2025, 14 (1), 1-16 https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364475.1510

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology

ISSN: 2588-4638

Research Article

The effect of priming with gibberellic acid on improving the germination of seeds obtained from self-pollinated of different varieties of *Petunia hybrid*

Leyla Cheheltanan[1], Ali Tehranifar[2*], Mahmoud Shoor[3], Hossein Nemati[4], Saeed Khosravi[1]

1. PhD Student, Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Associate Professor, Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Article Information

Received: 24 Dec. 2023
Revised: 14 Feb. 2024
Accepted: 02 Mar. 2024

Keywords:
α-amylase,
β-amylase,
Germination percentage,
Soluble sugars content

Corresponding Author:
tehranifar@um.ac.ir

Abstract

Self-pollination induces a phenomenon known as inbreeding depression in heterozygous plants, which in turn leads to a reduction in seed germination and seedling growth. On the other hand, seed priming with plant hormones such as gibberellic acid is a technical approach that potentially results in the improves of rapid and continuous seed germination and subsequent plant growth. Therefore, this research aimed to investigate the effect of different concentrations of gibberellic acid on the improvement of seed germination resulting from self-pollination in various varieties of *Petunia hybrida* in a factorial experiment with three replications as a completely randomized design. The treatments consisted of four levels of gibberellic acid (0, 50, 100, and 150 mg/L) and seeds obtained from self-pollination of Iranian Petunia, Tango Blue, Tritunia Pink Morn, and Tritunia White. The results indicated that seed priming with gibberellic acid, especially at a concentration of 100 mg/L, led to a significant increase in the activity of α-amylase and β-amylase by 6.56% and 1.57%, respectively. This increase resulted in 8.54% rise in soluble sugars content, providing energy that significantly enhanced germination percentage, germination speed, average time required for germination, seed vigor index, germination energy, and the fresh and dry weight of plumule and radicle. Moreover, among different varieties, seeds obtained from self-pollination of Iranian petunia demonstrated a higher germination percentage and germination speed compared to seeds from other varieties, indicating a superior capability in maintaining vigor potential, germination percentage, and germination speed.

How to cite this paper: Cheheltanan, L., Tehranifar, A., Shoor, M., Nemati, H., & Khosravi, S. (2025). The effect of priming with gibberellic acid on improving the germination of seeds obtained from self-pollinated of different varieties of *Petunia hybrid*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (1), 1-16. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364475.1510

© 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

Petunia (*Petunia hybrida*) from the family Solanaceae is a cross-pollinated plant primarily propagated through seeds. Due to the high cost of importing seeds, efforts have been made to produce self-pollinated seeds. However, seeds resulting from self-pollination exhibit lower germination rates and seedling establishment compared to hybrid seeds. To enhance germination and seedling establishment, priming methods such as pre-treatment with gibberellic acid are employed, which facilitate germination. Therefore, this study examines the effect of priming on the germination of self-pollinated seeds of various Petunia cultivars.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial design within a completely randomized design framework. Treatments included four levels of gibberellic acid (0, 50, 100, and 150 mg/L) and self-pollinated seeds from various Petunia cultivars (Iranian petunia, Tango Blue, Tritunia Pink Morn, and Tritunia White). The seeds were placed in flasks containing gibberellic acid, and relevant parameters were measured after the germination period.

Results and Discussion

Among the different cultivars, the Iranian petunia demonstrated the highest germination percentage and speed, as well as the highest levels of α-amylase, β-amylase, and soluble sugar content. The application of 150 mg/L gibberellic acid to Iranian petunia seeds resulted in a germination percentage of 100%, a plumule fresh weight of 1.3 g, a soluble sugar content of 2.61 mg g^{-1} FW, and α-amylase and β-amylase activities of 0.51 and 0.37 µmol ml^{-1} min^{-1}, respectively. Additionally, the greatest reduction in average time required for germination was observed in the Tango Blue cultivar treated with 150 mg/L gibberellic acid, showing a 64.6% decrease compared to the corresponding control treatment.

Seed priming enhances the rate of water absorption, accelerates metabolism, and promotes faster germination, leading to an increased germination speed. Additionally, stimulation of the embryo by gibberellic acid triggers the release of gibberellin hormones within the seed embryo, which in turn enhances the activity of the enzyme α-amylase. This enzyme facilitates the breakdown of starch into simpler sugars, providing energy and nutrients for the growing embryo and seedling. Consequently, seed vigor improves, and successful germination occurs.

Conclusion

Self-pollination-induced inbreeding depression leads to reduced germination and seedling growth. In this experiment, the use of gibberellic acid, particularly at concentrations of 100 and 150 mg/L, had a significant impact on improving germination traits of seeds obtained from self-pollination of various Petunia cultivars. Additionally, Iranian petunia performed better in all the traits examined. Overall, the application of gibberellic acid, by increasing the activity of α-amylase and β-amylase enzymes, led to an increase in soluble sugar content, thus providing the energy needed to improve germination in seeds obtained from self-pollination of different Petunia cultivars.

دوره ۱۴، شماره ۱، صفحات ۱-۱۶
https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364475.1510

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

اثر پرایمینگ با اسید جیبرلیک بر بهبود جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی (*Petunia hybrida*)

لیلا چهل‌تنان[۱]، علی تهرانی‌فر[۲*]، محمود شور[۳]، حسین نعمتی[۴]، سعید خسروی[۱]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. استاد، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳. دانشیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴. استادیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

خودگشنی سبب بروز پدیده‌ای به نام پسروی خویش‌آمیزی در گیاهان دگرگشن شده که همین امر سبب کاهش قدرت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه می‌شود، از طرفی پرایمینگ بذر با هورمون‌های گیاهی نظیر اسید جیبرلیک تکنیکی است که به طور بالقوه سبب بهبود جوانه‌زنی و رشد بعدی گیاه می‌شود. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک بر بهبود جوانه‌زنی بذرهایی، که از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی بدست آمده‌اند، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار بود. تیمارها شامل چهار سطح اسید جیبرلیک (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و بذرهای حاصل از خودگشنی اطلسی ایرانی، Tango Blue، Tritunia Pink Morn و Tritunia White بود. نتایج نشان داد پرایمینگ بذرها با اسید جیبرلیک به‌خصوص در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش ۵۶/۶ و ۵۷/۱ درصدی فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز سبب افزایش ۵۴/۸ درصدی محتوای قندهای محلول شد و با تامین انرژی سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه، انرژی جوانه‌زنی و وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه شد. همچنین در بین ارقام مختلف، بذرهای حاصل از خودگشنی اطلسی ایرانی با بیشترین درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی توانایی بیشتری نسبت به بذرهای سایر ارقام در حفظ قوه نامیه، درصد و سرعت جوانه‌زنی داشت.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

واژه‌های کلیدی:
آلفا آمیلاز،
بتاآمیلاز،
درصد جوانه‌زنی،
محتوای قندهای محلول

نویسنده مسئول:
tehranifar@um.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:
Cheheltanan, L., Tehranifar, A., Shoor, M., Nemati, H., & Khosravi, S. (2025). The effect of priming with gibberellic acid on improving the germination of seeds obtained from self-pollinated of different varieties of *Petunia hybrid*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (1), 1-16. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.364475.1510

مقدمه

گل اطلسی (*Petunia hybrida*)، از تیره Solanaceae گیاهی دگرگشن و دارای یک میوه کپسول مانند است که در گونه‌های مختلف دارای تعداد بذرهای مختلفی بین ۶۰ تا ۲۰۰ عدد می‌باشد (Wahocho et al., 2023). این گیاه مناسب کشت در فصول گرم سال است و به‌طور وسیعی در سطح فضای سبز کشت می‌شود و از مهم‌ترین گیاهان فصلی به‌شمار می‌آید (Ganga et al., 2011).

در اصلاح ژنتیکی، از خودگشنی برای ایجاد یکنواختی استفاده می‌شود با این حال، خودگشنی میانگین هموزیگوسیتی گیاهان را افزایش داده و منجر به اثری به نام پسروی خویش‌آمیزی در گونه‌های دگرگشن می‌شود. منظور از پس‌روی کاهش در بیان صفات کمی است که به دلیل افزایش هموزیگوسیتی ناشی از خودگشنی می‌باشد (Godoy et al., 2006). علت پسروی خویش‌آمیزی وجود آلل‌های مضر و کشنده در ژنوتیپ‌های هموزیگوت می‌باشد، به عبارتی دیگر با افزایش هموزیگوسیتی در جمعیت‌های همگن، احتمال بیشتری وجود دارد که صفات مغلوب، که بسیاری از آنها مضر هستند، شروع به تظاهر کنند که منجر به از دست دادن قدرت گیاهچه می‌شود (Godoy et al., 2006). خویش‌آمیزی اغلب منجر به فرزندانی ضعیف‌تر از والدین می‌شود و شانس بقای گیاه را کاهش می‌دهد. پسروی خویش‌آمیزی اغلب با کاهش جوانه‌زنی، رشد کندتر و کاهش ارتفاع یا باروری در مقایسه با گیاهان غیر خویش‌آمیز همراه می‌باشد (Achrem et al., 2023). به عنوان مثال پس‌روی خویش‌آمیزی تاثیر منفی بر جوانه‌زنی بذر توت‌فرنگی داشت به‌نحوی که درصد جوانه‌زنی به کمتر از ۱۶/۸ درصد رسید (Kaczmarska et al., 2014). Saeidi et al. (2007a) آثار خویش‌آمیزی بر روی صفات مختلف گل اطلسی در نتاج خودگشن و دگرگشن را در مقایسه با ارقام هیبرید مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها پسروی ناشی از خویش‌آمیزی زیادی را برای درصد جوانه‌زنی و سبز شدن در نتاج خودگشن مشاهده کردند. بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف درختچه توری (*Lagerstroemia indica*) شامل Catawba، Whit IV، Tonto و Tuscarora نسبت به بذرهای حاصل از دگرگشنی این ارقام جوانه‌زنی کمتری داشتند به گونه‌ای که درصد جوانه‌زنی بذر در اثر خودگشنی بین ۴/۲ تا ۷/۸ درصد و در گرده‌افشانی‌های متقابل بین ۱۱ درصد تا ۴۴/۴ درصد متغیر بود (Pounders et al., 2006).

راه‌کارهای متعددی برای کاهش زمان سبز شدن، هماهنگ کردن جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه معرفی شده است که پرایمینگ یک تکنیک کم خطر و کم هزینه برای افزایش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه است (Farooq et al., 2010). به طوری‌که سبب بهبود سرعت و یکنواختی ظهور بذر، افزایش بنیه نهال و عملکرد در بسیاری از محصولات می‌شود (Bakht et al., 2011). پرایمینگ بذر، مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر را کاهش داده که دلیل این امر سرعت بیشتر جذب آب توسط بذرهای پرایمینگ شده می‌باشد که نتیجه چنین رخدادی افزایش سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه می‌باشد (Mebratu, 2022). تکنیک‌های مختلف پرایمینگ نتایج مطلوبی را در بذر گل‌های زینتی و همچنین درختان در پی داشته است (Sisodia et al., 2018). از رایج‌ترین روش‌های پرایمینگ، پیش‌تیمار با هورمون‌های گیاهی است. خیساندن بذرها با غلظت مناسب هورمون‌های رشد سبب افزایش جوانه‌زنی و همچنین افزایش کارایی، رشد و عملکرد می‌شود. هورمون‌های گیاهی که به طور معمول برای پرایمینگ استفاده می‌شوند شامل اکسین، اسید جیبرلیک، سیتوکنین، اسید آبسیزیک، پلی‌آمین‌ها و اسید سالیسیلیک می‌باشند (Ge et al., 2023; Sukifto et al., 2020). اسید جیبرلیک‌ها شامل گروهی از هورمون‌های گیاهی می‌باشند که بیشترین دخالت مستقیم را در کنترل و تسهیل جوانه‌زنی بذر دارند. افزایش سنتز و آزادسازی اسید جیبرلیک در بذر موجب تجزیه نشاسته و تبدیل آن به مواد قابل استفاده برای جنین و شروع جوانه‌زنی می‌شود (Sukifto et al., 2020). پرایمینگ بذر سبب به حداقل رساندن دوره سبز شدن و محافظت بذر از تنش‌های محیطی در مرحله بحرانی استقرار گیاهچه شده که منجر به رویش یکنواخت و بهبود عملکرد می‌شود (Sisodia et al., 2018). براساس پژوهش‌های انجام شده جوانه‌زنی بذر به اسید جیبرلیک بستگی دارد به عنوان مثال در آرابیدوپسیس و گوجه فرنگی، جهش یافته‌هایی که دارای نقص در ژن کد کننده آنزیم‌های بیوسنتزی اسید جیبرلیک هستند قادر به جوانه‌زدن نیستند (Mitchum et al., 2006). تیمار بذرها با اسید جیبرلیک محتوای

اسید جیبرلیک درون‌زا را از طریق نفوذ افزایش داده و موجب تغییر نسبت اسید جیبرلیک به آبسیزیک اسید می‌شود، که به رشد جنین کمک می‌کند، همچنین محدودیت‌های مکانیکی پوشش بذر را شکسته و بیرون‌زدگی ریشه را تسهیل می‌نماید (Ge et al., 2023). در زمان جوانه‌زنی بذر، فعالیت برخی از آنزیم‌ها مانند آلفا آمیلاز افزایش می‌یابد و نشاسته را تجزیه و به قند تبدیل می‌کند این امر سبب کاهش پتانسیل آب سلولی و در نتیجه جذب آب شده که به دنبال آن رشد سلولی تحریک می‌شود، همچنین از طریق تولید این قندها انرژی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و رشد ریشه چه و ساقه چه تامین می‌شود (Farhoudi & Lee 2014). طبق گزارشات Ge et al. (2023) محتوای اسید جیبرلیک (GA3) در بذرهای جینسنگ چینی (*Panax notoginseng*) تیمار شده با اسید جیبرلیک (GA3) بالاترین و محتوای آبسیزیک اسید کمترین مقدار بود. قدرت جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را می‌توان با کاربرد اسید جیبرلیک افزایش داد، به عنوان مثال نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد اسید جیبرلیک (GA3) یک استراتژی اقتصادی برای افزایش جوانه‌زنی و رشد بذرهای سیکلامن می‌باشد (Cornea-Cipcigan et al., 2020). پرایمینگ بذرهای اطلسی با کلرید کلسیم ضمن افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین، اسیدهای آمینه و محتوای قندهای محلول سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذرها شد (Kurup et al., 2013). در گیاه *Annona squamosa* L. استفاده از اسید جیبرلیک (GA3) با انتقال ذخایر انرژی موجود در آندوسپرم سبب بهبود سرعت جوانه‌زنی شد (Vasconcelos et al., 2015). همچنین پرایمینگ بذرهای نخود باغلظت ۱۰ میکرومولار اسید جیبرلیک (GA3) سبب افزایش درصد جوانه‌زنی بذرها شد (Aziz & ekşen, 2020).

گل اطلسی دار ای رنگ‌های متنوع بوده و از محبوب‌ترین گل‌های باغچه‌ای و فضای سبز به شمار می‌رود که در اکثر نقاط ایران کشت می‌شود و روش اصلی ازدیاد آن از طریق بذر می‌باشد (Ghahsareh & Kafi, 2008) که هر ساله هزینه زیادی صرف تهیه بذر آن و در نتیجه خروج ارز می‌شود، لذا تلاش‌هایی زیادی به منظور امکان تولید بذر به صورت خودگرده افشانی و یا دگرگرده‌افشانی در گل اطلسی و همچنین سایر گیاهان فصلی نظیر جعفری و ابری صورت گرفته که نتایج حاصله حاکی از کاهش درصد جوانه‌زنی و سبز شدن بذرهای حاصل از خودگشنی و دگرگشنی این گیاهان می‌باشد (Saeidi et al., 2007a; Saeidi et al., 2007b). لذا یافتن راهکاری مناسب جهت مقابله با اثرات نامطلوب خودگشنی بر جوانه‌زنی بذرها می‌تواند کمک شایانی به حل این معضل و امکان بهره‌وری از بذرهای تولیدی این گیاهان نماید بنابراین این پژوهش به منظور بررسی تاثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پرایمینگ هورمون اسید جیبرلیک بر صفات جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی گل اطلسی آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل چهار سطح هورمون اسید جیبرلیک (GA3) محصول شرکت مرک و بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی بود. ابتدا بذرهای مختلف گل اطلسی شامل اطلسی ایرانی (Iranian petunia) و سه رقم اطلسی خارجی به نام‌های Tango Blue، Tritunia Pink Morn و Tritunia White از شرکت سبز رویش تهیه و برای یک نسل خودگشن شدند. به منظور انجام خودگشنی بذرهای تهیه شده در گلدان کشت گردید و پس از گلدهی و درست یک روز قبل از شکوفایی با استفاده از پنس گرده برداشته شد و بر روی کلاله همان گل قرار گرفت و با پاکت کاغذی پوشانده شدند. بعد از حدود ۴۵ روز بذرها آماده برداشت شدند که این بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف، مواد ژنتیکی مورد استفاده در این پژوهش را تشکیل دادند. بذرها در داخل ارلن‌های حاوی هورمون اسید جیبرلیک در چهار سطح ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد و به مدت ۱۲ ساعت درون انکوباتور قرار داده شدند (Sukifto et al., 2020). پس از سپری شدن مدت زمان در نظر گرفته شده بذرها از ظروف خارج شده و با آب مقطر شست‌شو داده شدند و به پتری دیش‌هایی حاوی کاغذ صافی مرطوب منتقل و در داخل انکوباتور با دوره نوری ۱۲ ساعت، رطوبت ۷۰ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل

شـــدند (Šćepanović et al., 2022). در هر تکرار ۵۰ عدد بذر کشت شد و شمارش بذرها از روز دوم به‌صورت روزانه آغاز شد. معیـار جوانـه‌زنی خروج ریشـــه‌چـه بـه انـدازه ۲ میلی‌متر بود (Sukifto et al., 2020). پس از اتمام مدت جوانه‌زنی پارامترهای مورد بررسی شامل وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه به‌وسیله ترازو با دقت یک ۱۰ هزارم گرم و صـفات شـامل درصـد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه (طولی) و انرژی جوانه‌زنی از طریق روابط ۱ تا ۵ اندازه‌گیری شد.

رابطه (۱) $GP= (n/N)\times100$

در این رابطه GP درصـد جوانه‌زنی و n تعداد بذر جوانه‌زده و N تعداد کل بذرها می‌باشد (Kader, 2005).

رابطه (۲) $GR= \Sigma(n_i/d_i)$

در این رابطه GR ســرعت جوانه‌زنی، n_i تعداد بذرهای جوانه زده در روز iام و d_i تعداد روزها از شروع جوانه‌زنی، مرتبط با in بر حسب روز می‌باشد (Kalsa & Abebie, 2012).

رابطه (۳) $MGT= \Sigma\, d_i n_i / N$

دراین رابطه MGT متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی می‌باشد (Kader, 2005).

رابطه (۴) $LSVI = GP\times SL\ (cm)$

در این رابطه LSVI شـاخص بنیه گیاهچه، SL طول گیاهچه (طول ریشه‌چه+ساقه‌چه) می‌باشد (Farooq et al., 2010).

رابطه (۵) $EG = nd/N$

در این رابطـه EG انرژی جوانـه‌زنی و nd تعـداد بـذرهـای جوانه‌زده در اوج جوانه‌زنی می‌باشد (Hossain et al., 2005).

فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز

بدین منظور ۰/۲ گرم از بافت تر گیاهچه در بافر سدیم فسفات ۰/۰۲ مولار، اسـیدیته ۶/۹ برای تعیین آلفا آمیلاز و بافر سـدیم اسـتات ۰/۰۱۶ مولار، اسـیدیته ۴/۸ برای بتا آمیلاز سـاییده و به مدت ۱۵ دقیقه با سـرعت ۱۲۰۰۰ دور سـانتریفیوژ شـد. در لوله آزمایش، ۰/۵ میلی‌لیتر نشاسته با ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره قرار داده شد و پس از ۳۰ دقیقه انکوباسـیون در دمای ۳۷ درجه سـانتی‌گراد، یک میلی‌لیتر اسـید کلریدریک ۰/۱ نرمال برای توقف واکنش اضافه شد. سپس یک میلی‌لیتر معرف ید اضافه شد و در نهایت حجم نمونه به ۱۰ میلی‌لیتر رسـانده شـد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۰ نـانومتر توسـط اسـپکتروفتومتر قرائـت شـد (Worthington, 1993).

قندهای محلول کل

جهـت تعیین قنـدهـای محلول کـل طبق روش فنـل اسـید سولفوریک (AOAC, 1995)، ۰/۱ گرم نمونه تر گیاهچه با اتانول ۸۰ درصـد به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسـانده و در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد، سپس ۵ میلی‌لیتر محلول سولفات روی ۵ درصد و ۷/۵ میلی‌لیتر هیدروکسید باریوم ۰/۳ نرمال به آن اضافه گردید. نمونه‌ها با ۱ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسـید سـولفوریک ۹۸ درصـد مخلوط شـد و میزان جذب توسـط دسـتگاه اسـپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردید.

در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها به وسیله نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات پرایمینگ، رقم و اثرات متقابل آن‌ها بر درصـد جوانه‌زنی در سـطح احتمال یک درصـد معنی‌دار بود (جدول ۱). همســو با نتایج فوق طبق پژوهش‌های Bhargava *et al.* (2015) درصـد جوانه‌زنی بذرهای گل میمون نیز به طور معنی‌داری تحت تاثیر ارقام مختلف، پرایمینگ و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. نتایج حاصـله بیانگر تاثیر معنی‌دار اسـید جیبرلیک بر افزایش درصد جوانه‌زنی در ارقام مختلف به‌خصوص در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود که بیانگر نقش مثبت این هورمون بر بهبود جوانه‌زنی بذرهای خودگشن می‌باشد، به‌گونه‌ای که کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسـید جیبرلیک سـبب شـد درصـد جوانه‌زنی در بذرهای اطلسـی ایرانی به ۱۰۰ درصـد برسـد که نسبت به تیمار شاهد مربوطه افزایش تقریبا ۸۷ درصدی

را نشان داد، حتی در رقم Tango Blue که کمترین میزان درصد جوانه‌زنی نهایی را به خود اختصاص داد کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک سبب افزایش ۲/۶ برابری درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد مربوطه شد (جدول ۲). وجود اختلاف در بین ارقام مختلف در درصد جوانه‌زنی توسط (Wahocho et al. 2023) در گل اطلسی نیز گزارش شده است به‌گونه‌ای که درصد جوانه‌زنی بذر رقم Hala lops بیشتر از رقم Prism blue بود که نشان‌دهنده توانایی متفاوت ارقام مختلف اطلسی در جوانه‌زنی می‌باشد. اسید جیبرلیک با افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و تجزیه نشاسته باعث افزایش تولید ATP شده که در فرآیند رشد، توسعه و انبساط سلولی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sukifto et al., 2020). در تایید نتایج حاضر در بررسی که توسط Cornea-Cipcigan et al. (2020) بر روی جوانه‌زنی بذرهای ارقام مختلف گل سیکلامن تحت تاثیر اسید جیبرلیک انجام شد مشخص شد، استفاده از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک بر روی بذرهای رقم Mirabile سبب افزایش ۱۳/۳۳ درصدی درصد جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد شد که باعث شد درصد جوانه‌زنی به ۱۰۰ درصد برسد. همچنین کاربرد اسید جیبرلیک سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در بذر گل حنا (Sisodia et al., 2018) و بومادران (Nejad et al., 2022) شد. بنیه بذر و شاخص جوانه‌زنی بذرهای برنج پرایمینگ شده با اسید جیبرلیک به ترتیب ۳ و ۲ برابر افزایش نشان داد (Sukifto et al., 2020). در گیاه *Annona squamosa* L. استفاده از اسید جیبرلیک با انتقال ذخایر انرژی موجود در آندوسپرم بذرها سبب بهبود درصد جوانه‌زنی بذرها شد این موضوع نشان می‌دهد که کاربرد اسید جیبرلیک موجب تغییر متابولیسم دانه شده و منبع انرژی لازم برای رشد جنین را فراهم می‌کند (Vasconcelos et al., 2015).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ بر صفات مورد بررسی در ارقام مختلف گل اطلسی

Table 1- Analysis of variance for the effect of priming on investigated traits in different varieties of *Petunia hybrida*

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares											
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی Average time required for germination	شاخص بنیه گیاهچه Seed vigour index	انرژی جوانه‌زنی Germination energy	وزن تر ساقه‌چه Plumule Fresh weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight	وزن تر ریشه‌چه Plumule dry weight	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	آلفا آمیلاز α-amylase	بتا آمیلاز β-amylase	محتوای قندهای محلول Soluble sugars content
پرایمینگ بذر Seed priming	3	7552.08**	18.93**	13.92**	17630.7**	0.214**	0.062**	0.045**	0.065**	0.018**	0.068**	0.039**	1.71**
رقم Variety	3	2207.64**	4.75**	2.49**	9886.5**	0.103**	0.840**	0.305**	0.322**	0.089**	0.019**	0.011**	0.81**
پرایمینگ بذر×رقم Seed priming× Variety	9	155.79**	0.46**	0.92**	299.5*	0.032**	0.019ns	0.012*	0.017ns	0.006ns	0.002*	0.001ns	0.10**
ضریب تغییرات CV (%)	32	8.51	10.26	6.03	11.27	19.90	11.67	14.78	0.013	25.28	7.28	14.68	7.02
خطا Error	47	39.58	0.07	0.04	134.4	0.004	0.01	0.004	23.08	0.004	0.001	0.002	0.02

ns، ** و * به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- اثر پرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی

Table 2- The effect of priming on germination traits of seeds obtained from self-pollination of different *Petunia hybrida* cultivars

اسید جیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberlin (mgl^{-1})	ارقام مختلف گل اطلسی Different *Petunia hybrida* cultivars				میانگین Mean
	Iranian petunia	Tritunia White	Tritunia Pink Morn	Tango Blue	
	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)				
0	53.33^{d}	33.33^{e}	33.33^{e}	26.67^{e}	36.66^{c}
50	93.33^{ab}	93.33^{ab}	83.33^{b}	56.67^{d}	81.66^{b}
100	93.33^{ab}	93.33^{ab}	100^{a}	70^{c}	89.16^{a}
150	100^{a}	93.33^{ab}	96.67^{a}	63.33^{cd}	88.33^{a}
Mean	85^{a}	78.33^{b}	78.33^{b}	54.16^{c}	
	سرعت جوانه‌زنی Germination speed				
0	1.15^{g}	0.86^{gh}	0.64^{hi}	0.41^{i}	0.76^{c}
50	3.35^{de}	3.25^{de}	3.06^{e}	1.97^{f}	2.91^{b}
100	3.83^{bc}	3.67^{b-d}	4.08^{ab}	3.23^{f}	3.45^{a}
150	4.5^{a}	3.54^{cd}	3.01^{e}	2.3^{f}	3.34^{a}
Mean	3.21^{a}	2.83^{b}	2.7^{b}	1.73^{c}	
	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی Average time required for germination (day)				
0	4.83^{c}	4.00^{d}	5.38^{b}	6.50^{a}	5.18^{a}
50	3^{gh}	3.22^{fg}	3.09^{fg}	3.42^{ef}	3.18^{b}
100	2.56^{ij}	2.85^{i-i}	2.63^{h-j}	3.8^{de}	2.96^{c}
150	2.31^{j}	2.95^{gh}	3.62^{de}	2.3^{j}	2.79^{c}
Mean	3.17^{c}	3.25^{c}	3.68^{b}	4.0^{a}	

در هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمونLSD در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each trait, numbers with similar letters are not significantly different (LSD, $P < 0.05$).

سرعت جوانه‌زنی

اثرات پرایمینگ، رقم و اثرات متقابل آن‌ها بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). پرایمینگ بذرها با اسید جیبرلیک سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی شد که بیشترین افزایش مربوط به کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود که سبب افزایش ۴/۵ برابری سرعت جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲). نتایج حاصل از برهمکنش پرایمینگ اسید جیبرلیک و رقم نشان داد کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک سبب افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی در ارقام Tritunia White، Tritunia Pink Morn و Tango Blue شد، در حالیکه در رقم اطلسی ایرانی بیشترین سرعت جوانه‌زنی با کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد که بیانگر بیشترین سرعت جوانه‌زنی در بین ارقام مختلف نیز بود، همچنین بین غلظت‌های مختلف پرایمینگ در ارقام Tritunia White و Tango Blue تفاوت معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی مشاهده نشد (جدول ۲). افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهای رقم UHFSA-13 نسبت به رقم UHFSA-9 در گل میمون نیز گزارش شده است که نشان‌دهنده وجود تفاوت در بین ارقام نسبت به سرعت جوانه‌زنی می‌باشد (Bhargava et al., 2015). بذرها برای آغاز فعالیت حیاتی خود و شروع جوانه‌زنی نیاز به جذب آب دارند، چنانچه جذب آب دچار اختلال شود و یا به کندی صورت سرعت جوانه‌زنی کاهش خواهد یافت. پرایمینگ یا آماده‌سازی بذر باعث افزایش سرعت جذب آب و سرعت بالای سوخت‌وساز و جوانه‌زنی در بذر می‌شود که نتیجه این امر افزایش سرعت جوانه‌زنی، بهبود استقرار گیاهچه، افزایش تحمل به تنش و آفات و در نهایت عملکرد بالاتر خواهد بود (Noor-un-Nisa et al., 2013). در همین راستا، افزایش ۲/۳ درصدی سرعت جوانه‌زنی بذرهای برنج در پرایمینگ با اسید جیبرلیک با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است (Sukifto et al., 2020).

متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی

مطابق با نتایج تجزیه واریانس اثرات پرایمینگ، رقم و اثرات متقابل آن‌ها بر متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اسید جیبرلیک سبب کاهش متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی شد که بیشترین کاهش مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲). طبق گزارش Vasconcelos et al. (2015) بذرهای پرایمینگ شده کمترین زمان لازم برای جوانه‌زنی را در نتیجه تسریع در فرآیند جوانه‌زنی به دلیل شروع زود هنگام فعالیت‌های متابولیکی، تجزیه سریع و انتقال ذخایر آندوسپرم ثبت کردند. نتایج اثرات پرایمینگ و رقم بیانگر کاهش معنی‌دار متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در ارقام مختلف در اثر تیمار با اسید جیبرلیک می‌باشد که بیشترین کاهش در رقم Tango Blue و غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد مربوطه کاهش ۶۴/۶ درصدی را نشان داد، هرچند مقایسه تیمارهای شاهد در ارقام مختلف نشان می‌دهد متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در رقم Tango Blue به‌طور معنی‌داری بیشتر از بذرهای سایر ارقام می‌باشد که بیانگر نقش اسید جیبرلیک بر بهبود متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی این رقم باشد (جدول ۲). Moaaz Ali et al. (2020) در پژوهشی که بر روی جوانه‌زنی ارقام مختلف گوجه فرنگی داشتند گزارش کردند بین ارقام مختلف از نظر متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. پرایمینگ سبب افزایش سرعت تقسیم سلولی در بذرهای پرایم شده می‌شود به عبارتی دیگر در اثر سنتز DNA، RNA و پروتئین در طی پرایمینگ، بسیاری از مراحل فیزیولوژیکی مربوط به فرآیند جوانه‌زنی کامل شده و بذر در آستانه جوانه‌زنی قرار می‌گیرد (Ge et al., 2023). به عنوان مثال پرایمینگ بذرهای برنج با اسید جیبرلیک متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی را ۲۴ ساعت کاهش داد (Sukifto et al., 2020). Cornea-Cipcigan et al. (2020) بیان کردند استفاده از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک منجر به کاهش ۴۷ درصدی متوسط زمان جوانه‌زنی در سیکلامن شد. همچنین طبق گزارشات Ge et al. (2023) کاربرد اسید جیبرلیک در گیاه *Panax notoginseng* به طور مؤثری فرآیند پس از رسیدن را کوتاه می‌کند و با تحریک رشد جنین و نرم کردن بافت‌های اطراف جنین، جوانه‌زنی بذر را تقویت می‌کند. تیمار ۱۵ میکرومولار اسید جیبرلیک در بذرهای نخود سبب افزایش ضریب یکنواختی ظهور، کاهش زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی و متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی شد (Aziz & ekşen, 2020).

شاخص بنیه گیاهچه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص بنیه گیاهچه معنی‌دار بود (جدول ۱). استفاده از اسید جیبرلیک سبب افزایش معنی‌دار شاخص بنیه گیاهچه شد البته بین غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در تمامی تیمارها بیشترین شاخص بنیه گیاهچه مربوط به اطلسی ایرانی و کمترین آن مربوط به رقم Tango Blue بود به عنوان مثال در تیمار شاهد و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک شاخص بنیه گیاهچه در اطلسی ایرانی به ترتیب ۶۴/۵ و ۴۷/۴ درصد بیشتر از رقم Tango Blue بود (جدول ۳). بیشترین میزان افزایش شاخص بنیه گیاهچه در اثر تیمار اسید جیبرلیک مربوط به رقم Tritunia White بود که پس از کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک افزایش حدودا ۳ برابری را نشان داد (جدول ۳). Shagufta et al. (2023) در پژوهشی که بر روی جوانه‌زنی ارقام مختلف شمعدانی داشتند گزارش کردند نوع رقم تاثیر معنی‌داری بر شاخص بنیه گیاهچه دارد. بنیه گیاهچه یکی از مشخصه‌های مهم کیفیت بذر است و پتانسیل جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه و تحمل در برابر ناملایمات را تعیین می‌کند افزایش بنیه گیاهچه، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بذر را بهبود می‌بخشد و منجر به تسریع رشد گیاهچه و عملکرد بالا می‌شود (He *et al*., 2019). در همین راستا استفاده از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک در گیاه لوبیا با تغییر در ابعاد سلولی سبب بهبود پتانسیل تولیدی گیاه، افزایش ارتفاع گیاه و در نتیجه شاخص بنیه گیاهچه شد (Jaques et al, 2019). همسو با نتایج پژوهش حاضر کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک سبب افزایش شاخص بنیه گیاهچه در رقم Mirabile در سیکلامن شد که این تغییر به بهبود جوانه‌زنی منجر شد که به طول ریشه و ساقه نهال‌ها و همچنین تحریک فعالیت‌های آنزیمی بستگی داشت

(Cornea-Cipcigan et al., 2020). نتایج به دست آمده از پرایمینگ هورمونی بذرهای بومادران با۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک نیز نشان داد که این هورمون بر درصد سبز شدن و شاخص بنیه بذر تأثیر مثبت دارد (Nejad et al., 2022). افزایش شاخص بنیه بذر توسط Ghasemi-Golazani et al. (2008 & 2010) بر روی بذرهای عدس و لوبیا چیتی و Sisodia et al. (2018) بر روی بذرهای پریوش و همیشه بهار پرایمینگ شده با اسید جیبرلیک نیز گزارش شده است.

انرژی جوانه‌زنی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثرات پرایمینگ، رقم و برهمکنش آن‌ها بر انرژی جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج برهمکنش اسید جیبرلیک بر بذرهای ارقام مختلف نشان داد هرچه بر غلظت اسید جیبرلیک افزوده شد، میزان انرژی جوانه‌زنی بذرها افزایش یافت اما بین غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک بر میزان انرژی جوانه‌زنی بذرهای ارقام Tritunia White، Tritunia Pink Morn و Tango Blue تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و کمترین میزان انرژی جوانه‌زنی بذرها در ارقام مختلف در شرایط عدم پرایمینگ بذرها حاصل شد، همچنین کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک نسبت به سایر غلظت‌ها بیشترین تاثیر را بر افزایش انرژی جوانه‌زنی بذرهای اطلسی ایرانی داشت که نسبت به تیمار شاهد مربوطه افزایش ۳/۵ برابری را نشان داد (جدول ۳). طبق گزارشات Mebratu (2022) پاسخ ارقام مختلف گوجه فرنگی به پرایمینگ متفاوت می‌باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در تایید نتایج پژوهش فوق تیمار اسید جیبرلیک سبب بهبود سرعت جوانه‌زنی، انرژی جوانه‌زنی، شاخص جوانه‌زنی و شاخص بنیه در گیاه *Nitraria tangutorum* Bobr شد (Guo & Lin, 2009). همچنین طبق گزارشات Aziz & ekşen (2020) بر روی بذرهای نخود کاربرد غلظت ۱۵ میکرومولار اسید جیبرلیک سبب افزایش انرژی جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی شد.

جدول ۳- اثر پرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی

Table 3- The effect of priming on germination traits of seeds obtained from self-pollination of different *Petunia hybrida* cultivars

اسید جیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberlin (mg/l)	ارقام مختلف گل اطلسی Different *Petunia hybrida* cultivars				میانگین Mean
	Iranian petunia	Tritunia White	Tritunia Pink Morn	Tango Blue	
		شاخص بنیه گیاهچه Seed vigour index			
0	77.0^{d}	44.2^{e}	33.8^{e}	27.3^{e}	45.4^{b}
50	156.8^{a}	142.3^{a}	105.1^{bc}	78.3^{d}	120.6^{a}
100	143.4^{a}	143.3^{a}	113.8^{b}	89.8^{cd}	122.6^{a}
150	158.5^{a}	142.8^{a}	106.9^{bc}	83.3^{d}	122.9^{a}
Mean	133.9^{a}	118.2^{b}	89.7^{c}	69.7^{d}	
		انرژی جوانه‌زنی Germination energy			
0	0.2^{f-h}	0.13^{gh}	0.1^{h}	0.16^{f-h}	0.15^{b}
50	0.46^{bc}	0.4^{cd}	0.43^{b-d}	0.23^{e-g}	0.38^{a}
100	0.43^{b-d}	0.5^{bc}	0.53^{b}	0.23^{e-g}	0.42^{a}
150	0.7^{a}	0.43^{b-d}	0.33^{de}	0.26^{ef}	0.43^{a}
Mean	0.45^{a}	0.36^{b}	0.35^{b}	0.22^{c}	

در هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمونLSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each trait, numbers with similar letters are not significantly different (LSD, $P < 0.05$).

وزن تر و خشک ساقه‌چه

مطابق با نتایج تجزیه واریانس اثرات پرایمینگ و رقم در سطح یک درصد بر وزن تر و خشک ساقه‌چه معنی‌دار بود. اثرات متقابل پرایمینگ و رقم در سطح پنج درصد بر وزن خشک ساقه‌چه معنی‌دار بود در حالیکه بر وزن تر ساقه‌چه تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). بیشترین میزان وزن تر ساقه‌چه مربوط به ارقام اطلسی ایرانی و Tritunia White بود که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، همچنین ارقام Tritunia Pink Morn و Tango Blue از نظر وزن تر و خشک ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و میزان وزن تر ساقه‌چه در این ارقام کمترین بود (جدول ۴). غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک تاثیر معنی‌داری بر افزایش میزان وزن تر ساقه‌چه داشتند که بیشترین میزان افزایش با کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد مربوطه افزایش ۲۱/۵ درصدی را نشان داد (جدول ۴). براساس گزارشات Sukifto et al. (2020) پرایمینگ بذرهای برنج با اسید جیبرلیک سبب شد وزن تر کل دو برابر بیشتر از نهال‌های بدون پرایمینگ باشد. برهمکنش اسید جیبرلیک و ارقام مختلف نیز نشان داد کاربرد غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک در رقم Tritunia Pink Morn تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در میزان وزن خشک ساقه‌چه نداشت. در شرایط عدم تیمار اسید جیبرلیک بیشترین وزن خشک ساقه‌چه در ارقام اطلسی ایرانی و Tritunia White مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و نسبت به رقم Tango Blue افزایش ۲/۶ برابری را نشان دادند (جدول ۴). وزن خشک ساقه‌چه در رقم Tango White گل اطلسی نسبت به ارقام دیگر (Tango Blue و Supercascade) بالاتر بود که نشان دهنده وجود تفاوت بین ارقام در میزان وزن خشک ساقه می‌باشد (Kamali et al., 2019). در گیاه لوبیا نیز کاربرد اسید جیبرلیک سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد (Jaques et al, 2019). پرایمینگ بذرهای گوجه‌فرنگی با اسید جیبرلیک سبب افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه، میانگین سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه و وزن تر و خشک ساقه شد (Balaguera-López et al., 2008). تیمار بذرهای کلزا با اسید جیبرلیک سبب افزایش ۴۲/۹ درصدی وزن تر گیاهچه شد (Li et al., 2010). پرایمینگ بذر با افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز سبب هیدرولیز نشاسته و در نتیجه افزایش قندهای محلول شده که همین امر سبب بهبود رشد گیاه و افزایش وزن تر و خشک گیاه‌چه می‌شود. افزایش وزن تر و خشک گیاه‌چه توسط Farooq et al. (2006) در بذرهای برنج پرایمینگ شده نیز گزارش شده است.

وزن تر و خشک ریشه‌چه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از تاثیر معنی‌دار پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر و خشک ریشه‌چه می‌باشد در حالیکه اثرات متقابل آن‌ها تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک ریشه‌چه نداشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بین ارقام اطلسی ایرانی و Tritunia White و نیز بین ارقام Tritunia Pink Morn و Tango Blue تفاوت معنی‌داری در میزان وزن تر و خشک ریشه‌چه وجود ندارد هرچند میزان وزن تر و خشک در ارقام اطلسی ایرانی و Tritunia White به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام Tritunia Pink Morn و Tango Blue بود (جدول ۴). طبق پژوهش‌های پیشین در بین ارقام مختلف گل اطلسی وزن خشک ریشه در رقم Tango Blue بالاتر از ارقام Tango White و Supercascade بود (Kamali et al., 2019). وزن تر و خشک ریشه ارقام مختلف شمعدانی نیز به طور معنی‌داری تحت تاثیر نوع رقم قرار گرفت که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (Shagufta et al., 2023). کاربرد اسید جیبرلیک سبب افزایش معنی‌داری وزن تر و خشک ریشه‌چه ارقام مختلف گل اطلسی شد البته بین غلظت‌های مختلف اسید جیبرلیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). افزایش وزن خشک ریشه در اثر تیمار اسید جیبرلیک توسط Jaques et al. (2019) در لوبیا نیز گزارش شده است. همچنین پرایمینگ بذرهای حنا با ۱۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک ریشه شد (Sisodia et al., 2018).

فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز معنی‌دار بود و اثرات متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد بر فعالیت

آنزیم آلفا آمیلاز تاثیر معنی‌داری داشت درحالیکه اثرات متقابل آن‌ها بر فعالیت آنزیم بتا آمیلاز تاثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). براساس نتایج حاصله پرایمینگ ارقام مختلف اطلسی با اسید جیبرلیک سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفا و بتا آمیلاز شد، به‌طوری که بیش‌ترین میزان فعالیت این آنزیم‌ها در غلظت‌های ۱۰۰و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری در بین غلظت‌ها وجود نداشت (جدول ۵). در بین ارقام مختلف اطلسی بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز مربوط به اطلسی ایرانی بود که نسبت به Tango Blue به ترتیب افزایش ۲۸/۶ و ۲۸ درصدی را نشان دادند. بنابراین کاهش جوانه‌زنی در بذرهای خودگشن اطلسی با کاهش فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز ارتباط دارد (جدول ۵).

نتایج حاصل از برهمکنش پرایمینگ و رقم نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز در اطلسی ایرانی با کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک و در Tango Blue با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک حاصل شد (جدول ۵). بیشترین درصد افزایش فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در اثر تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک و در رقم Tritunia Pink Morn مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۴- اثر پرایمینگ بر وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی

Table 4- The effect of priming on fresh and dry weight of plumule and radicle of seeds obtained from self-pollination of different *Petunia hybrida* cultivars

اسید جیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberlin (mg/l)	ارقام مختلف گل اطلسی Different *Petunia hybrida* cultivars				میانگین Mean
	Iranian petunia	Tritunia White	Tritunia Pink Morn	Tango Blue	
		وزن تر ساقه‌چه (گرم) Plumule Fresh weight (gr)			
0	0.97^{c}	0.92^{c}	0.53^{e}	0.74^{d}	0.79^{c}
50	1.23^{ab}	1.09^{bc}	0.61^{de}	0.64^{de}	0.89^{ab}
100	1.06^{bc}	1.07^{bc}	0.63^{de}	0.69^{de}	0.86^{bc}
150	1.3^{a}	1.19^{ab}	0.68^{de}	0.69^{de}	0. 96^{a}
Mean	1.14^{a}	1.07^{a}	0.61^{b}	0.69^{b}	
		وزن خشک ساقه‌چه (گرم) Plumule dry weight (gr)			
0	0.49^{bc}	0.49^{bc}	0.32^{d}	0.19^{e}	0.37^{c}
50	0.69^{a}	0.69^{a}	0.67^{d}	0.29^{de}	0.50^{a}
100	0.56^{b}	0.52^{b}	0.39^{cd}	0.29^{de}	0.44^{b}
150	0.72^{a}	0.56^{b}	0.36^{d}	0.39^{cd}	0.51^{a}
Mean	0.61^{a}	0.56^{a}	0.35^{b}	0.29^{c}	
		وزن تر ریشه‌چه (گرم) Radicle Fresh weight (gr)			
0	0.53^{bc}	0.40^{cd}	0.33^{d}	0.36^{cd}	0.40^{b}
50	0.73^{a}	0.8^{a}	0.36^{cd}	0.36^{cd}	0.56^{a}
100	0.63^{ab}	0.63^{ab}	0.33^{d}	0.33^{d}	0.48^{ab}
150	0.73^{a}	0.7^{ab}	0.4^{cd}	0.4^{cd}	0.56^{a}
Mean	0.66^{a}	0.63^{a}	0.36^{b}	0.36^{b}	
		وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Radicle dry weight (gr)			
0	0.12^{de}	0.16^{c-e}	0.09^{e}	0.06^{e}	0.11^{b}
50	0.27^{ab}	0.30^{ab}	0.09^{e}	0.11^{de}	0.19^{a}
100	0.26^{a-c}	0.25^{a-c}	0.06^{e}	0.11^{de}	0.16^{a}
150	0.34^{a}	0.21^{b-d}	0.18^{e}	0.10^{e}	0.18^{a}
Mean	0.25^{a}	0.23^{a}	0.08^{b}	0.09^{b}	

در هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمونLSD در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each trait, numbers with similar letters are not significantly different (LSD, $P < 0.05$).

تحریک جنین بوسیله هورمون اسید جیبرلیک سبب ترشح هورمون جیبرلین در داخل جنین بذر شده و این امر به نوبه خود سبب فعالیت بیشتر آنزیم آلفا آمیلاز می‌گردد. این آنزیم سبب سنتز نشاسته به قندهای ساده‌تر گشته که در اختیار جنین و گیاهچه در حال رشد قرار می‌گیرد در نتیجه بنیه بذر افزایش می‌یابد و جوانه‌زنی بذر رخ می‌دهد (Sukifto et al., 2020). جیبرلین یکی از مهم‌ترین هورمون‌های موثر بر سنتز و فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز می‌باشد، در همین راستا استفاده از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک در برنج با افزایش فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز سبب تجزیه نشاسته، افزایش املاح سازگارکننده و تامین انرژی مورد نیاز جهت افزایش طول ریشه‌چه و ظهور گیاهچه شد (Wang *et* al., 2021).

جدول ۵- اثر پرایمینگ بر فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز و محتوای قندهای محلول بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی

Table 5- The effect of priming on α-amylase, β-amylase and soluble sugars content of seeds obtained from self-pollination of different *Petunia hybrida* cultivars

اسید جیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberlin (mg/l)	ارقام مختلف گل اطلسی Different Petunia hybrida cultivars				میانگین Mean
	Iranian petunia	Tritunia White	Tritunia Pink Morn	Tango Blue	
		آلفا آمیلاز α-amylase (µmol ml^{-1}min^{-1})			
0	0.33^{gh}	0.31^{gh}	0.28^{h}	0.28^{h}	0.30^{c}
50	0.44^{b-d}	0.44^{b-d}	0.42^{c-e}	0.34^{fg}	0.41^{b}
100	0.51^{a}	0.45^{b-d}	0.51^{a}	0.41^{de}	0.47^{a}
150	0.51^{a}	0.46^{bc}	0.48^{ab}	0.38^{ef}	0.46^{a}
Mean	0.45^{a}	0.42^{b}	0.43^{ab}	0.35^{c}	
		بتا آمیلاز β-amylase (µmol ml^{-1}min^{-1})			
0	0.22^{ef}	0.21^{ef}	0.21^{ef}	0.19^{f}	0.21^{c}
50	0.32^{a-d}	0.30^{b-d}	0.31^{a-d}	0.25^{d-f}	0.29^{b}
100	0.36^{ab}	0.33^{a-c}	0.35^{ab}	0.28^{c-e}	0.33^{ab}
150	0.37^{a}	0.32^{a-d}	0.36^{ab}	0.27^{c-e}	0.33^{a}
Mean	0.32^{a}	0.29^{a}	0.31^{a}	0.25^{b}	
		محتوای قند محلول Soluble sugars content (mg g^{-1}Fw)			
0	1.63^{fg}	1.43^{gh}	1.41^{gh}	1.35^{h}	1.46^{c}
50	2.00^{d}	2.07^{cd}	1.90^{de}	1.60^{fg}	1.89^{b}
100	2.41^{ab}	2.32^{b}	2.58^{a}	1.74^{ef}	2.26^{a}
150	2.61^{a}	2.27^{bc}	2.45^{ab}	1.63^{fg}	2.24^{a}
Mean	2.16^{a}	2.02^{b}	2.08^{ab}	1.58^{c}	

در هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمونLSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each trait, numbers with similar letters are not significantly different (LSD, $P < 0.05$).

محتوای قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات پرایمینگ، رقم و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر محتوای قندهای محلول معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت اسید جیبرلیک محتوای قندهای محلول افزایش یافت که بیشترین افزایش در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد که افزایش ۵۴/۸ درصدی را در مقایسه با شاهد نشان داد (جدول ۵). در بین ارقام مختلف بیشترین غلظت قندهای محلول مربوط به اطلسی ایرانی بود (جدول ۵). نتایج اثرات متقابل پرایمینگ و ارقام مختلف نشان داد بیشترین غلظت قندهای محلول در اطلسی ایرانی با کاربرد

۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک حاصل شد در حالیکه در سایر ارقام پرایمینگ با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک بیشترین تاثیر را بر افزایش غلظت قندهای محلول داشت (جدول ۵). بیشترین درصد افزایش محتوای قندهای محلول در اثر تیمار اسید جیبرلیک مربوط به رقم Tritunia Pink Morn بود که در اثر تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک افزایش ۸۳ درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد. اثرات مثبت تیمارهای پرایمینگ بر روی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه عمدتاً به فرآیندهای متابولیکی فعال شده از جمله ترمیم DNA و مکانیسم‌های آنتی اکسیدانی، سنتز اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و تولید آدنوزین تری فسفات مربوط می‌شود (Wang et al., 2021).

همچنین پرایمینگ بذر سنتز آمینواسیدهای مرتبط با بیوسنتز اسید جیبرلیک را در بذرهای جوانه زده فعال می‌کند این امر منجر به افزایش بیوسنتز قندهای محلول به عنوان منبع اولیه انرژی می‌شود. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد افزایش قندهای محلول که در طول جوانه‌زنی اولیه بذر اتفاق می‌افتد، بسیار مهم است، زیرا بسترهایی را برای عملکرد مناسب فرآیندهای متابولیکی مختلف که برای رشد محور جنینی ضروری هستند، تامین می‌کند به بیانی دیگر قندها و نشاسته با تولید انرژی سبب بهبود جوانه‌زنی بذر و تسریع رشد گیاهچه می‌شوند (He et al., 2019). با استقرار نهال و کاهش ذخایر غذایی، فتوسنتز انرژی لازم را فراهم می‌کند (Li et al., 2010). نتایج ارائه شده توسط Wang et al. (2021) بر روی بذرهای برنج پرایمینگ شده با اسید جیبرلیک حاکی از آن است که افزایش محتوای قندهای محلول با افزایش طول ریشه‌چه و ظهور گیاهچه مرتبط است. پرایمینگ بذرهای اطلسی با کلرید کلسیم سبب افزایش میزان قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد شد (Kurup et al., 2013). پرایمینگ بذرهای کلزا با ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک سبب افزایش ۴۷/۲ درصدی قندهای محلول در شرایط تنش خشکی شد (Li et al., 2010). در تایید نتایج فوق بهبود جوانه‌زنی در نتیجه افزایش سطح قندهای محلول در بذرهای زبان گنجشک پرایمینگ شده با اسید جیبرلیک نیز گزارش شده است (Song et al., 2019).

نتیجه‌گیری

پس‌روی ناشی از خویش‌آمیزی سبب ضعف بذرها و در نتیجه کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود، که در این آزمایش استفاده از اسید جیبرلیک به‌خصوص غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر تاثیر معنی‌داری بر بهبود صفات جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی داشت. همچنین نتایج حاضر نشان داد بین ارقام مختلف گل اطلسی از نظر صفات جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود دارد به نحوی که در تمامی صفات مورد بررسی اعم از درصد، سرعت و انرژی جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و همچنین وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز و محتوای قندهای محلول اطلسی ایرانی عملکرد بهتری داشت. البته بیشترین درصد افزایش در صفاتی نظیر درصد جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز و محتوای قندهای محلول پس از تیمار اسید جیبرلیک در رقم Tritunia Pink Morn رخ داد. نتایج ارائه شده در مطالعه حاضر نشان داد فعالیت آلفا و بتا آمیلاز و محتوای قندهای محلول با کاهش اثرات نامطلوب خودگشنی بر جوانه‌زنی بذرهای اطلسی مرتبط است. به طور کلی استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک با افزایش ۵۶/۶ درصدی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز و ۵۷/۱ درصدی آنزیم بتا آمیلاز سبب افزایش محتوای قندهای محلول و در نتیجه تامین انرژی مورد نیاز برای بهبود جوانه‌زنی بذرهای حاصل از خودگشنی ارقام مختلف گل اطلسی شد.

تعارض منافع

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

References

Achrem, M., Stępień, E., & Kalinka, A. (2023). Epigenetic changes occurring in plant inbreeding. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(6), 5407. https://doi.org/10.3390/ijms24065407

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1995). *Official methods of analysis* (16th ed.). AOAC International.

Aziz, T., & Pekşen, E. (2020). Seed priming with gibberellic acid rescues chickpea (*Cicer arietinum* L.) from chilling stress. *Acta Physiologiae Plantarum, 42*, 1–10. https://doi.org/10.1007/s11738-020-03134-y

Bakht, J., Shafi, M., Shah, R., & Munir, I. (2011). Response of maize cultivars to various priming sources. *Pakistan Journal of Botany, 43*(1), 205–212.

Balaguera-López, H. E., Cárdenas-Hernández, J. F., & Álvarez-Herrera, J. G. (2009). Effect of gibberellic acid (GA3) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). In *Acta Horticulturae, 821*, 141–148. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.821.15

Bhargava, B., Gupta, Y. C., Dhiman, S. R., & Sharma, P. (2015). Effect of seed priming on germination, growth, and flowering of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). *National Academy Science Letters, 38*, 81–85. https://doi.org/10.1007/s40009-014-0298-4

Cornea-Cipcigan, M., Pamfil, D., Sisea, C. R., & Mărgăoan, R. (2020). Gibberellic acid can improve seed germination and ornamental quality of selected *Cyclamen* species grown under short and long days. *Agronomy, 10*(4), 516. https://doi.org/10.3390/agronomy10040516

Farhoudi, R., & Lee, D. J. (2014). Halopriming corn seeds improves seed emergence and carbohydrate metabolism under salinity stress. *Seed Science and Technology, 42*(3), 461–465. https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.3.13

Farooq, M., Barsa, S. M., & Wahid, A. (2006). Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry, and yield. *Plant Growth Regulation, 49*, 285–294. https://doi.org/10.1007/s10725-006-9138-y

Farooq, M., Basra, S. M., Wahid, A., & Ahmad, N. (2010). Changes in nutrient homeostasis and reserves metabolism during rice seed priming: Consequences for seedling emergence and growth. *Agricultural Sciences in China, 9*(2), 191–198. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60083-3

Ganga, M., Jayalakshmi, S., Jegadeeswari, V., Padmadevi, K., & Jawaharlal, M. (2011). Petunia. In C. Kole (Ed.), *Wild crop relatives: Genomic and breeding resources—Plantation and ornamental crops* (pp. 209–242). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21201-7_11

Ge, N., Jia, J. S., Yang, L., Huang, R. M., Wang, Q. Y., Chen, C., Meng, Z. G., Li, L. G., & Chen, J. W. (2023). Exogenous gibberellic acid shortens the after-ripening process and promotes seed germination in the medicinal plant *Panax notoginseng*. *BMC Plant Biology, 23*(1), 67. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04084-3

Ghasemi-Ghahsareh, M., & Kafi, M. (2008). *Scientific and practical floriculture* (2nd ed.). Publications Golbon. [In Persian]

Ghassemi-Golezani, K., Chadordooz-Jeddi, A., Nasrollahzadeh, S., & Moghaddam, M. (2010). Effects of hydro-priming duration on seedling vigor and grain yield of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 38*(1), 109–113. https://doi.org/10.15835/nbha3813475

Godoy, A. R., Oviedo, V. R. S., Castro, M. M., & Cardoso, A. I. I. (2006). Effect of inbreeding on seed yield of "caipira" cucumber. *Bragantia, 65*, 569–573. https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000400006

Guo, Y., & Lin, H. (2009). Regulatory effect of GA and KT on seeds germination of *Nitraria tangutorum* Bobr. *Zhongguo Shengtai Nongye Xuebao/Chinese Journal of Eco-Agriculture, 17*(6), 1196–1199. https://doi.org/10.3724/SP.J.1011.2009.01196

He, Y., Cheng, J., He, Y., Yang, B., Cheng, Y., Yang, C., Zhang, H., & Wang, Z. (2019). Influence of isopropylmalate synthase OsIPMS1 on seed vigor associated with amino acid and energy metabolism in rice. *Plant Biotechnology Journal, 17*(2), 322–337. https://doi.org/10.1111/pbi.12979

Hossain, M., Arefin, M., Khan, B., & Rahman, M. (2005). Effects of seed treatments on germination and seedling growth attributes of horitaki (*Terminalia chebula* Retz.) in the nursery. *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences, 1*(2), 135–141.

Jaques, L., Carvalho, I. R., Szareski, V. J., Pimentel, J. R., Troyjack, C., Dellagostin, S. M., Mendonça, M. T., Rosa, T. C. d., Villela, F. A., & Souza, V. Q. d. (2019). Gibberellic acid utilization in seeds and plants of beans: Effect on growth and seeds' physiological quality. *Journal of Agricultural Science, 11*(2), 541. https://doi.org/10.5539/jas.v11n2p541

Kaamali, M., Shour, M., Neamati, S. H., Lakzian, A., & Khazaei, H. (2019). Effect of drought stress on physio-morphological characteristics and proline content of three petunia varieties. *Journal of Horticultural Science, 32*(4), 519–529. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i2.58195 [In Persian]

Kaczmarska, E., Gawroński, J., Dyduch-Siemińska, M., Szypiło, P., & Szafrańska, B. (2014). Inbreeding depression for seed germination and seedling vigor in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Folia Horticulturae, 26*, 133–138. https://doi.org/10.1515/fhort-2015-0004

Kader, M. A. (2005). A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Proceedings of the Royal Society of London, 138*, 65–75. https://doi.org/10.5962/p.361564

Kalsa, K. K., & Abebie, B. (2012). Influence of seed priming on seed germination and vigor traits of *Vicia villosa* ssp. *dasycarpa* (Ten.). *African Journal of Agricultural Research*, *7*(21), 3202–3208. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1489

Kurup, S. S., Al Amouri, A. W. H., & Jaleel, C. A. (2013). Effect of seed programming on photosynthetic pigments, biochemical constituents, and mineral nutrients in petunia (*Petunia hybrida* Hort. Vilm-Andr.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *11*(1), 1076–1079.

Li, Z., Lu, G. Y., Zhang, X. K., Zou, C. S., Cheng, Y., & Zheng, P. Y. (2010). Improving drought tolerance of germinating seeds by exogenous application of gibberellic acid (GA3) in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Seed Science and Technology*, *38*(2), 432–440. https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.16

Mebratu, A. (2022). Potassium nitrate priming effect on the germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill) cvs. "Mersa" and "Tekeze-1." *International Journal of Agronomy*, *22*, 61–66. https://doi.org/10.1155/2022/4970107

Mitchum, M. G., Yamaguchi, S., Hanada, A., Kuwahara, A., Yoshioka, Y., Kato, T., Tabata, S., Kamiya, Y., & Sun, T. P. (2006). Distinct and overlapping roles of two gibberellin 3-oxidases in *Arabidopsis* development. *The Plant Journal*, *45*(5), 804–818. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02642.x

Moaaz Ali, M., Javed, T., Mauro, R. P., Shabbir, R., Afzal, I., & Yousef, A. F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, *10*(11), 487–498. https://doi.org/10.3390/agriculture10110498

Nejad, S. R., Bistgani, Z. E., & Barker, A. V. (2022). Enhancement of seed germination of yarrow with gibberellic acid, potassium nitrate, scarification, or hydropriming. *Journal of Crop Improvement*, *36*(3), 335–349. https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1968553

Noor-un-Nisa, M., Gandahi, M., Pahoja, V. M., & Nasim, S. (2013). Response of seed priming with boron on germination and seedling sprouts of broccoli. *International Journal of Agricultural Science and Research*, *3*(2), 183–194.

Pounders, C., Reed, S., & Pooler, M. (2006). Comparison of self- and cross-pollination on pollen tube growth, seed development, and germination in crapemyrtle. *HortScience*, *41*(3), 575–578. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.575

Saeidi, G., Etemadi, N., Razmjoo, J., & Khajepour, M. R. (2007a). Inbreeding effects on various quantitative traits of *Petunia hybrida* L. *Journal of Genetics and Breeding*, *61*(1), 19–26.

Saeidi, G., Etemadi, N., Razmjoo, J., & Khajepour, M. R. (2007b). Investigation of seed production and stability of desirable traits in some ornamental plants and weed control methods. *Parks and Green Space Organization of Isfahan Municipality*.[In Persian]

Šćepanović, M., Košćak, L., Pismarović, L., & Šoštarčić, V. (2022). Stimulation of germination of freshly collected and cold-stored seeds of *Ambrosia artemisiifolia* L. *Plants*, *20*(11), 1888. https://doi.org/10.3390/plants11141888

Jamali, S., Ahmad, W., Ul-Allah, S., Wahocho, N. A., Jamali, M. F., & Shah, S. A. (2023). Comparative effect of varieties and types of containers on seed germination and seedling growth of geranium (*Pelargonium graveolens*). *Seeds*, *2*(1), 165–176. https://doi.org/10.3390/seeds2010013

Sisodia, A., Padhi, M., Pal, A., Barman, K., & Singh, A. K. (2018). Seed priming on germination, growth, and flowering in flowers and ornamental trees. In *Advances in Seed Priming* (pp. 263–288). https://doi.org/10.1007/978-981-13-0032-5_14

Song, Q., Cheng, S., Chen, Z., Nie, G., Xu, F., Zhang, J., Zhou, M., Zhang, W., Liao, Y., & Ye, J. (2019). Comparative transcriptome analysis revealing the potential mechanism of seed germination stimulated by exogenous gibberellin in *Fraxinus hupehensis*. *BMC Plant Biology*, *19*, 1–17. https://doi.org/10.1186/s12870-019-1801-3

Sukifto, R., Nulit, R., Kong, Y. C., Sidek, N., Mahadi, S. N., Mustafa, N., & Razak, R. A. (2020). Enhancing germination and early seedling growth of Malaysian indica rice (*Oryza sativa* L.) using hormonal priming with gibberellic acid (GA3). *AIMS Agriculture & Food*, *5*(4), 649–668.

Wahocho, N. A., Laghari, R. M., Talpur, K. H., Jamali, M. F., Ahmad, W., Shah, A. N., Otho, S. A., Shar, P. A., & Wahocho, S. A. (2023). Seed germination and vegetative growth of *Petunia hybrida* genotypes to salt stress. *Journal of Applied Research in Plant Science*, *4*(02), 553–565. https://doi.org/10.38211/joarps.2023.04.02.173

Wang, Y., Yuetao, W., Ruifang, Y., Fuhua, W., Jing, F., Wenbo, Y., Tao, B., Shengxuan, W., & Haiqing, Y. (2021). Effects of gibberellin priming on seedling emergence and transcripts involved in mesocotyl elongation in rice under deep direct-seeding conditions. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, *22*(12), 1002. https://doi.org/10.1631/jzus.B2100174

Worthington, V. (1993). *Worthington enzyme manual: Enzymes and related biochemicals*. Worthington Biochemical Corporation.