیمار پرایمینگ همراه با محلول‌پاشی غلظت ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید بود و در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۷۶ و ۷۵ درصد آن را افزایش داد. همچنین در مقایسه کاربرد جداگانه پرایمینگ و محلول‌پاشی، اثر پرایمینگ بر افزایش وزن تر و خشک بوته مؤثرتر بود (**جدول ۴**).

تعداد شاخه جانبی و تعداد خوشه گل دهنده

اثر تیمارهای پرایمینگ به همراه محلول‌پاشی نسبت به تیمارهایی که فقط یکی از آن‌ها به‌صورت جداگانه اعمال شده بر تعداد شاخه جانبی و تعداد خوشه گل دهنده بیشتر بوده است و بیشترین تعداد شاخه جانبی و خوشه گل دهنده مربوط به پرایمینگ همراه محلول‌پاشی ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید بود و در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۱۱۸ و ۱۱۷درصد آن را افزایش داد (**جدول ۴ و ۵**).

جدول ۴- اثر اپی‌براسینولید بر پارامترهای فیزیولوژیکی و رشد گوجه‌فرنگی در مزرعه

Table 4- The effect of Epibrassinolide on physiological parameters and tomato growth in the field

EBL (µM)	Method of application		Relative water content (%)	Ion leakage (%)	Plant fresh weight (g)	Plant dry weight (g)	Number of lateral branches
	Priming	Foliar spraying					
Control	0	0	40.60±1.8 f	70.46±4.6 a	990±60 f	401±28 f	11.00±1.4 f
0.5	+	-	58.00±1.5 e	47.60±2.1 b	1660±71 c	672±25 c	20.00±2.4 c
	-	+	60.00±2.4 d	37.00±1.8 d	1175±91 c	475±26 e	15.60±2.1 e
	+	+	63.80±2.6 b	35.20±2.6 e	1689±82 b	684±28 b	21.30±2.3 b
0.75	+	-	58.10±1.5 e	45.00±1.8 c	1709±94 b	691±27 ab	21.60±2.5 b
	-	+	61.80±2.2 c	34.80±1.4 e	1214±67 d	491±25 d	18.00±1.5 d
	+	+	66.20±2.4 a	30.80±0.9 f	1747±92 a	703±29 a	24.00±2.6 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری اثر تیمارهای براسینواستروئید بر صفات عملکرد گوجه‌فرنگی در **جدول ۵** ارائه شده است.

تعداد روز تا گلدهی و تعداد میوه

تعداد روز تا گلدهی نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف آزمایشی قرار گرفت، به‌گونه‌ای که کوتاه‌ترین زمان تا گلدهی در تیمار ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید و در شرایطی بود که پرایمینگ همراه با محلول‌پاشی تنظیم‌کننده رشد انجام شد و طولانی‌ترین زمان نیز مربوط به تیمار شاهد بود. تعداد میوه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر هر دو تیمار پرایمینگ و محلول‌پاشی اپی‌براسینولید قرار گرفت. با اینکه با افزایش غلظت تنظیم‌کننده رشد، تعداد میوه نیز افزایش یافت اما بیشترین افزایش مربوط به

تیمار ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید در شرایطی بود که هم پرایمینگ و هم محلول‌پاشی انجام شد و به میزان ۱۲۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد.

متوسط وزن و عملکرد میوه در بوته

سطوح مختلف اپی‌براسینولید، متوسط وزن میوه را نیز افزایش داده است اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف تنظیم‌کننده رشد و نحوه تیماردهی مشاهده نشد. میزان عملکرد میوه در بوته در مقایسه با شاهد تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت و اثر تیمار۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید شاخص‌تر بود، به‌طوری که در مقایسه با شاهد، تیمار پرایمینگ ۱۰۰ درصد، تیمار محلول‌پاشی ۶۵ درصد و ترکیب پرایمینگ و محلول‌پاشی ۱۴۵ درصد عملکرد میوه را افزایش داد (**جدول ۵**).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

بیشترین مقدار کلروفیل a، b، کلروفیل کل و شاخص کلروفیل، در شرایط کاربرد دو حالت پرایمینگ به‌همراه محلول‌پاشی و پس از آن نیز در حالت فقط پرایمینگ، بود. در مورد کلروفیل a، کلروفیل کل و شاخص کلروفیل، پرایمینگ بذر به‌همراه محلول‌پاشی با ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید بیشترین اثر را داشت در حالی که بیشترین اثر را بر میزان کلروفیل b غلظت ۰/۵ میکرومولار اپی‌براسینولید داشت (**جدول ۶**). در حالت کاربرد پرایمینگ به همراه محلول‌پاشی با افزایش غلظت تنظیم‌کننده رشد مقدار کاروتنوئید بوته‌ها نیز افزایش یافت. هرچند که بین تمامی تیمارهای اعمال‌شده، از جمله غلظت‌های مختلف انواع تنظیم‌کننده‌های رشد در حالت‌های اعمال مختلف آن‌ها، هیچ‌گونه اختلاف معناداری وجود نداشت اما تیمار شاهد کمترین کاروتنوئید (به مقدار ۲۹/۳۴ میلی‌گرم بر وزن‌تر) را داشت و دارای اختلاف معنادار با سایر تیمارهای مختلف بود (**جدول ۶**).

جدول ۵- اثر اپی‌براسینولید بر عملکرد گوجه‌فرنگی در مزرعه

Table 5- The effect Epibrassinolide on tomato yield in the field

EBL (µM)	Method of application		Number of flowering branches	Number of days to flowering	Number of fruits per plant	Average Fruit weight (g)	Total fruit weight per plant (g)
	Priming	Foliar spraying					
Control	0	0	17.00±1.4 ^{f}	57.30±4.6 ^{a}	29±2.7 ^{e}	128±0.22 ^{b}	3776±46 ^{d}
0.5	+	-	31.30±2.4 ^{c}	47.60±3.8 ^{d}	42±2.3 ^{c}	141±0.26 ^{a}	5950±53 ^{c}
	-	+	22.60±2.2 ^{e}	51.00±4.2 ^{b}	35±2.3 ^{d}	140±0.33 ^{a}	4928±48 ^{d}
	+	+	34.30±2.1 ^{b}	47.20±3.6 ^{d}	46±2.9 ^{c}	141±0.36 ^{a}	6556±66 ^{c}
0.75	+	-	31.60±2.2 ^{c}	47.00±2.9 ^{d}	56±4.1 ^{b}	141.5±0.32 ^{a}	7882±73 ^{b}
	-	+	25.30±1.8 ^{d}	49.30±3.1 ^{c}	44±2.8 ^{c}	141.6±0.34 ^{a}	6215±58 ^{c}
	+	+	37.00±2.6 ^{a}	45.00±2.6 ^{e}	65±0.2 ^{a}	142±0.31 ^{a}	9236±82 ^{a}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۶- اثر اپی‌براسینولید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گوجه‌فرنگی در مزرعه

Table 6- The effect Epibrassinolide on tomato photosynthetic pigments in the field

EBL (µM)	Method of application		Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ FW)	Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ FW)	Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	Chlorophyll index	Carotenoid ($mg.g^{-1}$ FW)
	Priming	Foliar spraying					
Control	0	0	3.99±0.3 ^{d}	6.94±0.6 ^{d}	10.9±1.4 ^{e}	44.3±3.4 ^{e}	29.3±1.9 ^{c}
0.5	+	-	5.13±0.4 ^{bc}	8.11±0.7 ^{c}	13.2±1.4 ^{c}	51.6±1.4 ^{c}	30.8±2.9 ^{b}
	-	+	4.56±0.4 ^{cd}	6.60±0.5 ^{d}	11.1±1.4 ^{de}	47.6±1.4 ^{d}	30.8±2.6 ^{b}
	+	+	5.74±0.5 ^{b}	10.00±0.8 ^{a}	15.7±1.6 ^{b}	53.0±1.8 ^{b}	31.6±2.2 ^{ab}
0.75	+	-	5.68±0.5 ^{b}	9.56±0.8 ^{b}	15.2±1.5 ^{b}	53.3±1.6 ^{b}	31.7±1.9 ^{ab}
	-	+	4.66±0.5 ^{cd}	6.93±0.6 ^{d}	11.5±1.6 ^{d}	48.0±1.7 ^{d}	31.1±2.1 ^{ab}
	+	+	7.15±0.6 ^{a}	9.41±0.8 ^{b}	16.5±1.7 ^{b}	55.6±1.8 ^{a}	32.0±2.8 ^{a}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

ویتامین C و pH میوه

نتایج نشان می‌دهد که در ارتباط با مقدار ویتامین C میوه‌های گوجه‌فرنگی با افزایش غلظت تنظیم‌کننده رشد این صفت کیفی نیز افزایش‌یافته است. مشاهدات نشان می‌دهد که در سه حالت (فقط پرایمینگ، فقط محلول‌پاشی و هردو حالت باهم)، در مقایسه با

شاهد بیشترین ویتامین C در تیمار ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید و در حالت پرایمینگ به‌همراه محلول‌پاشی بود (**جدول ۷**). نتایج نشان می‌دهد که در حالت پرایمینگ و محلول‌پاشی با هم و در غلظت‌های بالاتر pH میوه‌ها نیز کاهش یافت. اسیدی‌ترین مقدار pH میوه مربوط به ۰/۷۵ میلی‌مولار اپی‌براسینولید و قلیایی‌ترین حالت که برابر با pH بالاتر می‌باشد نیز در تیمار شاهد مشاهده شد و حالت پرایمینگ تنها در مقایسه با محلول‌پاشی اپی‌براسینولید اثر بیشتری داشته است (**جدول ۷**).

مواد جامد محلول کل (TSS) و اسید قابل تیتراسیون (TA)

بیشترین میزان مواد محلول جامد و اسید قابل تیتراسیون به پرایمینگ همراه با محلول‌پاشی با ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید اختصاص داشت و تفاوت معنی‌داری در حالت کاربرد جداگانه‌ی پرایمینگ و محلول‌پاشی در هر دو سطح اپی‌براسینولید، در این پارامتر مشاهده نشد (**جدول ۷**). در اینجا نیز مشابه با اکثر صفات بررسی شده، بیشترین میزان مربوط به ۰/۷۵ میکرومولار اپی‌براسینولید در حالت پرایمینگ همراه با محلول‌پاشی و کمترین مقدار آن نیز در تیمار شاهد مشاهده شد و در مقایسه حالت کاربرد جداگانه‌ی پرایمینگ و محلول‌پاشی اپی‌براسینولید، پرایمینگ مؤثرتر بود (**جدول ۷**).

جدول ۷- اثر اپی‌براسینولید بر صفات کیفی و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی در مزرعه

Table 7- The effect of Epibrassinolide on quality traits and physiological and biochemical characteristics of tomato in the field

EBL (µM)	Method of application		Vitamin C ($mg.100g^{-1}$ FW)	Acidity of fruit extract (%)	TSS (%)	TA (%)
	Priming	Foliar spraying				
Control	0	0	25.0±2.3 ^{f}	4.93±0.7 ^{a}	4.35±0.3 ^{e}	3.37±0.1 ^{e}
0.5	+	-	26.0±1.4 ^{d}	4.46±0.5 ^{d}	4.85±0.2 ^{d}	3.90±0.4 ^{c}
	-	+	25.1±1.6 ^{f}	4.59±0.4 ^{b}	4.85±0.2 ^{d}	3.51±0.4 ^{d}
	+	+	32.0±2.6 ^{b}	4.05±0.4 ^{f}	5.42±0.3 ^{b}	4.36±0.44 ^{b}
0.75	+	-	26.3±1.6 ^{c}	4.40±0.4 ^{e}	5.02±0.3 ^{c}	3.93±0.37 ^{c}
	-	+	25.8±1.3 ^{e}	4.52±0.4 ^{c}	5.00±0.2 ^{cd}	3.57±0.39 ^{d}
	+	+	32.7±2.8 ^{a}	3.89±0.3 ^{g}	5.62±0.2 ^{a}	4.49±0.49 ^{a}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

در پژوهش حاضر، براسینواستروئید منجر به بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی شد. با بررسی پژوهش‌های انجام‌شده به نظر می‌رسد اثر براسینواستروئید بر شکست خواب بذر گیاهان بسیار ناچیز است و اطلاعات نسبتاً محدودی در ارتباط با تحریک جوانه‌زنی دانه‌های بدون خواب وجود دارد. اگرچه هنوز مکانیسم عمل تنظیم‌کننده رشد اپی‌براسینولید به‌خوبی شناسایی نشده‌است، ولی احتمال می‌رود براسینواستروئیدها و جیبرلین‌ها به‌وسیله مسیرهای انتقال پیام نزدیک به هم و مکانیسم‌های مشابه، آغازکننده جوانه‌زنی در گیاهان باشد[27]. خواب بذر و جوانه‌زنی، دو فرآیند فیزیولوژیکی منحصر به فرد در گیاهان دانه‌دار می‌باشند که برای رشد گیاه و تولید محصول، حیاتی هستند. تنظیم‌کننده رشد گیاهی براسینوستروئید، بسیاری از جنبه‌های رشد و نمو گیاه از جمله جوانه‌زنی بذر را تنظیم می‌کند. مکانیسم‌های مولکولی زیربنایی کنترل جوانه‌زنی بذر از طریق براسینوستروئید عمدتاً ناشناخته هستند. در مطالعه‌ای، سنجش‌های فیزیولوژیکی نشان داد که مسدود کردن مسیر سیگنالینگ براسینوستروئید، از جمله ایجاد نقص در گیرنده حساس به براسینوستروئید یا بیان بیش از حد گلیکوژن سنتاز کیناز ۲ باعث تأخیر در جوانه‌زنی بذر و سرکوب رشد جنین می‌شود. نشان داده شده‌است BZR1 فاکتور رونویسی کلیدی است که با اتصال به پروموتر آلفا آمیلاز، که بر بیان و فعالیت α-آمیلاز و تخریب نشاسته در آندوسپرم تأثیر می‌گذارد، تنظیم براسینوستروئید دخیل در جوانه‌زنی بذر برنج را تسهیل می‌کند. همچنین این فاکتور رونویسی مرتبط با پروموتر آلفا آمیلاز در بافت‌های مرتبط با جنین نیز دخالت دارد [28].

همچنین تیمارهای براسینواستروئید باعث کاهش نشت یونی و زمان گلدهی و افزایش محتوی آب نسبی، ارتفاع، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی نشاء و بوته و تعداد شاخه جانبی گوجه‌فرنگی شد. کاهش میزان آب نسبی می‌تواند به‌دلیل ناکارآمدی سیستم ریشه‌ای در جبران آب از دست‌رفته گیاه باشد که خود ناشی از کاهش سطح جذب‌کننده آب است. گزارش شده است که براسینواستروئید از طریق افزایش طول و تعداد ریشه فرعی منجر به افزایش پتانسیل جذب آب توسط بوته می‌شود [29]. شاید افزایش نسبی محتوی آب برگ که باعث افزایش رشد گیاه می‌شود درنتیجه فعال شدن پمپ Proton-ATPase باشد که اسیدی شدن دیواره سلولی را تحریک می‌کند و باعث شل شدن آن‌ها و توسعه دیواره سلولی می‌شود. افزایش محتوی نسبی آب توسط

تنظیم‌کننده‌های رشد به‌ویژه براسینواستروئید احتمالاً به دلیل بسته شدن روزنه بوده تا آب کمتری از سلول هدر رود و مقاومت گیاه افزایش یابد. نتایج مشابهی در مورد افزایش محتوی نسبی آب روی گیاه گوجه‌فرنگی دیده‌شده است [19].

کاربرد ۲۴-اپی براسینواستروئید و ۲۸-هوموبراسینواستروئید روی قلمه‌های ساقه شمعدانی باعث افزایش ریشه‌زایی، رشد ریشه و رشد شاخه شمعدانی شد [29]. اثرات تحریکی براسینواستروئید بر رشد می‌تواند به دلایلی چون افزایش میزان تقسیم سلول در مناطق مریستمی، رشد طولی سلول و تعدیل خواص دیواره سلولی باشد که موجب افزایش رشد می‌گردد [30]. براسینواستروئیدها رشد طولی سلول را از طریق اثر بر اسکلت سلولی و ساختار دیواره سلولی افزایش می‌دهند. گزارش شده‌است که براسینواستروئیدها سنتز آنزیم‌های شل کننده دیواره (گزیلوگلوکان‌ترانسفراز / هیدرولاز) را از طریق افزایش بیان ژن گزیلوگلوکان اندو-ترانس‌گلیکوزیلاز افزایش می‌دهند. دلایل دیگر بهبود پارامترهای رشد تحت تأثیر تیمار براسینولید را می‌توان تأثیر آن بر حفاظت از دستگاه فتوسنتزی، راندمان فتوسنتز، فعالیت آنزیم روبیسکو، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه‌ای، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو، افزایش همبستگی غشاهای زیستی (کاهش نشت یونی)، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی گیاه را نام برد[31]. مشابه نتایج این تحقیق بهبود پارامترهای رشد در تیمار براسینولید در گیاهان مختلفی مانند یونجه[32] نعناع [33]، لوبیا [34]، برنج [28]، گوجه‌فرنگی [17] و توت فرنگی [35] گزارش شده است.

کاربرد تنظیم‌کننده رشد به دو روش پرایمینگ و محلول‌پاشی و ترکیب هر دو، مقدار کلروفیل و کاروتنوئید را در گیاه افزایش داد. کلروفیل جزء حیاتی است که در تولید انرژی فرایند فتوسنتز شرکت می‌کند. فتوسنتز، یک شاخص مهم متابولیسم داخلی گیاه است که به عنوان فرایند اصلی تولید انرژی جهت رشد و نمو محسوب می‌شود [18]. کاروتنوئیدها مسئول خاموش‌کردن اکسیژن یکتایی، جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و نهایت مهار القای تنش اکسیداتیو در تنش‌ها می‌باشند [36]. این ترکیبات انرژی اضافی را از فتوسیتم I و II به صورت گرما یا واکنش‌های شیمیایی بی ضرر دفع کرده و می‌توانند غشای کلروپلاستی را حفظ نمایند. همچنین کاروتنوئیدها از طریق مکانیسمی که چرخه گزانتوفیل نامیده می‌شود و در آن به‌طور پی در پی واکنش‌های اپوکسیداسیون و دی اپوکسیداسیون انجام می‌گیرد، باعث مصرف اکسیژن و حفاظت از کلروفیل در مقابل فتواکسیداسیون می شوند [36]. تأثیر و کارایی براسینواستروئیدها بستگی به نوع گونه، مرحله نموی گیاه، میزان استفاده شده و روش کاربرد آن‌ها دارد. دلایلی وجود دارد که ممکن است براسینواستروئیدها روی رونویسی یا ترجمه عوامل دخیل در سنتز رنگیزه‌ها نیز شرکت داشته باشند [37].

در این پژوهش تحت تأثیر تیمارهای براسینواستروئید، پارامترهای ویتامین C، مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون به‌طور معنی‌دار افزایش و pH میوه نیز کاهش یافت. همچنین براسینواستروئید به‌صورت کاربرد جداگانه و ترکیبی از هر دو روش پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی برگ منجر به افزایش تعداد میوه، متوسط وزن میوه و عملکرد بوته گوجه‌فرنگی شد. بررسی اثر براسینواستروئیدها بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گوجه‌فرنگی در شرایط کشت گلدانی نشان داد گیاهان تیمار شده با براسینواستروئیدها نسبت به گیاهان شاهد عملکرد بیشتری داشتند و بیشترین میزان تأثیر را بر تعداد میوه، وزن‌تر و قطر میوه داشت. تأثیر براسینواستروئید با افزایش میزان پروتئین، قند محلول کل و محتوای اسید کل در میوه‌ها همراه بود [38]. Ali و همکاران (۲۰۰۶) [39] به بررسی دو روش اسپری و فروبردن ریشه در براسینولید بر روی گوجه‌فرنگی پرداختند که نتایج نشان داد که فروبردن ریشه در براسینولید نسبت به اسپری براسینولید اثرات بهتری بر روی نشاء و عملکرد گوجه‌فرنگی دارد. شاید دلیل این نتیجه جذب مستقیم تنظیم‌کننده رشد و به حداقل رساندن افت در سطح جذب و انتقال تنظیم‌کننده رشد باشد و همچنین به حداقل رساندن تغییر در زمان انتقال تنظیم‌کننده رشد از برگ به ریشه باشد [39].

براسینواستروئیدها بر بسیاری از صفات زراعی مهم مرتبط با رشد، فتوسنتز، عملکرد و کیفیت محصول تأثیر می‌گذارند. نشان داده شده است که استفاده از آنالوگ‌های براسینواستروئید باعث رشد گیاهان، فتوسنتز، تجمع کاروتنوئید میوه و ویژگی‌های کیفی میوه می‌شود، در حالی که مهارکننده بیوسنتز براسینواستروئید با ترکیب براسینازولی اثر معکوس دارد. علاوه بر این، نشان داده شده است که براسینواستروئیدهای اگزوژن باعث افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی و زیستی مانند خشکی، دمای پایین و بالا، شوری بالا و حمله پاتوژن می‌شوند [17]. اسپری براسینواستروئید در هندوانه در مرحله ۲ و ۴ برگی با غلظت ۰/۱ پی‌پی‌ام منجر

به بهبود جوانه‌زنی، افزایش شاخه‌های پر گل و رشد گل‌آذین و سبب تشکیل سریع‌تر گل‌های ماده شد و به میزان قابل‌توجهی تعداد گل‌های نر در گره‌های اولی را کاهش و به‌وسیله تغییر در نسبت جنسیت و افزایش گل‌های ماده عملکرد را افزایش داد و تعداد میوه را به میزان ۶۰ درصد و عملکرد را ۶۶ درصد افزایش داد [40]. به‌نظر می‌رسد براسینواستروئید از طریق اثر بر رشد گیاه و سرعت بخشیدن در زمان ورود به فاز زایشی، سبب تسریع در گلدهی شده است.

در روش پرایمینگ بذر، بذرها با غلظت بهینه تنظیم‌کننده رشد گیاهی از قبل خیس می‌شوند که با افزایش جذب مواد مغذی از طریق افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و تولید ریشه، جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و عملکرد را افزایش می‌دهد. پرایمینگ بذر با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند مکانیسم‌های بیوشیمیایی و مولکولی را تعدیل کند و گیاهان را قادر به تحمل تنش‌های غیرزیستی کند و امروزه این تکنیک‌ها بسیار امیدوارکننده هستند [5]. پرایمینگ بذر فرآیندهای متابولیکی را که برای فرآیند جوانه‌زنی ضروری هستند فعال می‌کند و منجر به ثبات جوانه‌زنی می‌شود؛ بنابراین، به‌طور قابل‌توجهی تولید محصول را بهبود می‌بخشد [41]. پرایمینگ بذر باعث بهبود قابل‌توجهی در فعالیت آنزیم‌هایی می‌شود که مستقیماً در متابولیسم مواد غذایی ذخیره‌شده در دانه نقش دارند. علاوه بر این، گیاهچه‌هایی که از دانه‌های پرایم‌شده رشد می‌کنند، دفاع آنتی‌اکسیدانی بالاتری دارند که باعث مهار تنش و ایجاد پروتئین‌های اواخر جنین‌زایی می‌شود [41]. پرایمینگ بذر اولین مرحله حیاتی در تولید گیاه است، زیرا نه تنها می‌تواند تحمل به تنش گیاه را افزایش دهد، بلکه می‌تواند بنیه و جوانه‌زنی بذر را نیز بهبود بخشد [6]. در پنبه، پرایمینگ شیمیایی دانه‌ها تمایز جوانه‌های گل را تنظیم کرد [42]. در این پژوهش نیز اثر پرایمینگ بذر در مقایسه با محلول‌پاشی با اپی‌براسینولید بر خصوصیات کیفی و محصول گوجه‌فرنگی بیشتر بود. مشخص شده‌است که براسینواستروئید بر کل فیزیولوژی گیاه از جوانه‌زنی بذر تا برداشت یا بلوغ بذر تأثیر می‌گذارد [43]. گزارش شده است که براسینواستروئید تحت هر دو شرایط تنش و فقدان تنش منجر به افزایش عملکرد [39] *Lycopersicon esculentum* و [44] *Cicer*، شده‌است.

مطالعات زیادی در مورد گوجه‌فرنگی تحت تیمار براسینواستروئید در مراحل مختلف و از طریق حالت‌های مختلف قرار گرفتن در معرض تیمار براسینواستروئید مانند خیساندن بذر قبل از کاشت، غوطه‌وری ریشه و محلول‌پاشی وجود دارد. استفاده از براسینولید و ترکیبات مرتبط آن به‌عنوان تیمار بذر قبل از کاشت به مدت ۴ ساعت در محلول ppm ۱، عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی را شرایط گلخانه افزایش داد [43]. با کاربرد اپی‌براسینولید، تشکیل میوه گوجه‌فرنگی ۴۳-۱۱۱ درصد، در حالی که با کاربرد ۲۸-هموبراسینولید ۱۱۸-۱۲۹ درصد افزایش یافت [43]. در مطالعات دیگر، تیمار گیاهان گوجه‌فرنگی با براسینواستروئید، در مرحله گلدهی منجر به افزایش تعداد و وزن میوه گوجه‌فرنگی شد [43] بیشترین افزایش محصول در شرایط مزرعه مربوط به گیاهان گوجه‌فرنگی و خیار بود که دو بار با اپی‌براسینولید، ابتدا خیساندن بذر و سپس محلول‌پاشی در مرحله گلدهی تیمار شدند [43]. تیمار با ۵ میکرومولار EBL، منجر به افزایش ۴۲ درصدی عملکرد نیام در گیاهان لوبیا تحت تنش شوری شد و محلول‌پاشی با محلول ۰/۱۲۵ میلی‌گرم در لیتر براسینواستروئید منجر به افزایش ۱۸ تا ۳۵ درصدی عملکرد دانه در نخودفرنگی شد [45].

بررسی مکانیسم مولکولی براسینواستروئید نشان داد پاسخ‌های مرتبط با کاربرد براسینواستروئید از طریق گیرنده‌ی حساس به براسینواستروئید ۱ (BRI1) است که براسینواستروئید را درک و مسیر سیگنالینگ آن را آغاز می‌کند. ارزش کشاورزی بالقوه‌ی قابل‌توجهی در تنظیم سیگنالینگ براسینواستروئید در محصولات زراعی وجود دارد. در پژوهشی که اثرات بیان بیش از حد ژن BRI1 گوجه‌فرنگی، SlBRI1 بر روی صفات زراعی مانند جوانه‌زنی بذر، رشد رویشی، تولید اتیلن میوه، صفات تجمع کاروتنوئیدها، عملکرد و صفات کیفی انجام شد، بیان بیش از حد SlBRI1 شدت سیگنالینگ براسینواستروئید درون‌زا را افزایش داد در نتیجه سرعت جوانه‌زنی بذر، تعداد ریشه جانبی، طول هیپوکوتیل، تثبیت CO_2، ارتفاع گیاه و اندازه گل افزایش می‌یابد. گیاهان ترا ریخته نیز افزایش عملکرد میوه و تعداد میوه در هر گیاه را نشان دادند با وجود اینکه میانگین وزن هر میوه در مقایسه با نوع وحشی کاهش یافت. بیان بیش از حد SlBRI1 همچنین باعث افزایش رسیدن میوه و تولید اتیلن و باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها، اسید آسکوربیک، مواد جامد محلول و قندهای محلول در طول رسیدن میوه شد. افزایش شدت سیگنالینگ براسینواستروئید باواسطه‌ی بیان بیش از حد گیرنده براسینواستروئید SlBRI1 با تجمع کاروتنوئید و کیفیت غذایی میوه همبستگی مثبت داشت و پتانسیل

بهبود صفات زراعی اصلی متعددی را در گوجه‌فرنگی به همراه داشت [17] که با اثرات مثبت براسینواستروئید بر صفات کیفی و عملکرد گوجه‌فرنگی در پژوهش حاضر نیز همخوانی داشت.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از اپی‌براسینولید به صورت ترکیب پرایمینگ و محلول‌پاشی بیشترین تأثیر را بر جوانه‌زنی بذر، رشد نشاء، عملکرد میوه، و صفات کیفی عصاره میوه شامل ویتامین C، TSS، pH و TA داشت و از بین غلظت‌های به کار رفته اپی‌براسینولید، غلظت ۰/۷۵ میکرومولار بیشترین تأثیر را داشت. بنابراین استفاده از این تنظیم‌کننده رشد و غلظت ذکر شده برای افزایش کمیت و کیفیت میوه در گوجه‌فرنگی به کشاورزان توصیه می‌گردد.

اعلام تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

سپاسگزاری

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

منابع

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

[2] Salim, M.M.R., Rashid, M.H., Hossain, M.M. and Zakaria, M. (2020). Morphological characterization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19*, 233-240.

[3] Jahanbakhshi, A. and Kheiralipour, K. (2019). Influence of vermicompost and sheep manure on mechanical properties of tomato fruit. *Food Science & Nutrition, 7* (4), 1172-1178.

[4] Dorais, M., Ehret, D.L. and Papadopoulos, A.P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews, 7*, 231-250.

[5] Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y., and Hasanuzzaman, M. (2020). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants, 10*, 37.

[6] Zhao, T., Deng, X., Xiao, Q., Han, Y., Zhu, S. and 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.

[7] Pavia, I., Roque, J., Rocha, L., Ferreira, H., Castro, C., Carvalho, A., Silva, E., Brito, C., Goncalves, A. and Lima-Brito, J. (2019). Zinc priming and foliar application enhances photoprotection mechanisms in drought-stressed wheat plants during anthesis. *Plant Physiology and Biochemistry, 140*, 27-42.

[8] Cao, Q., Li, G., Cui, Z., Yang, F., Jiang, X., Diallo, L. and Kong, F. (2019). Seed priming with melatonin improves the seed germination of waxy maize under chilling stress via promoting the antioxidant system and starch metabolism. *Scientific reports, 9* (1), 1-12.

[9] Wiszniewska, A. (2021). Priming strategies for benefiting plant performance under toxic trace metal exposure. *Plants, 10*, 623.

[10] Ahammed, G.J., Li, X., Liu, A. and Chen, S. (2020). Brassinosteroids in plant tolerance to abiotic stress. *Journal of plant growth regulation, 39*, 1451-1464.

[11] Zhang, S., Hu, J., Zhang, Y., Xie, X. and Knapp, A. (2007). Seed priming with Brassinolide improves lucerne (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth in relation to physiological changes under salinity stress. *Australian Journal of Agricultural Research, 58*, 811-815.

[12] Huang, L., Zhang, L., Zeng, R., Wang, X., Zhang, H., Wang, L., Liu, S., Wang, X. and Chen, T. (2020). Brassinosteroid priming improves peanut drought tolerance via eliminating inhibition on genes in photosynthesis and hormone signaling. *Genes, 11* (8), 919.

[13] Nolan, T.M., Vukasinovic, N., Liu, D., Russinova, E. and Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The plant cell, 32*, 295-318.

[14] Sasse, J.M. (2003). Physiological actions of Brassinosteroids: an update. *Journal of plant Growth Regulation, 22*, 276-288.

[15] Mussig, C. (2005). Brassinosteroid-promoted growth. *Plant Biology, 7*, 110-117.

[16] Grove, M.D., Spencer, G.F., Rohwedder, W.K., Mandava, N., Worley, J.F., Warthen Jr, J.D., Steffens, G.L., Flippen-Anderson, J.L. and Cook Jr, J.C. (1979). Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from Brassica napus pollen. *Nature, 281* (5728), 216-217.

[17] Nie, S., Huang, S., Wang, S., Cheng, D., Liu, J., Lv, S., Li, Q. and Wang, X. (2017). Enhancing Brassinosteroid signaling via overexpression of tomato (*Solanum lycopersicum*) SlBrI1 improves major agronomic traits. *Frontiers in Plant Science, 8*, 1386.

[18] Ahammed, G.J., Zhang, S., Shi, K., Zhou, Y.H. and Yu, J.Q. (2012). Brassinosteroid improves seed germination and early development of tomato seedling under phenanthrene stress. *Plant growth regulation, 68*, 87-96.

[19] Hayat, S., Ali, B., Hasan, S.A. and Ahmad, A. (2007). Brassinosteroid enhanced the level of antioxidants under cadmium stress in Brassica juncea. *Environmental and experimental botany, 60* (1), 33-41.

[20] Mollaei, S., Farahmand, H. and Tavassolian, I. (2018). The effects of 24-epiBrassinolide corm priming and foliar spray on morphological, biochemical, and postharvest traits of sword lily. *Horticulture, Environment, and Biotechnology, 59*, 325-333.

[21] Maguire, J.D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*, 176-177.

[22] Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A. and Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant growth regulation, 53* (3), 185-194.

[23] Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomemBranes. *In Methods in Enzymology, 148*, 350-382.

[24] Fu, X.P., Li, J.P., Zhou, Y., Ying, Y.B., Xie, L.J., Niu, X.Y., Yan, Z.K. and Yu, H.Y. (2009). Determination of soluble solid content and acidity of loquats based on FT-NIR spectroscopy. *Journal of Zhejiang University Science, 10* (2), 120-125.

[25] Javanmardi, J. and Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest biology and technology, 41* (2), 151-155.

[26] Rasiouny, F.M. (1996). Blueberry fruit quality and storability influenced by postharvest application of polyamines and heat treatments. In Proceeding Florida State Holticultural Society. *Florida State Holticultural Society, 109*, 269-271.

[27] Rao, S.S.R., Vardhini, B.V., Sujatha, E. and Anuradha, S. (2002). Brassinosteroids–a new class of phytohormones. *Current Science*, 1239-1245.

[28] Xiong, M., Yu, J., Wang, J., Gao, Q., Huang, L., Chen, C., Zhang, C., Fan, X., Zhao, D. and Liu, Q.Q. (2022). Brassinosteroids regulate rice seed germination through the BZR1-RAmy3D transcriptional module. *Plant Physiology, 189*, 402-418.

[29] Swamy, K. and Rao, S.S.R. (2006). Influence of Brassinosteroids on rooting and growth of geranium (*Pelargonium* sp.) stem cuttings. *Asian Journal of Plant Science, 5*, 619-622.

[30] Hayat, S., Alyemeni, M.N. and Hasan, S.A. (2012). Foliar spray of Brassinosteroid enhances yield and quality of *Solanum lycopersicum* under cadmium stress. *Saudi Journal of Biological Sciences, 19* (3), 325-335.

[31] Clouse, S.D. (2011). Brassinosteroid signal transduction: from receptor kinase activation to transcriptional networks regulating plant development. *The plant cell, 23* (4), 1219-1230.

[32] Fariduddin, Q., Yusuf, M., Ahmad, I. and Ahmad, A. (2014). Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. *Biologia plantarum, 58* (1), 9-17.

[33] Lopez-Gomez, M., Hidalgo-Castellanos, J., Lluch, C. and Herrera-Cervera, J.A. (2016). 24-Epibrassinolide ameliorates salt stress effects in the symbiosis *Medicago truncatula-Sinorhizobium meliloti* and regulates the nodulation in cross-talk with polyamines. *Plant Physiology and Biochemistry, 108*, 212-221.

[34] Coban, O. and Baydar, N.G. (2016). Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Industrial Crops and Products, 86*, 251-258.

[35] Rady, M.M. (2011). Effect of 24-epiBrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae, 129*, 232-237.

[36] Karlidag, H., Yildirim, E. and Turan, M. (2011). Role of 24-Epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, memBrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria ananassa*). *Scientia Horticulturae, 130* (1), 133-140.

[37] Koyro, H.W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte Plantago coronopus (L.). *Environmental and experimental botany, 56* (2), 136-146.

[38] Fariduddin, Q., Mir, B.A., Yusuf, M. and Ahmad, A. (2013). Comparative roles of Brassinosteroids and polyamines in salt stress tolerance. *Acta physiologiae plantarum, 35* (7), 2037-2053.

[39] Fist-Dst, P. and Town, S. (2011). Influence of 28-homoBrassinolide on productivity and biochemical parameters of tomato. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences, 26* (2), 305-308.

[40] Ali, B., Hayat, S., Hasan, S.A. and Ahmad, A. (2006). Effect of root applied 28-homoBrassinolide on the performance of *Lycopersicon esculentum*. *Scientia Horticulturae, 110* (3), 267-273.

[41] Susila, T., Reddy, S.A., Rajkumar, M., Padmaja, G. and Rao, P. (2012). Effects of sowing date and spraying of Brassinosteroid on yield and fruit quality characters of watermelon. *World Journal of Agricultural Sciences, 8*, 223-228.

[42] Qamar, R., Khan, S., Safdar, M.E., Rehman, A., Javeed, H.M.R., Nadeem, M.A., Al-Yahyai, R. and Alkahtani, J. (2022). Seed priming with growth regulators modulates production, physiology and antioxidant defense of Indian squash (*Praecitrullus fistulosus*) under semi-arid conditions. *PLoS One, 17*, e0265694.

[43] Fang, S., Gao, K., Hu, W., Snider, J.L., Wang, S., Chen, B. and Zhou, Z. (2018). Chemical priming of seed alters cotton floral bud differentiation by inducing changes in hormones, metabolites and gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry, 130*, 633-640.

[44] Ali, B. (2017). Practical applications of Brassinosteroids in horticulture- some field perspectives. *Scientia Horticulturae, 225*, 15-21.

[45] Ali, B., Hayat, S. and Ahmad, A. (2007). 28-HomoBrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and experimental botany, 59* (2), 217-223.

[46] Quamruzzaman, M., Manik, S.N., Shabala, S. and Zhou, M. (2021). Improving performance of salt-grown crops by exogenous application of plant growth regulators. *Biomolecules, 11*, 788.