Iranian Journal of Seed Research

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (Online); 2383-1251 (Print)

Yasouj University

Effects of Chemical Treatments, Light, and Temperature on Seed Germination and Seedling Vigor of Licorice (*Glycyrrhiza glabra*)

Zeinab Rostami[1]✉, **Morteza Ebrahimi**[2]✉, and **Mehrana Koohi**[3]

1. Co-Corresponding author, Researcher, Plant Secondary Metabolites Biotechnology Research Institute, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. Email: z.rostami@abrii.ac.ir
2. Corresponding author, Associate Professor, Plant Secondary Metabolites Biotechnology Research Institute, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. Email: m.ebrahimi@abrii.ac.ir
3. Associate Professor, Plant Secondary Metabolites Biotechnology Research Institute, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. Email: m.koohi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2 March 2026
Revised: 19 April 2026
Accepted: 27 April 2026

Keywords:
Gibberellic acid
Licorice
Potassium nitrate
Seed dormancy
Sulfuric acid

ABSTRACT

Objective: Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) seed propagation is constrained by a hard seed coat and slow, non-uniform germination. This study evaluated the effects of chemical treatments, light, and temperature on germination, seedling vigor, and early growth of licorice.

Method: Five independent experiments were conducted: sulfuric acid (50% and 98% for 30 and 60 min), gibberellic acid (50, 100, and 200 mg L^{-1} for 24, 48, and 72 h), potassium nitrate (0.2%, 0.4%, and 0.6%), light quality (red, blue, white, 70% red + 30% blue, far-red, and darkness), and temperature regimes (constant 4, 11, and 25 °C, plus a boiling-water pretreatment). Each experiment used a completely randomized design with four replicates of 20 seeds. Germination, seedling growth, and vigor traits were measured.

Results: Treatment effects were significant for most traits. Sulfuric acid (98%, 30 min) gave 100% germination and the highest germination rate (13.45 seeds day^{-1}), while 60 min produced the greatest seedling length and vigor index. Gibberellic acid at 100 mg L^{-1} for 72 h gave the highest vigor index, and 200 mg L^{-1} for 72 h the highest germination rate. Potassium nitrate at 0.6% gave the highest germination percentage and rate, while 0.4% improved seedling growth and vigor. Blue light enhanced germination percentage and speed, whereas darkness increased seedling length, fresh weight, and vigor index. Boiling water followed by 25 °C gave the highest germination percentage and rate, while continuous 11 °C produced the greatest seedling length and numerically highest vigor index.

Conclusions: Licorice seed responses depended on both treatment type and trait evaluated, so treatments maximizing germination did not necessarily produce the most vigorous seedlings. Treatment selection should therefore consider both germination and seedling quality. These findings provide a practical basis for improving licorice propagation and for designing greenhouse and field validation studies.

Cite this article: Rostami, Z., Ebrahimi, M., & Koohi, M. (2026). Effects of chemical treatments, light, and temperature on seed germination and seedling vigor of licorice (*Glycyrrhiza glabra*). *Iranian Journal of Seed Research*, *13* (1), 1-26. http://doi.org/10.66224/yujs.13.1.1

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: 10.66224/yujs.13.1.1

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

Highlights:

- Five experiments tested chemical, light, and thermal treatments in licorice.
- Sulfuric acid (98%) was the most effective scarification treatment.
- Treatments maximizing germination did not necessarily maximize seedling growth and vigor.

Introduction

Licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) is an important medicinal legume whose roots and rhizomes contain numerous bioactive compounds used in pharmaceutical and food industries (Wang et al., 2020). Expanding its cultivation is important because overharvesting and habitat loss threaten natural populations (Hosseini et al., 2021; Yan et al., 2023). Seed propagation is valuable for large-scale production, conservation of genetic diversity, breeding programs, and physiological studies (Afsharzadeh et al., 2025). However, licorice seeds commonly exhibit low, slow, and non-uniform germination because their hard seed coat restricts water uptake and imposes physical dormancy (Ghadiri & Bagherani Torshiz, 2000; Rafieiolhossaini et al., 2015). In legumes, physical dormancy is commonly associated with compact and impermeable seed-coat layers that prevent imbibition until these layers are weakened or disrupted (Baskin & Baskin, 2004; Wen et al., 2024). Chemical scarification, gibberellic acid, nitrate treatments, light, and temperature may influence dormancy release through different physical and physiological mechanisms (Balouchi & Modarres Sanavy, 2006; Balouchi et al., 2008; Duermeyer et al., 2018; Yan & Chen, 2020; Ali et al., 2022). Therefore, this study evaluated the effects of sulfuric acid, gibberellic acid, potassium nitrate, light quality, and temperature regimes on seed germination, seedling vigor, and early growth of licorice.

Materials and Methods

Seeds were collected from a natural licorice population in the Atashgah area, west of Isfahan, Iran. Healthy and relatively uniform seeds were cleaned, stored under dry conditions at 4 °C, surface-disinfected with 5% sodium hypochlorite for 15 min, and thoroughly rinsed with distilled water. Five independent experiments were conducted, each arranged in a completely randomized design with four replicates of 20 seeds. Sulfuric acid was tested at concentrations of 50% and 98% for 30 and 60 min. Gibberellic acid was applied at concentrations of 50, 100, and 200 mg L^{-1} for 24, 48, or 72 h. Potassium nitrate was tested at concentrations of 0.2%, 0.4%, and 0.6%. Light treatments included red, blue, white, a combination of 70% red and 30% blue, far-red, and darkness. The temperature experiment consisted of continuous incubation at 4, 11, or 25°C during the germination period, while boiling-water treatment was applied as a separate thermal pretreatment (100°C for 5 min) followed by incubation at 25°C. Germinated seeds were counted daily, and radicle protrusion of at least 2 mm was considered as the germination criterion. Germination percentage, germination rate, mean germination time, seedling length, seedling fresh weight, and seedling vigor index were determined using standard procedures (Zhang et al., 2007; Kaya et al., 2008). Seedling length was measured from digital images using ImageJ software (Albert et

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

al., 2023). Data from each experiment were analyzed separately by one-way analysis of variance, and treatment means were compared using Tukey's test at the 5% probability level.

Results and Discussion

Sulfuric acid significantly affected all measured traits. Treatment with 98% sulfuric acid for 30 min produced 100% germination and the highest germination rate of 13.45 seeds day^{-1}, whereas exposure for 60 min produced the greatest seedling length and vigor index. These findings support previous reports that sulfuric acid scarification improves the germination of licorice and other hard-seeded legumes by weakening the seed coat and increasing its permeability to water (Ghadiri & Bagherani Torshiz, 2000; Balouchi & Modarres Sanavy, 2006; Wen et al., 2024; Afsharzadeh et al., 2025). In the gibberellic acid experiment, 100 mg L^{-1} applied for 72 h produced the highest seedling vigor index, while 200 mg L^{-1} applied for 72 h resulted in the highest germination rate. Gibberellins promote embryo growth, hydrolytic enzyme activity, and the transition from dormancy to germination, although their effectiveness may be limited when water uptake is strongly restricted by the seed coat (Balouchi et al., 2008; Ali et al., 2022; Toora et al., 2024). Differences among studies may be related to seed origin, dormancy intensity, gibberellic acid concentration, and treatment duration (Tapfumaneyi et al., 2023; Cao et al., 2025). Potassium nitrate at 0.6% produced the highest germination percentage and rate, whereas 0.4% favored seedling length and vigor. Nitrate can act as both a nutrient source and an environmental signal that interacts with hormonal, temperature, and light pathways during dormancy release and germination (Duermeyer et al., 2018; Yan & Chen, 2020). Blue light produced the highest germination percentage and rate, while darkness increased seedling length, fresh weight, and vigor index. Light quality regulates germination and early seedling development through photoreceptors and their interactions with hormonal signaling pathways (Yan & Chen, 2020; Wei et al., 2023). However, the greater seedling length in darkness may partly reflect etiolation rather than superior post-emergence quality. Different responses of germination and seedling growth to light spectra have also been reported in other medicinal plants (Thongtip et al., 2022). Among the evaluated conditions, boiling-water thermal pretreatment followed by incubation at 25°C resulted in the highest germination percentage and rate. This response was probably due to the weakening of the hard seed coat by hot water, which facilitated water uptake and germination. Similar positive responses to hot-water scarification have been reported in other hard-seeded species (Wang et al., 2011; Seng & Cheong, 2020; Cavallaro et al., 2021). Continuous incubation at 11°C produced the greatest seedling length and the numerically highest vigor index, whereas incubation at 4°C reduced the germination rate and increased the mean germination time. This response is consistent with the inhibitory effects of low temperatures on enzymatic activity, respiration, and embryo growth (Haj Sghaier et al., 2022).

Conclusions

Licorice seed responses depended on both the treatment type and the evaluated trait, and no single treatment maximized all germination and seedling-growth characteristics. Longer

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

acid exposure and specific gibberellic acid or potassium nitrate treatments were more favorable for some seedling growth and vigor traits. Treatment selection should therefore consider germination performance and seedling quality simultaneously. Further validation under greenhouse and field conditions is recommended.

Author Contributions

Conceptualization, Z.R. and M.E.; methodology, Z.R. and M.E.; formal analysis, Z.R., M.E., and M.K; investigation, M.E.; resources, Z.R. and M.E.; data curation, Z.R.; writing—original draft preparation, Z.R.; writing—review and editing, Z.R., M.E., and M.K.; visualization, Z.R. and M.E.; supervision, M.K. and M.E.; project administration, M.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

The authors thank the Plant Secondary Metabolites Biotechnology Research Institute, Isfahan, Iran, for providing research facilities and technical support.

Ethical Considerations

This study did not involve human participants or animals. The authors adhered to the principles of research integrity, avoiding data fabrication, falsification, plagiarism, and any form of research misconduct.

Funding

The Plant Secondary Metabolites Biotechnology Research Institute, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Isfahan, Iran supported this research.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

پژوهش‌های بذر ایران

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (Online); 2383-1251 (Print)

اثر تیمارهای شیمیایی، کیفیت نور و دما بر جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*)

زینب رستمی[۱]✉، مرتضی ابراهیمی[۲]✉، و مهرآنا کوهی[۳]

۱. نویسنده مسئول همکار، محقق، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه گیاهی، اصفهان، ایران. رایانامه: z.rostami@abrii.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استادیار، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه گیاهی، اصفهان، ایران. رایانامه: m.abrahimi@abrii.ac.ir

۳. دانشیار، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه گیاهی، اصفهان، ایران. رایانامه: m.koohi@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷

کلیدواژه‌ها:
اسید جیبرلیک
اسید سولفوریک
خواب بذر
شیرین بیان
نیترات پتاسیم

چکیده

هدف: تکثیر بذری شیرین‌بیان به دلیل پوسته سخت بذر و جوانه‌زنی کند، کم و غیریکنواخت با محدودیت مواجه است. این مطالعه اثر تیمارهای شیمیایی، نور و دما را بر جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و رشد اولیه گیاهچه شیرین‌بیان ارزیابی کرد..

روش پژوهش: پنج آزمایش مستقل انجام شد: اسید سولفوریک (۵۰ و ۹۸ درصد به مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه)، اسید جیبرلیک (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت)، پتاسیم نیترات (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد)، کیفیت نور (قرمز، آبی، سفید، ترکیب ۷۰٪ قرمز + ۳۰٪ آبی، مادون قرمز دور و تاریکی) و رژیم‌های دمایی (دمای ثابت ۴، ۱۱ و ۲۵ درجه سلسیوس، همراه با پیش‌تیمار آب جوش). هر آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و ۲۰ بذر انجام شد. صفات جوانه‌زنی، رشد و بنیه گیاهچه اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: اثر تیمارها برای بیشتر صفات معنی‌دار بود. اسید سولفوریک (۹۸٪، ۳۰ دقیقه) جوانه‌زنی ۱۰۰٪ و بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۱۳/۴۵ بذر در روز) را ایجاد کرد، در حالی که مدت ۶۰ دقیقه بیشترین طول گیاهچه و شاخص بنیه را تولید نمود. اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۷۲ ساعت بالاترین شاخص بنیه و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۷۲ ساعت بالاترین سرعت جوانه‌زنی را نشان داد. پتاسیم نیترات ۰/۶٪ بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد، در حالی که ۰/۴٪ رشد و بنیه گیاهچه را بهبود بخشید. نور آبی درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش داد، در حالی که تاریکی طول گیاهچه و شاخص بنیه را افزایش داد. تیمار آب جوش و سپس نگهداری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد، در حالی که نگهداری پیوسته در دمای ۱۱ درجه سلسیوس بیشترین طول گیاهچه و بالاترین شاخص بنیه را از نظر عددی تولید نمود.

نتیجه‌گیری: پاسخ بذرهای شیرین‌بیان هم به نوع تیمار و هم به صفت مورد ارزیابی وابسته بود، بنابراین تیمارهایی که جوانه‌زنی را به بیشینه رساندند، لزوماً بنیه‌مندترین گیاهچه‌ها را تولید نکردند. از این‌رو، در انتخاب تیمار باید هم جوانه‌زنی و هم کیفیت گیاهچه در نظر گرفته شود. این یافته‌ها مبنای عملی برای بهبود تکثیر شیرین‌بیان و طراحی مطالعات تکمیلی گلخانه‌ای و مزرعه‌ای را فراهم می‌کند.

جنبه‌های نوآوری

- پنج آزمایش، تیمارهای شیمیایی، نوری و حرارتی را در گیاه شیرین‌بیان بررسی کرد.
- اسید سولفوریک (۹۸ درصد) مؤثرترین تیمار خراشدهی (اسکاریفیکاسیون) بود.
- تیمارهایی که بیشینه جوانه‌زنی را ایجاد کردند، لزوماً بیشینه رشد و بنیه گیاهچه را تولید نکردند.

استناد: رستمی، زینب؛ ابراهیمی، مرتضی؛ و کوهی، مهرانا (۱۴۰۵). اثر تیمارهای شیمیایی، کیفیت نور و دما بر جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*). *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۳ (۱)، ۲۶-۱. http://doi.org/10.66224/yujs.13.1.1

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

مقدمه

شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) گیاهی دارویی متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) است که به‌دلیل برخورداری از طیف متنوعی از ترکیبات زیست‌فعال، به‌ویژه فلاونوئیدها، و کاربردهای درمانی گسترده ناشی از این ترکیبات، شناخته شده است. ریشه‌ها و ریزوم‌های شیرین‌بیان حاوی مجموعه غنی‌ای از متابولیت‌های ثانویه، از جمله ساپونین‌های تری‌ترپنی، کالکون‌ها و بیش از ۳۰۰ نوع فلاونوئید هستند (لی[۱] و همکاران، ۲۰۱۱؛ یانگ[۲] و همکاران، ۲۰۱۷؛ شریفی راد[۳] و همکاران، ۲۰۲۱؛ آبراهام و فلورنتین[۴]، ۲۰۲۱؛ وانگ[۵] و همکاران، ۲۰۲۰). ترکیباتی مانند گلیسیریزین، گلابریدین و ایزولیکویریتیژنین در درمان بیماری‌ها و اختلالات مختلف، از جمله اختلالات حاد کبدی، هپاتیت مزمن B و C، هموفیلی و اختلالات سیستم ایمنی، مؤثر هستند (هایاشی[۶] و همکاران، ۱۹۹۶). گلیسیریزین، که یکی از ترکیبات اصلی شیرین‌بیان است، به‌طور گسترده در صنایع غذایی و همچنین در درمان اختلالات ریوی، گوارشی، کبدی و صفراوی و زخم‌های گوارشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شریفی‌راد و همکاران، ۲۰۲۱). از سویی دیگر، شیرین‌بیان یک گونه گیاه دارویی در خطر انقراض در ایران است و به دلیل افزایش تقاضا و از دست دادن زیستگاه‌های طبیعی (حسینی[۷] و همکاران، ۲۰۲۱)، ترویج کشت و نگهداری آن باید برای رسیدگی به کاهش ذخایر وحشی و اطمینان از در دسترس بودن این گیاه دارویی مهم توسعه یابد (یان[۸] و همکاران، ۲۰۲۳).

اگرچه شیرین‌بیان می‌تواند از طریق اندام‌های رویشی نیز تکثیر شود، تکثیر بذری از نظر تولید انبوه، حفظ تنوع ژنتیکی، برنامه‌های اصلاحی و مطالعات فیزیولوژیک اهمیت زیادی دارد (افشارزاده[۹] و همکاران، ۲۰۲۵). با این حال، یکی از محدودیت‌های مهم در تکثیر بذری این گیاه، جوانه‌زنی پایین، کند و غیریکنواخت بذرها است که می‌تواند استقرار اولیه گیاهچه و یکنواختی رشد را کاهش دهد (قدیری و باقرانی ترشیز[۱۰]، ۲۰۰۰؛ رفیعی‌الحسینی[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۵).

در بسیاری از گونه‌های خانواده بقولات، خواب بذر بطور عمده با نفوذناپذیری پوسته بذر نسبت به آب مرتبط است؛ این نوع خواب که به خواب فیزیکی معروف است، موجب می‌شود بذرهای زنده حتی در شرایط محیطی مناسب نیز به‌سرعت جوانه نزنند (باسکین و باسکین[۱۲]، ۲۰۰۴؛ ون[۱۳] و همکاران، ۲۰۲۴). خواب فیزیکی در لگوم‌ها معمولاً ناشی از ساختار ویژه پوسته بذر، وجود لایه‌های سلولی فشرده، ترکیبات مومی و موانع آناتومیکی کنترل‌کننده ورود آب است (ون و همکاران، ۲۰۲۴). این ویژگی از نظر بوم‌شناختی می‌تواند با توزیع جوانه‌زنی در زمان و افزایش بقای بذر در بانک بذر خاک مرتبط باشد، اما در شرایط کشت و تولید نهال، موجب کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی می‌شود (باسکین و باسکین، ۲۰۰۴؛ هریسون[۱۴] و همکاران، ۲۰۲۵). بنابراین، به‌کارگیری پیش‌تیمارهای مناسب برای کاهش خواب بذر و افزایش جوانه‌زنی، یکی از مراحل کلیدی در تولید موفق گیاهچه شیرین‌بیان محسوب می‌شود (قدیری و باقرانی ترشیز، ۲۰۰۰؛ افشارزاده و همکاران، ۲۰۲۵).

اسید سولفوریک یکی از پرکاربردترین روش‌های خراش‌دهی شیمیایی در بذرهای سخت‌پوسته است و بطور عمده از طریق تخریب کنترل‌شده یا تضعیف پوسته بذر، نفوذ آب را افزایش می‌دهد (باسکین و باسکین، ۲۰۰۴؛ ون و همکاران، ۲۰۲۴). اثر مثبت اسید سولفوریک بر جوانه‌زنی شیرین‌بیان در چند مطالعه گزارش شده است؛ به‌طوری‌که قدیری و باقرانی ترشیز (۲۰۰۰) افزایش قابل توجه جوانه‌زنی را پس از تیمار اسیدی مشاهده کردند و افشارزاده و همکاران (۲۰۲۵) نیز در آزمایش‌های جوانه‌زنی *G. glabra*، موفقیت بالای تیمار اسید سولفوریک را در غلبه بر خواب بذر گزارش کردند. با این حال، مدت زمان تیمار با اسید سولفوریک اهمیت زیادی

[1] Li
[2] Yang
[3] Sharifi-Rad
[4] Abraham & Florentine
[5] Wang
[6] Hayashi
[7] Hosseini
[8] Yan
[9] Afsharzadeh
[10] Ghadiri & Bagherani Torshiz
[11] Rafieiolhossaini
[12] Baskin & Baskin
[13] Wen
[14] Harrison

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

دارد، زیرا تیمار بیش از حد می‌تواند به جنین آسیب برساند یا کیفیت گیاهچه‌های حاصل را کاهش دهد (قدیری و باقرانی ترشیز، ۲۰۰۰؛ افشارزاده و همکاران، ۲۰۲۵).

جیبرلین یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد مهم در فرآیند جوانه‌زنی است و نقش آن بطور عمده در تحریک رشد جنین، فعال‌سازی آنزیم‌های هیدرولیتیک و کاهش اثر بازدارنده اسید آبسزیک می‌باشد (علی[1] و همکاران، ۲۰۲۲؛ تورا[2] و همکاران، ۲۰۲۴). تعادل بین اسید آبسزیک و جیبرلین‌ها یکی از محورهای اصلی کنترل خواب و جوانه‌زنی بذر است؛ به‌طوری‌که افزایش سیگنال جیبرلینی معمولاً با کاهش خواب و تحریک جوانه‌زنی همراه است (علی و همکاران، ۲۰۲۲؛ تورا و همکاران، ۲۰۲۴). با این حال، در بذرهایی که عامل اصلی خواب، نفوذناپذیری پوسته است، جیبرلین ممکن است به‌تنهایی اثر محدودی داشته باشد، زیرا ورود آب به بذر شرط اولیه فعال شدن فرآیندهای متابولیکی جوانه‌زنی است (باسکین و باسکین، ۲۰۰۴؛ رفیعی‌الحسینی و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین، بررسی اثر جیبرلین در شیرین‌بیان می‌تواند به روشن شدن نقش احتمالی مؤلفه‌های فیزیولوژیک در کنار خواب فیزیکی کمک کند.

نیترات پتاسیم نیز یکی از ترکیبات رایج در آزمون‌های جوانه‌زنی و پیش‌تیمار بذر است. نیترات علاوه بر نقش تغذیه‌ای، به‌عنوان یک سیگنال محیطی در تنظیم خواب و جوانه‌زنی عمل می‌کند و می‌تواند با مسیرهای نوری، دمایی و هورمونی بر جوانه‌زنی اثر متقابل داشته باشد (دورمایر[3] و همکاران، ۲۰۱۸؛ یان و چن[4]، ۲۰۲۰). گزارش شده است که نیترات در غلظت‌های پایین می‌تواند جوانه‌زنی بسیاری از گونه‌ها را تحریک کند، اما اثر آن به ژنوتیپ، وضعیت خواب بذر، نور، پس‌رسی و شرایط محیطی وابسته است (دورمایر و همکاران، ۲۰۱۸). در شیرین‌بیان، رفیعی‌الحسینی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که تیمار نیترات پتاسیم در شرایط مطالعه آن‌ها اثر معنی‌داری بر شکست خواب نداشت؛ بنابراین، ارزیابی مجدد نیترات پتاسیم در کنار سایر تیمارها می‌تواند به درک بهتر پاسخ بذر شیرین‌بیان به سیگنال نیترات کمک کند (رفیعی‌الحسینی و همکاران، ۲۰۱۵).

نور یکی از عوامل محیطی مهم در تنظیم جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه است. کیفیت نور از طریق گیرنده‌هایی مانند فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها دریافت می‌شود و می‌تواند بر شکست خواب، فعال‌سازی ژن‌های مرتبط با جوانه‌زنی، رشد هیپوکوتیل و استقرار اولیه گیاهچه اثر بگذارد (یان و چن، ۲۰۲۰؛ وی و همکاران، ۲۰۲۳). دسترسی به نور یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی مؤثر بر رشد گیاه در سراسر چرخه زندگی است (فانکهاوزر و چوری[5]، ۱۹۹۷). نور خورشید از انرژی الکترومغناطیسی با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر تشکیل شده است که شامل نور بنفش، آبی، سبز، زرد، نارنجی و قرمز می‌شود. گیاهان طی تکامل، مولکول‌های جذب‌کننده نور را به دست آورده‌اند که آن‌ها را قادر می‌سازد به تغییرات کیفیت نور پاسخ دهند. کیفیت نور بسته به گونه، مرحله نموی یا اندام مورد مطالعه، بر فرایندهای فیزیولوژیک مختلف تأثیر می‌گذارد (هی[6] و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، نور به‌عنوان یک پیام محیطی عمل می‌کند و پاسخ‌های فتومورفوژنتیکی گیاه، از جمله انتقال از یک مرحله نموی به مرحله بعد، را کنترل می‌کند (دولین[7] و همکاران، ۲۰۰۷). نور آبی می‌تواند از طریق مسیرهای وابسته به کریپتوکروم و فتوتروپین بر رشد اولیه گیاهچه اثر بگذارد (وی و همکاران، ۲۰۲۳). در گزارشی، نور سبز از طریق مقابله با فرایندهای بازدارنده رشد و تحریک طویل‌شدن اولیه ساقه، جوانه‌زنی بذر را در Arabidopsis افزایش داد (راسیکوویچوت[8] و همکاران، ۲۰۲۰). نور آبی نیز با کاهش درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی، تأثیر قابل‌توجهی بر جوانه‌زنی بذر *Brassica napus* داشت (تهرانی[9] و همکاران، ۲۰۱۶).

دما نیز از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی بذر است، زیرا جذب آب، فعالیت آنزیم‌ها، تنفس، رشد جنین و سرعت خروج ریشه‌چه به‌شدت تحت تأثیر دما قرار دارند

[1] Ali
[2] Toora
[3] Duermeyer
[4] Yan and Chen
[5] Fankhauser and Chory
[6] He
[7] Devlin
[8] Rasiukevičiūtė
[9] Tehrani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

(خائم[1] و همکاران، ۲۰۲۲؛ حاج صغیر[2] و همکاران، ۲۰۲۲). هر گونه گیاهی دارای دامنه دمایی مشخصی برای جوانه‌زنی است و خروج از این دامنه می‌تواند موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی و کاهش بنیه گیاهچه شود (خائم و همکاران، ۲۰۲۲).

به‌طور کلی، پیش‌تیمارهای فیزیکی و شیمیایی از رایج‌ترین روش‌ها برای بهبود جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه در گونه‌های دارای خواب بذر هستند (باسکین و باسکین، ۲۰۰۴؛ ون و همکاران، ۲۰۲۴). تیمارهای فیزیکی مانند دما و نور می‌توانند از طریق تنظیم فعالیت‌های متابولیکی، تغییر وضعیت هورمونی و فعال‌سازی مسیرهای پیام‌رسانی محیطی بر جوانه‌زنی اثر بگذارند (یان و چن، ۲۰۲۰؛ وی و همکاران، ۲۰۲۳). در مقابل، تیمارهای شیمیایی مانند اسید سولفوریک، اسید جیبرلیک و نیترات پتاسیم از طریق سازوکارهایی مانند افزایش نفوذپذیری پوسته، تحریک متابولیسم جنین، تغییر تعادل هورمونی یا القای سیگنال‌های نیتراتی می‌توانند جوانه‌زنی را بهبود دهند (دورمایر و همکاران، ۲۰۱۸؛ علی و همکاران، ۲۰۲۲؛ افشارزاده و همکاران، ۲۰۲۵).

ارزیابی کارایی پیش‌تیمارهای بذر تنها بر اساس درصد جوانه‌زنی کافی نیست، زیرا یک تیمار ممکن است درصد جوانه‌زنی را افزایش دهد، اما باعث تولید گیاهچه‌های ضعیف یا رشد اولیه نامطلوب شود (بیولی[3] و همکاران، ۲۰۱۳؛ تاپفومانی[4] و همکاران، ۲۰۲۳). شاخص‌هایی مانند سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن تر و شاخص بنیه گیاهچه، اطلاعات کامل‌تری درباره کیفیت جوانه‌زنی و توان استقرار گیاهچه فراهم می‌کنند (بیولی و همکاران، ۲۰۱۲؛ خائم و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعات مربوط به تیمارهای اسید جیبرلیک و نیترات پتاسیم نیز تأکید شده است که پاسخ گیاهچه باید همراه با درصد جوانه‌زنی بررسی شود، زیرا بهبود جوانه‌زنی لزوماً به معنی افزایش بنیه گیاهچه نیست (تاپفومانی و همکاران، ۲۰۲۳). با وجود گزارش‌هایی درباره اثر خراش‌دهی، دما، اسید سولفوریک، نیترات پتاسیم و اسید جیبرلیک بر جوانه‌زنی شیرین‌بیان یا سایر گونه‌های دارای خواب بذر، هنوز مقایسه هم‌زمان مجموعه‌ای از پیش‌تیمارهای فیزیکی و شیمیایی بر چندین شاخص جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه شیرین‌بیان می‌تواند اطلاعات کاربردی‌تری برای انتخاب روش مناسب آماده‌سازی بذر فراهم کند (قدیری و باقرانی ترشیز، ۲۰۰۰؛ رفیعی‌الحسینی و همکاران، ۲۰۱۵؛ افشارزاده و همکاران، ۲۰۲۵).

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر پیش‌تیمارهای فیزیکی و شیمیایی شامل تیمارهای نوری، دمایی، نیترات پتاسیم، اسید جیبرلیک و اسید سولفوریک بر جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و رشد اولیه گیاهچه شیرین‌بیان انجام شد. در این مطالعه، صفاتی شامل وزن تر، طول گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه و میانگین زمان جوانه‌زنی بررسی شدند تا امکان شناسایی پیش‌تیمارهای مؤثر برای بهبود استقرار اولیه این گیاه دارویی فراهم شود.

مواد و روش‌ها

ماده گیاهی

این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثر تیمارهای شیمیایی، کیفیت نور و شرایط دمایی بر جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و رشد اولیه گیاهچه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) در پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه اصفهان انجام شد. بذرهای مورد استفاده از یک جمعیت طبیعی شیرین‌بیان در منطقه آتشگاه، واقع در غرب اصفهان، تهیه شدند. ارتفاع منطقه آتشگاه از حدود ۱۶۱۰ متر در دامنه تا ۱۷۱۵ متر در بخش‌های مرتفع‌تر از سطح دریا متغیر است.

پس از انتقال بذرها به آزمایشگاه، بقایای میوه، مواد خارجی و بذرهای پوک، شکسته، چروکیده یا آسیب‌دیده به‌صورت دستی جدا شدند. بذرهای سالم و نسبتاً یکنواخت بر اساس ویژگی‌های ظاهری شامل اندازه مشابه، رنگ طبیعی، شکل مناسب و عدم وجود آسیب مکانیکی یا آلودگی انتخاب شدند. انتخاب بذرهای سالم و نسبتاً یکنواخت صرفاً به‌منظور کاهش تغییرپذیری اولیه نمونه‌ها انجام شد و هیچ‌گونه تیمار فیزیکی یا شیمیایی برای شکست خواب در این مرحله اعمال نشد (بیولی و

[1] Khaeim
[2] Haj Sghaier
[3] Bewley
[4] Tapfumaneyi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

همکاران، ۲۰۱۳). بذرهای شیرین‌بیان پس از تهیه، به مدت یک ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند و سپس برای انجام آزمایش‌های جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گرفتند. پیش از اعمال تیمارها، بذرها ابتدا با آب معمولی شستشو داده شدند و سپس برای ضدعفونی سطحی به‌مدت ۱۵ دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد قرار گرفتند. پس از آن، بذرها چندین بار با آب مقطر شستشو داده شدند تا باقی‌مانده ماده ضدعفونی‌کننده حذف شود. پس از اعمال تیمار مربوط به هر آزمایش، بذرها در پتری‌های حاوی کاغذ صافی مرطوب قرار گرفتند. در هر پتری ۲۰ عدد بذر قرار داده شد و هر تیمار در چهار تکرار مستقل اجرا شد؛ بنابراین برای هر تیمار ۸۰ بذر مورد ارزیابی قرار گرفت. رطوبت بستر جوانه‌زنی در طول آزمایش با افزودن آب مقطر حفظ شد.

شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه انجام گرفت و بذرهایی که ریشه‌چه آن‌ها به طول حداقل ۲ میلی‌متر رسیده بود، جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. آزمون جوانه‌زنی تا زمانی ادامه یافت که تعداد بذرهای جوانه‌زده به‌مدت سه روز متوالی ثابت باقی ماند.

تیمارهای آزمایشی

در این پژوهش، پنج آزمایش مستقل شامل تیمارهای اسید سولفوریک، اسید جیبرلیک، نیترات پتاسیم، کیفیت نور، مقایسه شرایط دمایی جوانه‌زنی و پیش‌تیمار آب‌جوش انجام شد. هر آزمایش به‌صورت جداگانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت.

آزمایش تیمار اسید سولفوریک

با توجه به وجود محدودیت‌های فیزیکی مرتبط با پوسته بذر شیرین‌بیان، تیمار اسید سولفوریک به‌عنوان یک روش خراش‌دهی شیمیایی برای کاهش مقاومت پوسته و افزایش نفوذ آب انتخاب شد. به این منظور، بذرها با اسید سولفوریک در دو سطح غلظت ۵۰ و ۹۸ درصد به مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه تیمار شدند (باسکین و باسکین، ۲۰۰۴؛ قدیری و باقرانی ترشیز، ۲۰۰۰). بنابراین، ترکیب غلظت و زمان شامل چهار تیمار اسیدی بود و تیمار شاهد نیز بدون کاربرد اسید سولفوریک در نظر گرفته شد. پس از پایان زمان تیمار، بذرها بلافاصله چندین بار با آب مقطر شست‌وشو داده شدند تا باقی‌مانده اسید از سطح بذر حذف شود. سپس بذرها در پتری‌های حاوی کاغذ صافی مرطوب قرار گرفتند و با رژیم نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با دمای میانگین ۲۵ درجه سلسیوس در داخل ژرمیناتور قرار داده شدند و روند جوانه‌زنی آن‌ها تا پایان دوره آزمایش ثبت شد.

آزمایش تیمار اسید جیبرلیک

با توجه به نقش اسید جیبرلیک در تنظیم فرآیندهای جوانه‌زنی و توانایی آن در تحریک فعالیت‌های فیزیولوژیک مرتبط با خروج بذر از حالت خواب، تیمارهای اسید جیبرلیک با غلظت‌ها و مدت زمان‌های مختلف انتخاب شدند. بر این اساس بذرها در محلول‌های اسید جیبرلیک با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و به‌مدت ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت خیسانده شدند (علی و همکاران، ۲۰۲۲؛ تورا و همکاران، ۲۰۲۴؛ تاپفومانی و همکاران ۲۰۲۳). بدین‌ترتیب، ۹ ترکیب تیماری حاصل از غلظت اسید جیبرلیک و مدت خیساندن در کنار تیمار شاهد بررسی شد. پس از اعمال تیمارها، آزمون جوانه‌زنی در شرایط مشابه سایر آزمون‌ها اجرا و در پایان دوره آزمون، صفات مربوط به جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه اندازه‌گیری یا محاسبه شدند.

آزمایش تیمار نیترات پتاسیم

با توجه به نقش نیترات به‌عنوان یک سیگنال محیطی مؤثر در تنظیم خواب بذر و تحریک فرآیند جوانه‌زنی، تیمارهای مختلف نیترات پتاسیم انتخاب شدند. بدین منظور، بذرها به‌مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در محلول‌های نیترات پتاسیم با غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد خیسانده شدند (دورمایر و همکاران، ۲۰۱۸؛ تاپفومانی و همکاران ۲۰۲۳). در تیمار شاهد، بذرها مشابه سایر تیمارها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند. پس از پایان مدت تیمار، بذرها از محلول خارج شده، چندین بار با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و در پتری‌های حاوی کاغذ صافی مرطوب قرار گرفتند. سپس آزمون جوانه‌زنی در شرایط مشابه سایر آزمون‌ها اجرا و در پایان دوره آزمون، صفات مربوط به

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه اندازه‌گیری یا محاسبه شدند.

آزمایش تیمارهای نوری

به‌منظور بررسی اثر کیفیت نور بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه شیرین‌بیان، بذرها در اتاقک‌های رشد مجهز به شرایط نوری مختلف شامل نور قرمز ۶۲۵ نانومتر، نور آبی ۴۶۷ نانومتر، نور سفید، ترکیب ۷۰ درصد نور قرمز و ۳۰ درصد نور آبی، تاریکی و نور قرمز دور با استفاده از یک کنترل کننده LPR (Kuei-Shan Shiang،UF-80B23 ، Taiwan،Fulltech) در رژیم نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی با شدت ۳۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه با میانگین دمایی ۲۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند. شدت نور تمامی تیمارهای نوری پیش از شروع آزمایش تنظیم شد و در سطح یکسان حفظ گردید تا اثر کیفیت طیفی نور مستقل از شدت نور بررسی شود (چن و یان، ۲۰۲۰؛ وی و همکاران، ۲۰۲۳؛ تاپفومانی و همکاران ۲۰۲۳). در این آزمایش، تنها نوع نور بین تیمارها متفاوت بود. در تیمار تاریکی، پتری‌ها در یک جعبه پلاستیکی مات و دربسته، داخل اتاقک رشد قرار داده شدند تا از رسیدن نور به بذرها جلوگیری شود. برای ثبت روزانه جوانه‌زنی، جعبه فقط در زمان شمارش و برای کوتاه‌ترین زمان ممکن باز شد و پس از ثبت تعداد بذرهای جوانه‌زده، پتری‌ها بلافاصله به شرایط تاریکی بازگردانده شدند تا مواجهه بذرها با نور به حداقل برسد. در سایر تیمارهای نوری، بذرها در معرض منبع نوری مربوط به هر طیف قرار گرفتند. پس از پایان دوره جوانه‌زنی، صفات مربوط به جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه اندازه‌گیری یا محاسبه شدند.

آزمایش شرایط دمایی جوانه‌زنی و پیش‌تیمار آب جوش

به‌منظور بررسی پاسخ جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان به شرایط دمایی مختلف و یک پیش‌تیمار حرارتی، چهار وضعیت آزمایشی شامل دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس به‌عنوان شاهد، دماهای ثابت ۴ و ۱۱ درجه سلسیوس در طول دوره جوانه‌زنی و پیش‌تیمار آب جوش ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت پنج دقیقه در نظر گرفته شد. در تیمارهای دمایی، بذرها از آغاز تا پایان آزمون در دمای مربوط به هر تیمار نگهداری شدند؛ بنابراین، دماهای ۴، ۱۱ و ۲۵ درجه سلسیوس به‌عنوان شرایط دمایی پیوسته جوانه‌زنی اعمال شدند و ماهیت پیش‌تیماری نداشتند. در مقابل، تیمار آب جوش به‌عنوان یک پیش‌تیمار حرارتی کوتاه‌مدت با هدف تضعیف پوسته سخت بذر و تسهیل جذب آب اعمال شد. در این تیمار، بذرها به‌مدت پنج دقیقه در آب ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از پایان تیمار برای ادامه آزمون جوانه‌زنی به شرایط ۲۵ درجه سلسیوس منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه انجام شد و در پایان دوره آزمون، صفات مربوط به جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه اندازه‌گیری یا محاسبه شدند.

محاسبه شاخص‌های جوانه‌زنی

در هر آزمایش آزمون جوانه‌زنی تا زمانی ادامه یافت که تعداد بذرهای جوانه‌زده طی سه روز متوالی ثابت باقی ماند. پس از پایان آزمون، ۱۰ گیاهچه سالم به‌صورت تصادفی از هر تکرار انتخاب و صفات رشد اولیه گیاهچه شامل وزن تر گیاهچه، طول گیاهچه، درصد جوانه‌زنی (GP)، سرعت جوانه‌زنی (GS)، شاخص بنیه گیاهچه (VI) و میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT) اندازه‌گیری یا محاسبه شدند (ژانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۷؛ کایا[2] و همکاران، ۲۰۰۸) (جدول ۱). وزن تر گیاهچه با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. طول گیاهچه با استفاده از تصاویر دیجیتال و نرم‌افزار ImageJ نسخه e۱,۵,۳ اندازه‌گیری شد (آلبرت[3] و همکاران، ۲۰۲۳).

تجزیه آماری

داده‌های حاصل از هر آزمایش به‌صورت جداگانه و در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار، با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه در نرم‌افزار SAS تحلیل شدند. پس از معنی‌دار شدن اثر تیمار، میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. با توجه به استقلال پنج آزمایش و تفاوت برخی شرایط اجرایی،

[1] Zhang
[2] Kaya
[3] Albert

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۱. رابطه‌های محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

Table 1. Equations used to calculate germination indices.

صفت Trait	واحد اندازه‌گیری Unit of measurement	رابطه Equation
جوانه‌زنی Germination	درصد (٪) Percent (%)	$GP = (\frac{n}{N}) \times 100$
سرعت جوانه‌زنی Germination rate	تعداد بذر در روز Seed day^{-1}	$GR = \Sigma(\frac{ni}{ti})$
شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index	-	VI = Seedling length (cm) × GP (%)
میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time	روز Day	$MGT = \Sigma(nt \times Tt)/\Sigma nt$

N تعداد کل بذر در هر تکرار؛ n تعداد کل بذرهای جوانه‌زده تا پایان آزمون؛ ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i، ti زمان شمارش متناظر برحسب روز؛ nt تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز t و Tt زمان متناظر با آن برحسب روز است.

N is the total number of seeds per replicate; n is the total number of germinated seeds at the end of the test; ni is the number of seeds germinated on day i; ti is the corresponding counting time (day); nt is the number of seeds germinated on day t; and Tt is the corresponding time (day).

مقایسه‌های آماری فقط درون هر آزمایش انجام شد و میانگین تیمارهای متعلق به آزمایش‌های مختلف مستقیماً با یکدیگر مقایسه نشدند. نمودارها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Python و کتابخانه Matplotlib ترسیم شدند.

نتایج و بحث

اثر تیمار اسید سولفوریک بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای اسید سولفوریک بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). معنی‌دار شدن تمامی صفات نشان می‌دهد که خراش‌دهی شیمیایی با اسید سولفوریک نقش بسیار مهمی در تغییر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه شیرین‌بیان داشته است. بیشترین وزن تر گیاهچه، طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه، به‌ترتیب با مقادیر ۰/۸۱۰ گرم، ۴/۰۶۳ سانتی‌متر و ۳۱۰/۳۱، در تیمار اسید سولفوریک ۹۸ درصد به مدت ۶۰ دقیقه مشاهده شد. تیمار اسید سولفوریک ۹۸ درصد به مدت ۳۰ دقیقه، با ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ۱۳/۴۵ بذر در روز، بیشترین مقادیر این دو صفت را ایجاد کرد. کمترین سرعت جوانه‌زنی، معادل ۲/۵ بذر در روز، مربوط به تیمار اسید سولفوریک ۵۰ درصد به مدت ۶۰ دقیقه بود (جدول ۳).

برای کشت *G. glabra* از طریق بذر، شکستن خواب بذر ناشی از پوسته سخت آن اهمیت زیادی دارد. روش‌های متداول برای دستیابی به این هدف در *G. glabra* شامل پیش‌تیمار با اسید سولفوریک یا خراش‌دهی پوسته بذر است (هان[1] و همکاران، ۲۰۲۲؛ کوژوهاروا[2] و همکاران، ۲۰۲۴). اسید سولفوریک از طریق خراش‌دهی شیمیایی و افزایش نفوذپذیری پوسته، ورود آب و آغاز متابولیسم جوانه‌زنی را تسهیل می‌کند (باسکین و باسکین، ۲۰۰۴؛ ون و همکاران، ۲۰۲۴). این نتیجه با گزارش‌های پیشین درباره تأثیر مثبت اسید سولفوریک یا خراش‌دهی مکانیکی بر بذر شیرین‌بیان و سایر لگوم‌های سخت‌پوسته همسو بود (قدیری و باقرانی ترشیز، ۲۰۰۰؛ بلوچی و مدرس ثانوی[3]، ۲۰۰۶؛ مائو[4] و همکاران، ۲۰۰۸؛ الحدی[5] و همکاران، ۲۰۲۴؛ افشارزاده و همکاران، ۲۰۲۵).

[1] Han
[2] Kozhuharova
[3] Balouchi & Modarres Sanavy
[4] Mao
[5] Al-Hadedy

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای اسید سولفوریک بر صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان

Table 2. Analysis of variance (mean squares) for the effect of sulfuric acid treatments on germination traits of licorice seeds.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares				
		وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	طول گیاهچه Seedling length	جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
تیمار Treatment	4	0.011**	8.752**	4701.87**	91.073**	65073.47**
خطا Error	15	0.001	0.008	7.083	0.342	202.72
درصد ضریب تغییرات CV (%)	–	5.269	6.444	5.142	8.740	14.47

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد هستند.

** indicate significance at the 1% probability levels.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان در پاسخ به تیمارهای اسید سولفوریک

Table 3. Mean comparison of licorice seed germination traits in response to sulfuric acid treatments.

تیمار Treatment	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed day^{-1})	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
شاهد Control	0.729 ab	0.632 c	26.25 c	3.78 c	16.59 c
اسید سولفوریک ۵۰ درصد – ۳۰ دقیقه 50% sulfuric acid - 30 min	0.728 ab	0.629 c	26.25 c	3.77 cd	16.52 c
اسید سولفوریک ۵۰ درصد – ۶۰ دقیقه 50% sulfuric acid - 60 min	0.664 b	0.709 c	30.00 c	2.50 d	21.28 c
اسید سولفوریک ۹۸ درصد – ۳۰ دقیقه 98% sulfuric acid - 30 min	0.742 ab	1.271 b	100.00 a	13.45 a	127.08 b
اسید سولفوریک ۹۸ درصد – ۶۰ دقیقه 98% sulfuric acid - 60 min	0.810 a	4.063 a	76.25 b	9.98 b	310.31 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with at least a same letter within a column are not significantly different at the 5% probability level based on HSD test.

در پژوهش حاضر، تیمار اسید سولفوریک ۹۸ درصد به مدت ۶۰ دقیقه، بیشترین طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه را ایجاد کرد، اما درصد و سرعت جوانه‌زنی کمتری داشتند. بنابراین، بیشترین درصد جوانه‌زنی الزاماً با بیشترین رشد گیاهچه همراه نیست و انتخاب مدت تیمار باید با توجه به هدف تولید انجام شود. تیمار ۳۰ دقیقه‌ای برای جوانه‌زنی سریع و کامل مناسب‌تر بود، درحالی‌که تیمار ۶۰ دقیقه‌ای رشد و بنیه بیشتری ایجاد کرد. این تفاوت اهمیت ارزیابی هم‌زمان درصد جوانه‌زنی، سرعت، زمان جوانه‌زنی و کیفیت گیاهچه را نشان می‌دهد؛ زیرا درصد جوانه‌زنی به‌تنهایی شاخص کاملی برای انتخاب تیمار نیست (بیولی و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، زمان تماس با اسید باید دقیق تنظیم شود، زیرا خراش‌دهی ناکافی خواب را به‌طور کامل کاهش نمی‌دهد و تیمار بیش از حد ممکن است به بافت‌های جنینی آسیب برساند (معین و عموآقایی[1]، ۲۰۲۵؛ افشارزاده و همکاران، ۲۰۲۵).

اثر تیمار اسید جیبرلیک بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ۱۰ تیمار مستقل شامل شاهد آبی و ترکیب‌های غلظت اسید جیبرلیک و مدت خیساندن بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین وزن تر گیاهچه با میانگین ۱/۳۷ گرم در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به‌مدت ۲۴ ساعت

[1] Moein and Amooaghaie

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

مشاهده شد، درحالی‌که شاهد با میانگین ۰/۷۲۰ گرم کمترین مقدار را داشت (جدول ۵). بیشترین طول گیاهچه با میانگین ۳/۹۵ سانتی‌متر در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت ثبت شد؛ بااین‌حال، این تیمار از نظر آماری با تیمارهای ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۴۸ ساعت تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین طول گیاهچه به شاهد با میانگین ۰/۶۶ سانتی‌متر اختصاص داشت (جدول ۵). بیشترین درصد جوانه‌زنی، معادل ۷۳/۷۵ درصد، در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت مشاهده شد. تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۴۸ ساعت نیز با ۷۰ درصد جوانه‌زنی در همان گروه آماری قرار داشت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۱۴/۵ بذر در روز در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت ثبت شد؛ هرچند این مقدار با تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۴۸ ساعت تفاوت معنی‌داری نداشت. شاهد کمترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را به‌ترتیب با مقادیر ۲۶/۲۵ درصد و ۳/۲۷ بذر در روز نشان داد. بالاترین شاخص بنیه گیاهچه با مقدار ۲۹۱/۷ در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به‌مدت ۷۲ ساعت به دست آمد و به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. در مجموع، در میان ترکیب‌های بررسی‌شده، تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت بیشترین شاخص بنیه و یکی از بالاترین مقادیر طول و درصد جوانه‌زنی را ایجاد کرد، درحالی‌که تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت بیشترین سرعت جوانه‌زنی را نشان داد (جدول ۵).

جیبرلین‌ها با تحریک رشد جنین، فعال‌سازی آنزیم‌های هیدرولیتیک و کاهش اثر بازدارنده اسید آبسزیک، خروج ریشه‌چه را تسهیل می‌کنند. درواقع، تعادل میان اسید آبسزیک و جیبرلین یکی از عوامل اصلی کنترل خواب و جوانه‌زنی است (علی و همکاران، ۲۰۲۲؛ تورا و همکاران، ۲۰۲۴). تأثیر مثبت اسید جیبرلیک در پژوهش حاضر با مطالعاتی که کاربرد آن را موجب کاهش خواب و بهبود جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه دانسته‌اند، همخوانی داشت (بلوچی[1] و همکاران، ۲۰۰۸؛ تاپفومانی و همکاران، ۲۰۲۳؛ چو[2] و همکاران، ۲۰۲۵). بااین‌حال، رفیع الحسینی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر معنی‌داری از اسید جیبرلیک بر شکست خواب بذر شیرین‌بیان گزارش نکردند. این تفاوت می‌تواند ناشی از غلظت و مدت خیساندن، منشأ و سن بذر، شدت خواب و شرایط پس از تیمار باشد (رفیعی‌الحسینی و همکاران، ۲۰۱۵). ازآنجاکه اسید جیبرلیک برای اثرگذاری به ورود آب و اکسیژن نیاز دارد، نفوذناپذیری شدید پوسته می‌تواند پاسخ بذر را محدود کند. همانطور که پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند که سازوکار اثر اسید جیبرلیک با القای فعالیت‌های متابولیکی در جنین ارتباط دارد؛ فعالیت‌هایی که برای آغاز فرایند سبزشدن ضروری هستند (بانی آمور و سیپلمیشمرهوزن[3]، ۲۰۰۱؛ نصری[4] و همکاران، ۲۰۱۴). گورونگ و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که بهبود سبزشدن ممکن است به توانایی جیبرلین در غلبه بر خواب بذر نسبت داده شود (گورونگ[5] و همکاران، ۲۰۱۴). به طور کلی، اسید جیبرلیک احتمالاً از طریق تحریک فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با جوانه‌زنی، افزایش فعالیت‌های متابولیکی جنین و تقویت رشد اولیه گیاهچه، پاسخ جوانه‌زنی را بهبود داده است. بااین‌حال، از آنجا که محدودیت فیزیکی پوسته یکی از عوامل مهم خواب بذر شیرین‌بیان است، اثر اسید جیبرلیک ممکن است در مقایسه با تیمارهای خراش‌دهنده مانند اسید سولفوریک محدودتر باشد.

اثر تیمار نیترات پتاسیم بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نیترات پتاسیم بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین وزن تر گیاهچه با میانگین ۰/۸۷۹۸ گرم و بیشترین طول گیاهچه با میانگین ۴/۴۸ سانتی‌متر در تیمار نیترات پتاسیم ۰/۴ درصد مشاهده شد.

[1] Balouchi

[2] Cao
[3] Bani-Aameur & Sipple-Michmerhuizen
[4] Nasri
[5] Gurung

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای اسید جیبرلیک بر صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان

Table 4. Analysis of variance (mean squares) for the effect of gibberellic acid treatments on germination traits of licorice seeds.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares				
		وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	طول گیاهچه Seedling length	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
تیمار Treatment	9	0.130**	3.865**	1140.277**	51.892**	22215.944**
خطا Error	30	0.019	0.0271	32.916	1.412	524.391
درصد ضریب تغییرات CV (%)	-	12.095	4.960	10.928	12.524	12.694

ns نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد هستند.

** indicate significance at the 1% probability levels.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان در پاسخ به تیمارهای اسید جیبرلیک

Table 5. Mean comparison of licorice seed germination traits in response to gibberellic acid treatments.

تیمار Treatment	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (g)	طول گیاهچه Seedling length (cm)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed day^{-1})	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
شاهد Control	0.720 ^{c}	0.660 ^{d}	26.25 ^{e}	3.27 ^{e}	17.49 ^{e}
اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر - ۲۴ ساعت Gibberellic acid 50 mg L-1 - 24 h	1.107 ^{ab}	3.777 ^{a}	36.25 ^{de}	6.78 ^{d}	136.77 ^{d}
اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر - ۴۸ ساعت Gibberellic acid 50 mg L-1 - 48 h	1.182 ^{ab}	3.940 ^{a}	45.00 ^{cd}	8.15 ^{cd}	176.93 ^{cd}
اسید جیبرلیک ۵۰ میلی‌گرم در لیتر - ۷۲ ساعت Gibberellic acid 50 mg L-1 - 72 h	1.205 ^{ab}	3.552 ^{ab}	61.25 ^{ab}	11.00 ^{bc}	218.01 ^{bc}
اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر - ۲۴ ساعت Gibberellic acid 100 mg L-1 - 24 h	1.170 ^{ab}	3.590 ^{ab}	37.50 ^{de}	5.87 ^{de}	134.66 ^{d}
اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر - ۴۸ ساعت Gibberellic acid 100 mg L-1 - 48 h	1.082 ^{ab}	3.925 ^{a}	55.00 ^{bc}	10.54 ^{bc}	215.43 ^{bc}
اسید جیبرلیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر - ۷۲ ساعت Gibberellic acid 100 mg L-1 - 72 h	1.235 ^{ab}	3.947 ^{a}	73.75 ^{a}	13.12 ^{ab}	291.75 ^{a}
اسید جیبرلیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر - ۲۴ ساعت Gibberellic acid 200 mg L-1 - 24 h	1.375 ^{a}	3.552 ^{ab}	46.25 ^{cd}	8.52 ^{cd}	163.99 ^{cd}
اسید جیبرلیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر - ۴۸ ساعت Gibberellic acid 200 mg L-1 - 48 h	1.310 ^{ab}	3.050 ^{c}	70.00 ^{a}	13.12 ^{ab}	213.21 ^{bc}
اسید جیبرلیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر - ۷۲ ساعت Gibberellic acid 200 mg L-1 - 72 h	1.030 ^{bc}	3.200 ^{bc}	73.75 ^{a}	14.50 ^{a}	235.66 ^{b}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون توکی ندارند.

Means with at least a same letter within a column are not significantly different at the 5% probability level based on HSD test.

با این‌حال، سه غلظت ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد از نظر صفت وزن تر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند، درحالی‌که وزن تر گیاهچه در هر سه تیمار نیترات پتاسیم به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود (شکل ۱). بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب با مقادیر ۹۸/۷۵ درصد و ۱۷/۵۶ بذر در روز در تیمار نیترات پتاسیم ۰/۶ درصد ثبت شد؛ هرچند درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین شاخص بنیه گیاهچه با مقدار ۴۳۷/۰۶ در تیمار نیترات پتاسیم ۰/۴ درصد به دست آمد، درحالی‌که کمترین میانگین عددی زمان جوانه‌زنی، معادل ۱/۲۷ روز، در تیمار نیترات پتاسیم ۰/۶ درصد مشاهده شد. شاهد در بیشتر صفات، از جمله وزن تر و طول گیاهچه، درصد و سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه گیاهچه، کمترین مقادیر را نشان داد (شکل ۱).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

نمک‌های معدنی مانند KNO_3، $CaCl_2$ و KH_2PO_4 موجب افزایش نیتروژن و سایر عناصر غذایی مورد نیاز برای سنتز پروتئین در طی جوانه‌زنی بذر می‌شوند (فرت[1] و همکاران، ۱۹۹۱). نیترات پتاسیم یکی از رایج‌ترین مواد مورد استفاده در پرایمینگ بذر برای بهبود جوانه‌زنی است؛ زیرا نمکی یونی متشکل از یون‌های پتاسیم (K^+) و نیترات (NO_2^-) است. این ترکیب یک نیترات فلز قلیایی و یکی از عناصر غذایی ضروری گیاه محسوب می‌شود. نیتروژن یکی از اجزای تشکیل‌دهنده بسیاری از مولکول‌های زیستی در سلول‌های گیاهی است و به بذرها در سنتز پروتئین کمک می‌کند؛ بنابراین، بر کیفیت بذر تأثیر می‌گذارد (ونس[2]، ۲۰۰۱). همچنین، یون K^+ در سیتوپلاسم و واکوئل حل می‌شود و در حفظ پتانسیل اسمزی نقش دارد. پتاسیم در تحریک فعالیت بیش از ۴۰ نوع آنزیم، به‌ویژه آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز و تنفس و همچنین آنزیم‌های مورد استفاده در سنتز نشاسته و پروتئین، نقش دارد. این فرایندها به حفظ استحکام سلول‌های گیاهی کمک می‌کنند (هیرش[3] و همکاران، ۱۹۹۸؛ آنشوتس[4] و همکاران، ۲۰۰۱؛ کافکافی[5] و همکاران، ۲۰۰۲؛ وانگ[6] و همکاران، ۲۰۱۳).

در گزارش‌های پیشین نشان داده شده است که پرایمینگ بذر با نیترات پتاسیم از طریق کاهش زمان جوانه‌زنی و تأثیر بر بنیه گیاهچه و یکنواختی جوانه‌زنی، درصد نهایی جوانه‌زنی بذر را در گونه‌های مختلف گیاهی تحت تأثیر قرار می‌دهد (بوش[7] و همکاران، ۲۰۰۰؛ ماداکادزه[8] و همکاران، ۱۹۹۳؛ بلک و بولی[9]، ۲۰۰۰؛ عبدالباقی[10] و همکاران، ۲۰۱۸؛ علی و همکاران، ۲۰۲۰؛ بیان[11] و همکاران، ۲۰۱۳). به‌طور مشابه، در مطالعه‌ای روی بذرهای ریحان نیز تفاوت‌هایی در عملکرد جوانه‌زنی میان غلظت‌های مختلف نیترات پتاسیم مشاهده شد (تانگتیپ[12] و همکاران، ۲۰۲۲). نتایج نیترات پتاسیم نشان داد که اگرچه غلظت‌های مختلف آن تفاوت معنی‌داری در درصد نهایی جوانه‌زنی ایجاد نکردند، این تیمارها در برخی صفات مرتبط با رشد اولیه گیاهچه و شاخص‌های جوانه‌زنی پاسخ‌های متفاوتی ایجاد کردند. این تفاوت‌ها می‌تواند به نقش نیترات به‌عنوان یک سیگنال محیطی در تنظیم فرآیندهای مرتبط با جوانه‌زنی مرتبط باشد (پیری[13] و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، اثر نیترات پتاسیم در این پژوهش را نمی‌توان صرفاً بر اساس افزایش یا کاهش غلظت آن تفسیر کرد، بلکه پاسخ بذر به شرایط تیمار و ویژگی‌های فیزیولوژیک آن باید مورد توجه قرار گیرد. نتایج نیترات پتاسیم با گزارش رفیع‌الحسینی و همکاران (۲۰۱۵)، مبنی بر نبود تأثیر معنی‌دار این ترکیب بر شکست خواب شیرین‌بیان، متفاوت بود (رفیعی‌الحسینی و همکاران، ۲۰۱۵). این ناهمسویی احتمالاً به تفاوت در غلظت، مدت تیمار، وضعیت فیزیولوژیک و منشأ بذر مربوط است. اثر نیترات پتاسیم بر جوانه‌زنی را نمی‌توان صرفاً به تأمین عناصر غذایی نیتروژن و پتاسیم نسبت داد. نیترات علاوه بر نقش تغذیه‌ای، به‌عنوان یک سیگنال محیطی مهم در تنظیم فرآیند جوانه‌زنی و خروج بذر از حالت خواب شناخته شده است. از سویی دیگر، مطالعات البوریسی[14] و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که پاسخ گیاه به نیترات تنها ناشی از نقش آن به‌عنوان منبع نیتروژن نیست، بلکه نیترات می‌تواند از طریق مسیرهای سیگنال‌دهی اختصاصی، بیان ژن‌های مرتبط با پاسخ به نیتروژن و فرآیندهای رشدی را تنظیم کند. بنابراین، در پژوهش حاضر، افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی در تیمارهای نیترات پتاسیم احتمالاً بیشتر ناشی از نقش تنظیمی نیترات در فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با جوانه‌زنی بوده است تا صرفاً تأمین نیتروژن برای رشد اولیه گیاهچه نیترات می‌تواند با تأثیر بر شبکه تنظیم هورمونی، به‌ویژه تعامل بین مسیرهای مرتبط با اسید آبسزیک (ABA) و اسید جیبرلیک، شرایط مناسب‌تری برای آغاز جوانه‌زنی فراهم کند. همچنین اثر نیترات به شرایط محیطی و شدت

[1] Frett
[2] Vance
[3] Hirsch
[4] Anschutz
[5] Kafkafi
[6] Wang
[7] Bush
[8] Madakadze
[9] Black and Bawley
[10] Abdel-Baki
[11] Bian
[12] Thongtip
[13] Piri
[14] Alboresi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای نیترات پتاسیم بر صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان

Table 6. Analysis of variance (mean squares) for the effect of potassium nitrate treatments on germination traits of licorice seeds.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares					
		وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	طول گیاهچه Seedling length	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination speed	شاخص بنیه گیاهچه Seed vigor index	میانگین زمان جوانه زنی Mean germination time
تیمار Treatment	3	0.02015**	10.509**	5137.5**	187.729**	130551.583**	0.32002**
خطا Error	12	0.00210	0.02914	15.625	0.52791	527.725	0.04009
درصد ضریب تغییرات CV (%)	-	5.587	5.787	4.941	5.375	8.293	13.15

ns نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد هستند.

** indicate significance at the 1% probability levels.

خواب وابسته است و در تعامل با نور، دما و وضعیت هورمونی بذر ظاهر می‌شود (دورمایر و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، پاسخ مثبت مشاهده‌شده نشان می‌دهد که نیترات پتاسیم در شرایط این آزمایش توانسته است به‌عنوان محرک جوانه‌زنی عمل کند.

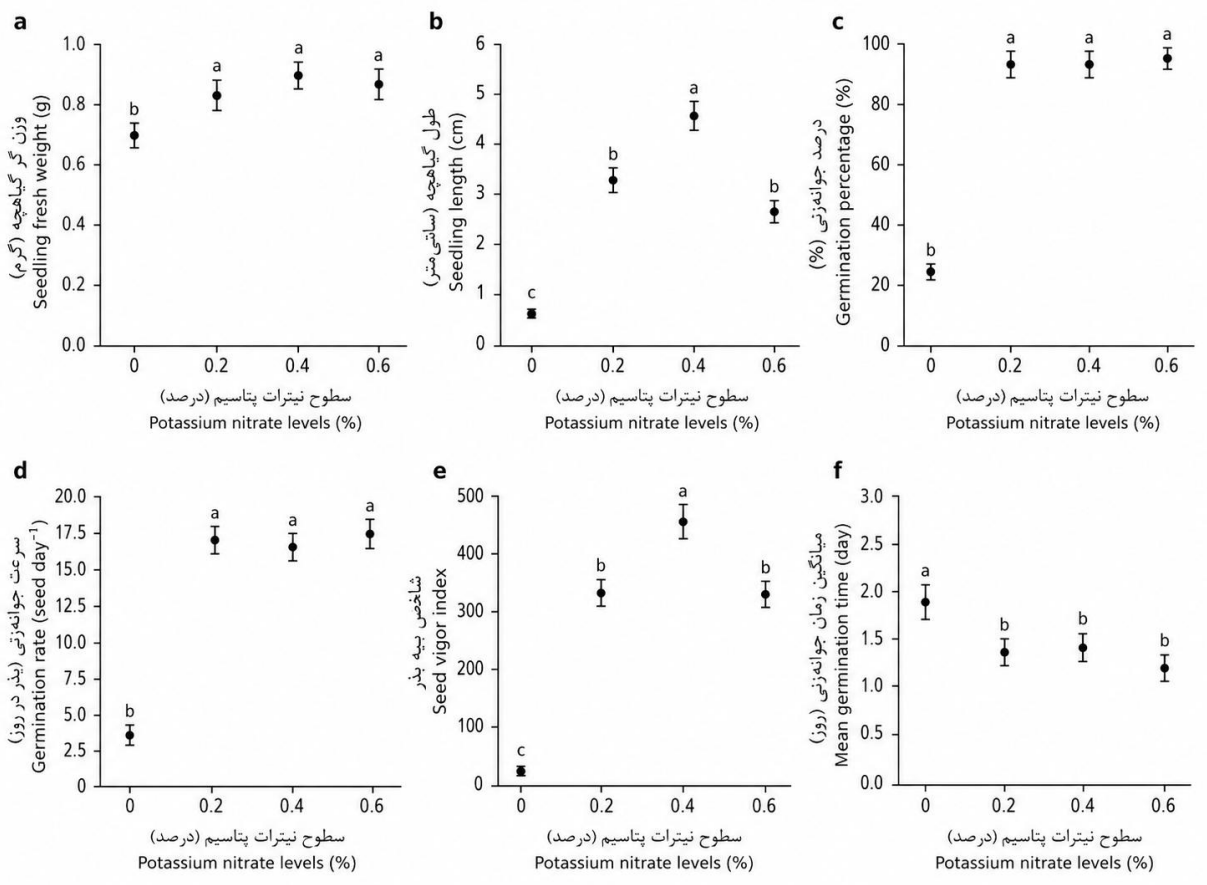
اثر کیفیت نور بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کیفیت نور بر تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین وزن تر و طول گیاهچه به‌ترتیب با مقادیر ۱/۱۹۲ گرم و ۵/۰۱۲ سانتی‌متر در شرایط تاریکی مشاهده شد؛ درحالی‌که نور قرمز دور کمترین وزن تر و نور آبی کمترین طول گیاهچه را ایجاد کرد (شکل ۲). بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب با مقادیر ۴۷/۵ درصد و ۵/۴۴ بذر در روز تحت نور آبی به دست آمد. بااین‌حال، درصد جوانه‌زنی در تیمارهای نور قرمز، نور قرمز دور و تاریکی از نظر آماری با نور آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین درصد جوانه‌زنی، معادل ۳۱/۲۵ درصد، در ترکیب ۷۰ درصد نور قرمز و ۳۰ درصد نور آبی مشاهده شد. بیشترین شاخص بنیه گیاهچه با مقدار ۱۹۲/۶۵ و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی با مقدار ۲/۱۸۴ روز در شرایط تاریکی ثبت شد؛ در مقابل، نور سفید با میانگین ۳/۳۴ روز بیشترین زمان جوانه‌زنی را داشت (شکل ۲).

نور یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر رشد و نمو گیاه و عملکرد محصول است، به‌ویژه در کارخانه‌های گیاهی و سامانه‌های کشت در فضای بسته. برای به حداکثر رساندن تولید زیست‌توده، کنترل مقدار بهینه نور، شامل شدت و مدت تابش، و کیفیت نور، شامل ترکیب طول موج‌ها، برای افزایش کمیت و کیفیت محصولات گیاهی ضروری است. کنترل رشد و صفات کیفی گیاهچه، مانند طول هیپوکوتیل، طول ریشه و قطر ساقه، برای افزایش موفقیت تولید گیاه در شرایط محیطی دست‌کاری‌شده اهمیت زیادی دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). بااین‌حال، تأثیر طیف‌های نوری بر جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاه در سامانه‌های کارخانه‌های گیاهی با نور مصنوعی به‌ندرت گزارش شده است.

در مطالعه تانگتیپ و همکاران (۲۰۲۲)، بهبود جوانه‌زنی بذر و کیفیت گیاهچه‌های ریحان تحت نورهای تک‌رنگ گزارش شد. نتایج این پژوهش نشان داد که نور سبز تک‌رنگ، در مقایسه با سایر تیمارهای نوری، میانگین زمان جوانه‌زنی را کاهش داد (تانگتیپ و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهش حاضر، نور آبی بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد، درحالی‌که در شرایط تاریکی طول گیاهچه، وزن تر و مقدار عددی شاخص بنیه بیشتر بود.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]



شکل ۱. میانگین اثر سطوح مختلف نیترات پتاسیم بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 1. Mean effect of different levels of potassium nitrate on germination characteristics of licorice seeds. Means followed by at least one common letter are not significantly different according to Tukey's test at the 5% probability level.

جدول ۷. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کیفیت نور بر صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان

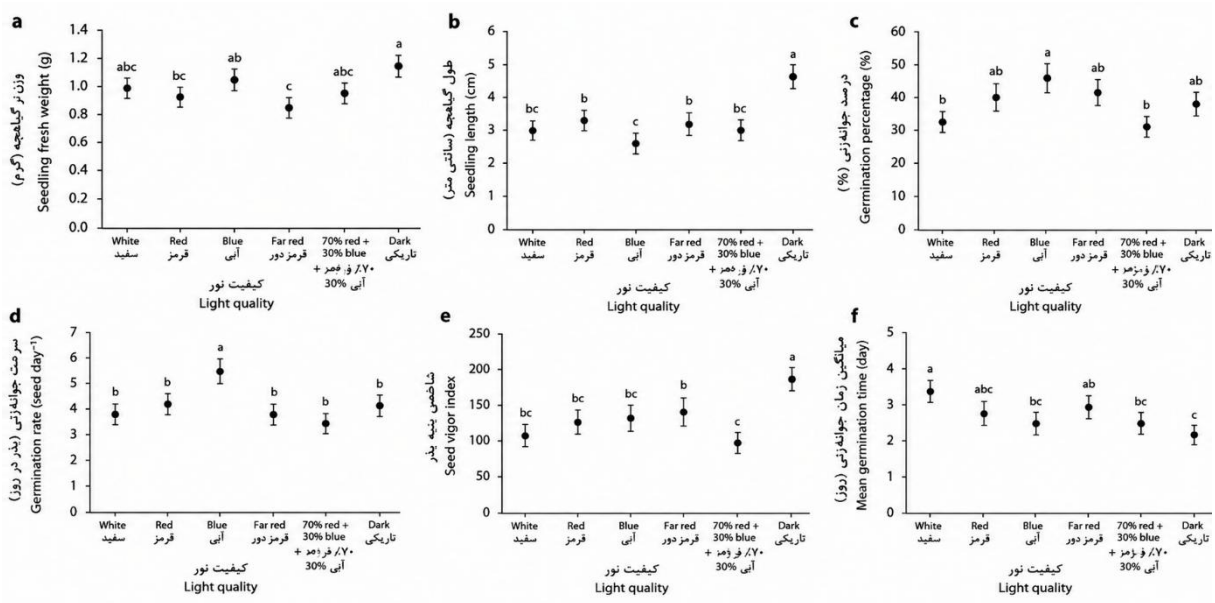
Table 7. Analysis of variance (mean squares) for the effect of light quality on germination traits of licorice seeds.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	Mean squares میانگین مربعات					
		وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	طول گیاهچه Seedling length	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time
تیمار Treatment	5	0.0322**	2.571**	148.54**	1.934**	4864.766**	0.69449**
خطا Error	18	0.00615	0.03411	32.29	0.16192	351.441	0.09313
درصد ضریب تغییرات CV (%)	-	7.456	5.384	14.74	9.674	14.221	11.33

ns نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد هستند.

** indicate significance at the 1% probability levels.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]



شکل ۲. میانگین اثر کیفیت نور بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 2. Average effect of light quality on germination characteristics of licorice seeds. Means followed by at least one common letter are not significantly different according to Tukey's test at the 5% probability level.

با این‌حال، افزایش طول گیاهچه در تاریکی احتمالاً تا حدی ناشی از رشد تاریکی و طویل‌شدن هیپوکوتیل است و بنابراین نباید به‌تنهایی به‌عنوان شاخص افزایش کیفیت فیزیولوژیک گیاهچه تفسیر شود. از آنجا که شاخص بنیه در این پژوهش از حاصل‌ضرب طول گیاهچه در درصد جوانه‌زنی محاسبه شد، افزایش طول در شرایط تاریکی می‌تواند موجب افزایش عددی این شاخص شده باشد. اثر نور آبی احتمالاً با فعالیت گیرنده‌هایی مانند کریپتوکروم‌ها و فتوتروپین‌ها و تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با جوانه‌زنی و تعادل هورمونی ارتباط دارد (چن و یان، ۲۰۲۰؛ وی و همکاران، ۲۰۲۳). گیاهچه بلندتر در تاریکی الزاماً از نظر فتوسنتز و استقرار پس از انتقال به نور کیفیت بیشتری ندارد. این نتایج نشان می‌دهد که بذر شیرین‌بیان به کیفیت نور حساس است و هر طیف می‌تواند جنبه متفاوتی از جوانه‌زنی و رشد را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که نور قرمز، آبی و قرمز دور بسته به گونه و وضعیت فیزیولوژیک بذر، پاسخ‌های متفاوتی ایجاد می‌کنند و اثر نور اغلب از طریق مسیرهای مشترک هورمونی و پیام‌رسانی اعمال می‌شود (چن و یان، ۲۰۲۰؛ وی[1] و همکاران، ۲۰۲۳).

اثر شرایط دمایی جوانه‌زنی و پیش‌تیمار آب جوش بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شرایط دمایی جوانه‌زنی و پیش‌تیمار آب جوش بر وزن تر گیاهچه معنی‌دار نبود، اما بر طول گیاهچه، درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه و میانگین زمان جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۸). با وجود نبود اختلاف معنی‌دار در وزن تر، بیشترین مقدار عددی این صفت، معادل ۰/۷۸۲گرم، در شرایط ۴ درجه سلسیوس و تیمار آب جوش مشاهده شد. بیشترین طول گیاهچه و بیشترین مقدار عددی شاخص بنیه گیاهچه به‌ترتیب با مقادیر ۴/۳۸ سانتی‌متر و ۱۴۷/۲۸ در بذرهایی ثبت شد که از آغاز تا پایان آزمون در دمای ۱۱ درجه سلسیوس نگهداری شدند؛ بااین‌حال، شاخص بنیه این شرایط با تیمار آب جوش تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳). پیش‌تیمار آب جوش ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت پنج دقیقه و سپس انتقال بذرها به دمای ۲۵ درجه سلسیوس، با ۴۳/۷۵ درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی ۳/۹۱ بذر در روز، بیشترین مقادیر این دو صفت را ایجاد کرد. کمترین سرعت جوانه‌زنی، معادل ۱/۲۱ بذر در روز، در شرایط پیوسته ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. شاهد

[1] Wei

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

که در تمام دوره در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داشت، کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی را نشان داد. در میان سه شرایط غیرشاهد، تیمار آب جوش با میانگین ۲/۷۷ روز نسبت به نگهداری پیوسته در دماهای ۴ و ۱۱ درجه سلسیوس با میانگین زمان جوانه‌زنی کمتری همراه بود، درحالی‌که بیشترین مقدار این صفت، معادل ۴/۱۶۵۳ روز، در دمای ۴ درجه سلسیوس ثبت شد. در مجموع، پیش-تیمار کوتاه‌مدت آب جوش و سپس جوانه‌زنی در ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد، درحالی‌که نگهداری پیوسته در ۱۱ درجه سلسیوس بیشترین رشد طولی گیاهچه و بیشترین مقدار عددی شاخص بنیه را نشان داد (شکل ۳).

بر اساس نظریاتی که مورد قبول بسیاری از متخصصان بذر است، سرما یا گرما باعث کاهش محتوای اسید آبسیزیک یا افزایش محتوای اسید جیبرلیک شده و یا هردو تغییر به طور همزمان انجام می‌گیرد و یا تعادلی از دو هورمون، خواب بذر را پایان می‌دهد. از طرفی در بسیاری از گیاهان نوع خواب درونی مورفوفیزیولوژیک است که با نسبت نامناسب هورمون‌های تحریک کننده و بازدارنده جوانه‌زنی بذر و وجود جنین نارس در ارتباط است. معمولاً این نوع خواب به کمک دما به طور عمده‌ای برطرف می‌شود (ویلیرز[1] ۱۹۷۵). از سوی دیگر، نشان داده شده است که تیمار با آب گرم می‌تواند خواب بذر را در بسیاری از گونه‌های گیاهی کاهش دهد (سنگ و چئونگ[2]، ۲۰۲۰؛ کاوالارو[3] و همکاران، ۲۰۲۱). پیش‌تیمار آب جوش بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد که احتمالاً با تضعیف پوسته سخت و افزایش نفوذ آب مرتبط بود. اثر مثبت آب داغ بر جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان و سایر گونه‌های سخت‌پوسته نیز گزارش شده است (بویل[4] و همکاران، ۲۰۰۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ رفیع‌الحسینی و همکاران، ۲۰۱۵؛ الحدی و همکاران، ۲۰۲۴). این نتیجه همچنین با گزارش شیدای کرکج[5] و همکاران (۲۰۲۱) که نشان دادند پیش تیمار آب جوش به میزان قابل قبولی و معنی داری سبب افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و شکست خواب بذر در شیرین بیان شده است همسو می‌باشد، و از این رو تیمار مناسب جهت استفاده در جوانه‌زنی بذرهای شیرین بیان معرفی می‌گردد (شیدای کرکج و همکاران ۲۰۲۱). در مقابل، نگهداری پیوسته بذرها در دمای ۱۱ درجه سلسیوس بیشترین طول گیاهچه و بیشترین مقدار عددی شاخص بنیه را ایجاد کرد؛ هرچند شاخص بنیه آن با پیش‌تیمار آب جوش تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین، دمای ۴ درجه سلسیوس سرعت جوانه‌زنی را کاهش و میانگین زمان جوانه‌زنی را افزایش داد که با کاهش فعالیت آنزیم‌ها، تنفس و رشد جنین در دمای پایین سازگار است (خائم و همکاران، ۲۰۲۲).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر کارایی تیمارهای اسید سولفوریک، اسید جیبرلیک، نیترات پتاسیم، کیفیت نور، شرایط دمایی طی دوره جوانه‌زنی و همچنین پیش‌تیمار حرارتی آب جوش را در پنج آزمایش مستقل بر جوانه‌زنی، بنیه گیاهچه و رشد اولیه گیاهچه شیرین‌بیان ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که پاسخ بذر به نوع تیمار و صفت مورد بررسی وابسته بود و تیماری که درصد یا سرعت جوانه‌زنی بیشتری ایجاد کرد، لزوماً بیشترین رشد و بنیه گیاهچه را به همراه نداشت. در آزمایش اسید سولفوریک، غلظت ۹۸ درصد به‌مدت ۳۰ دقیقه با ایجاد ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی و بیشترین سرعت جوانه‌زنی، مناسب‌ترین تیمار برای تحریک سریع و یکنواخت جوانه‌زنی بود؛ درحالی‌که افزایش مدت تیمار به ۶۰ دقیقه بیشترین طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه را ایجاد کرد. در آزمایش اسید جیبرلیک، ترکیب ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت بیشترین سرعت جوانه‌زنی و ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌مدت ۷۲ ساعت بیشترین شاخص بنیه را داشت در آزمایش نیترات پتاسیم، غلظت ۰/۶ درصد برای افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی و غلظت ۰/۴ درصد برای افزایش طول و شاخص بنیه گیاهچه مناسب‌تر بود. در آزمایش کیفیت نور، نور آبی بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد کرد، درحالی‌که در شرایط تاریکی طول و وزن تر گیاهچه و مقدار عددی شاخص بنیه بیشتر بود. با توجه به احتمال وقوع رشد در تاریکی، افزایش طول و شاخص بنیه در این شرایط نباید الزاماً به‌عنوان بهبود کیفیت

[1] Villiers
[2] Seng and Cheong
[3] Cavallaro
[4] Boyle & Hladun
[5] Sheidai Karkaj

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

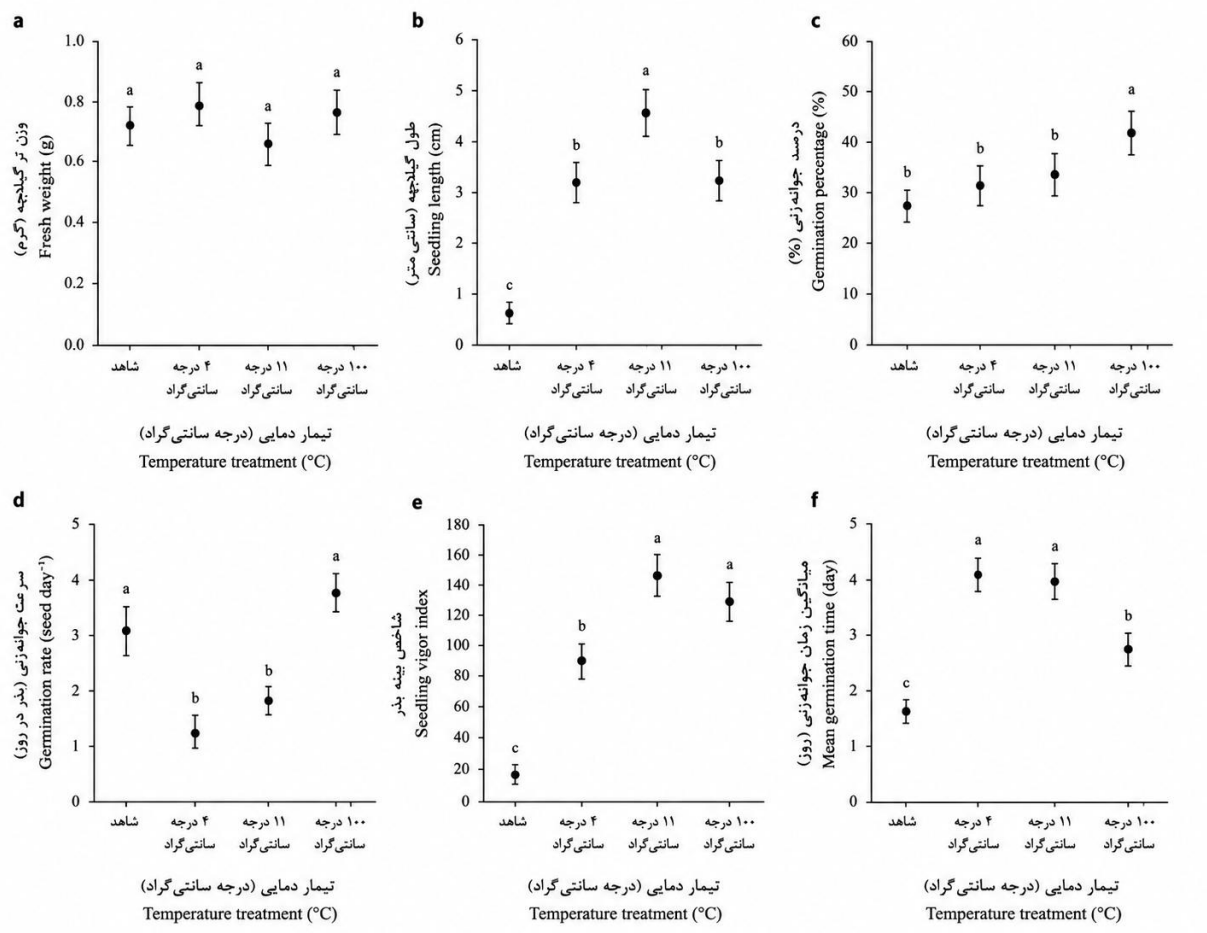
جدول ۸. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم‌های دمایی بر صفات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان

Table 8. Analysis of variance (mean squares) for effect of temperature regimes on licorice seed germination traits

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.F.	میانگین مربعات Mean squares					
		وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	طول گیاهچه Seedling length	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean germination time
تیمار Treatment	3	0.01084^{ns}	9.554**	216.66**	6.02**	13405.734**	5.339**
خطا Error	12	0.005	0.026	18.75	0.169	170.364	0.139
درصد ضریب تغییرات CV (%)	-	9.732	5.898	12.83	15.924	13.369	11.872

ns و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد هستند.

ns and ** indicate non-significance and significance at the 1% probability levels, respectively.



شکل ۳. میانگین اثر رژیم‌های دمایی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر شیرین‌بیان. میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Fig 3. Average effect of temperature regimes on licorice seed germination characteristics. Means followed by at least one common letter are not significantly different according to Tukey's test at the 5% probability level.

فیزیولوژیک گیاهچه تفسیر شود. در مقایسه با شرایط دمایی پیوسته، پیش‌تیمار آب جوش ۱۰۰ درجه سلسیوس به‌مدت پنج دقیقه و سپس انتقال به دمای ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را ایجاد

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

کرد. نگهداری پیوسته در دمای ۱۱ درجه سلسیوس بیشترین طول و بیشترین مقدار عددی شاخص بنیه را نشان داد، هرچند شاخص بنیه آن با پیش‌تیمار آب جوش تفاوت معنی‌داری نداشت. این یافته‌ها می‌تواند مبنایی برای انتخاب تیمار متناسب با هدف تولید و طراحی آزمایش‌های تکمیلی در شرایط کنترل‌شده و گلخانه‌ای باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش صرفاً بر بذر و گیاهچه انجام شد و شامل آزمودنی انسانی یا حیوانی نبود؛ بنابراین، دریافت کد اخلاق انسانی یا حیوانی موضوعیت نداشت.

نویسندگان اصول اخلاق پژوهش و درستکاری علمی را در انجام و انتشار این پژوهش رعایت کرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌پردازی و طراحی پژوهش: زینب رستمی و مرتضی ابراهیمی؛ روش‌شناسی: زینب رستمی و مرتضی ابراهیمی؛ تحلیل رسمی و مدیریت داده‌ها: زینب رستمی؛ اجرای پژوهش: مرتضی ابراهیمی؛ نگارش پیش‌نویس اولیه: زینب رستمی؛ بازبینی و ویرایش: زینب رستمی، مرتضی ابراهیمی و مهرآنا کوهی؛ نظارت: مهرآنا کوهی و مرتضی ابراهیمی؛ مدیریت پروژه: مرتضی ابراهیمی. همه نویسندگان نسخه نهایی مقاله را خوانده و تأیید کرده‌اند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه اصفهان انجام شد.

سپاسگزاری

از ریاست محترم پژوهشکده بیوتکنولوژی متابولیت‌های ثانویه اصفهان به خاطر حمایت مالی و معنوی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

References

Abdel-Baki, G. K., Shaddad, M. A. K., Mostafa, D., & Rafat, A. S. (2018). The effect of seed presoaking with KNO_3 on seed germination, proline, protein pattern, ß-amylase and mineral composition of two faba bean cultivars treated with NaCl. *Egyptian Journal of Botany*, *58*(3), 445-461. https://doi.org/10.21608/ejbo.2018

Abraham, J., & Florentine, S. (2021). Licorice (*Glycyrrhiza glabra*) extracts-suitable pharmacological interventions for COVID-19? A review. *Plants*, *10*(12), 2600. https://doi.org/10.3390/plants10122600

Afsharzadeh, N., Paltram, R., Jungwirth, A., Tabrizi, L., Nazeri, V., Kalantari, H., Halbwirth, H., Samiei, L., Sheehan, H., & Shokrpour, M. (2025). Advancing *Glycyrrhiza glabra* L. cultivation

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

and hairy root transformation and elicitation for future metabolite overexpression. *Horticulturae*, *11*(1), 62. https://doi.org/10.3390/horticulturae11010062

Albert, D., Nanaiah, K., & Sheshshayee, M. S. (2023). A Novel Automated Method for Screening Rice Genotypes for Root Growth Rate using ImageJ Software. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, *57*(4), 89-97. https://doi.org/10.23736/S1824-4777.23.01594-2

Alboresi, A., Gestin, C., Leydecker, M.T., Bedu, M., Meyer, C. & Truong, H.N. (2005). Nitrate, a signal relieving seed dormancy in Arabidopsis. *Plant, Cell & Environment*, *28*(4), 500–512. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01292.x

Al-Hadedy, S. H. A., Basheer, S. A., Idrees, M. S., & Al-Taee, K. A. Y. (2024). Sulfuric acid and hot water treatment effects on the seed germination and growth traits of Sesbania punicea L. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, *56*(1), 444-452. https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.40

Ali, F., Qanmber, G., Li, F., & Wang, Z. (2022). Updated role of ABA in seed maturation, dormancy, and germination. *Journal of Advanced Research*, *35*, 199-214. https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.03.011

Anschütz, U., Becker, D., & Shabala, S. (2014). Going beyond nutrition: regulation of potassium homoeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal of Plant Physiology*, *171*(9), 670-687. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.01.009

Balouchi, H. R., & Modarres Sanavy, S. A. M. (2006). Effect of gibberellic acid, prechilling, sulfuric acid and potassium nitrate on seed germination and dormancy of annual medics. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *9*(15), 2875–2880. https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.2875.2880

Balouchi, H. R., Modarres Sanavy, S. A. M., & Alizadeh, B. (2008). Factors affecting dormancy and germination of two annual medic species. *Iranian Journal of Biology*, *21*(2), 261–270. [In Persian]

Bani-Aameur, F., & Sipple-Michmerhuizen, J. (2001). Germination and seedling survival of Argan (*Argania spinosa*) under experimental saline conditions. *Journal of Arid Environments*, *49*(3), 533–540. https://doi.org/10.1006/jare.2001.0804

Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, *14*(1), 1-16. https://doi.org/10.1079/SSR2003150

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4

Bian, L., Yang, L., Wang, J. A., & Shen, H. L. (2013). Effects of KNO_3 pretreatment and temperature on seed germination of *Sorbus pohuashanensis*. *Journal of Forestry Research*, *24*(2), 309-316. https://doi.org/10.1007/s11676-013-0354-9

Black, M. & Bawley, J. D. (2000). Seed priming. Seed technology and its biological basis. *Sheffield Academic Press*, *Sheffield*, 287-325.

Boyle, T. H., & Hladun, K. (2005). Influence of seed size, testa color, scarification method, and immersion in cool or hot water on germination of *Baptisia australis* (L.) R. Br. seeds. *Hortscience*, 40(6), 1846-1849. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.6.1846

Bush, E. W., Wilson, P., Shepard, D. P., & McClure, G. (2000). Enhancement of seed germination in common carpetgrass and centipedegrass seed. *HortScience*, *35*(4), 769-770. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.4.769

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

Cao, K., Mu, Y., Lu, S., & Zhao, Y. (2025). Regulatory mechanisms of exogenous Gibberellin on seed germination and transcriptomic responses in *lomatogonium rotatum*. *Genes*, *16*(8), 878. https://doi.org/10.3390/genes16080878

Cavallaro, V., Maucieri, C., Patanè, C., Fascella, G., Pellegrino, A., & Barbera, A. C. (2021). Polyphenols leaching and seed dormancy in carob (*Ceratonia siliqua* L.) in relation to hot water treatment. *Acta Physiologiae Plantarum*, *43*(11), 141. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03308-z

Devlin, P. F., Christie, J. M., & Terry, M. J. (2007). Many hands make light work. *Journal of Experimental Botany*, *58*(12), 3071-3077. https://doi.org/10.1093/jxb/erm251

Duermeyer, L., Khodapanahi, E., Yan, D., Krapp, A., Rothstein, S. J., & Nambara, E. (2018). Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. *Seed Science Research*, *28*(3), 150-157. https://doi.org/10.1017/s096025851800020x

Fankhauser, C., & Chory, J. (1997). Light control of plant development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, *13*(1), 203-229. https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.13.1.203

Frett, J. J., Pill, W. G., & Morneau, D. C. (1991). A comparison of priming agents for tomato and asparagus seeds. *HortScience*, *26*(9):1158-1159. https://doi.10.21273/HORTSCI.26.9.1158

Ghadiri, H., & Bagherani Torshiz, N. (2000). Effects of scarification and temperature on germination of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) seeds. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *2*(4), 257-262. [In Persian]

Gurung, N., Swamy, G. S. K., Sarkar, S. K., & Ubale, N. B. (2014). Effect of chemicals and growth regulators on germination, vigour and growth of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.). *The Bioscan*, *9*(1), 155-157.

Haj Sghaier, A., Tarnawa, Á., Khaeim, H., Kovács, G. P., Gyuricza, C., & Kende, Z. (2022). The effects of temperature and water on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plants*, *11*(21), 2819. https://doi.org/10.3390/plants11212819

Han, Y., Hou, Z., Zhang, X., Yan, K., Liang, Z., & He, Q. (2022). Important changes in germination, seedling tolerance, and active components content due to drought stress on three licorice (Glycyrrhiza) species. *Industrial Crops and Products*, *175*, 114240. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114240

Harrison, R. J., Howieson, J. G., Yates, R. J., Norman, H. C., O'Hara, G. W., & Jaganathan, G. K. (2025). The impact of agricultural intensification on legume seeds with physical dormancy in sustainable farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *45*(6), 64. https://doi.org/10.1007/s13593-025-01058-7

Hayashi, H., Hiraoka, N., Ikeshiro, Y., & Yamamoto, H. (1996). Organ specific localization of flavonoids in *Glycyrrhiza glabra* L. *Plant Science*, *116*(2), 233-238. https://doi.org/10.1016/0168-9452(96)04387-7

He, J., Qin, L., Chong, E. L., Choong, T. W., & Lee, S. K. (2017). Plant growth and photosynthetic characteristics of Mesembryanthemum crystallinum grown aeroponically under different blue-and red-LEDs. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 361. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00361

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

Hirsch, R. E., Lewis, B. D., Spalding, E. P., & Sussman, M. R. (1998). A role for the AKT1 potassium channel in plant nutrition. *Science*, *280*(5365), 918-921. https://doi.org/10.1126/science.280.5365.918

Hosseini, M. S., Ebrahimi, M., Samsampour, D., Abadía, J., Khanahmadi, M., Amirian, R., & Gogorcena, Y. (2021). Association analysis and molecular tagging of phytochemicals in the endangered medicinal plant licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.). *Phytochemistry*, *183*, 112629. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112629

Kafkafi, U., Xu, G., Imas, P., Magen, H., Tarchitzky, J., & Johnston, J. (2002). Potassium and chloride in crops and soils: The role of potassium chloride fertilizer in crop nutrition (IPI Research Topics No. 22). International Potash Institute.

Kaya, M., Kaya, G., Kaya, M. D., Atak, M., Saglam, S., Khawar, K. M., & Ciftci, C. Y. (2008). Interaction between seed size and NaCl on germination and early seedling growth of some Turkish cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Zhejiang University Science*, *9*(5), 371-377. https://doi.org/10.1631/jzus.B0720268

Khaeim, H., Kende, Z., Balla, I., Gyuricza, C., Eser, A., & Tarnawa, Á. (2022). The effect of temperature and water stresses on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sustainability*, *14*(7), 3887. https://doi.org/10.3390/su14073887

Kozhuharova, A., Nikolova, M., Stoyanov, S., Yankova-Tsvetkova, E., Ilinkin, V., Berkov, S., & Stanilova, M. (2024). Establishment of an ex situ collection of *Glycyrrhiza glabra* L. as a prerequisite for field cultivation in Bulgaria. *Horticulturae*, *10*(1), 86. https://doi.org/10.3390/horticulturae10010086

Li, Y. J., Chen, J., Li, Y., Li, Q., Zheng, Y. F., Fu, Y., & Li, P. (2011). Screening and characterization of natural antioxidants in four *Glycyrrhiza* species by liquid chromatography coupled with electrospray ionization quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, *1218*(45), 8181-8191. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.09.030

Madakadze, R., Chirco, E. M., & Khan, A. A. (1993). Seed germination of three flower species following matriconditioning under various environments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *118*(3), 330-334. https://doi.org/10.21273/JASHS.118.3.330

Mao, P.-s., Wang, Y.-h., Wang, X.-g., Lian, J.-j., & Huang, Y. (2008). Conditions and stimulation for germination in *Glycyrrhiza uralensis* fisch seeds. *Agricultural Sciences in China*, *7*(12), 1438-1444. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60400-9

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), 498. https://doi.org/10.3390/agriculture10110498

Moein, N., & Amooaghaie, R. (2025). The interactive effects of seed scarification and different nitrogenous compounds on the germination and seedling growth of *Astragalus adscendens*. *Iranian Journal of Seed Research*, 12(2), 133-156. [In Persian] https://doi.org/10.66224/yujs.12.2.13

Nasri, F., Koshesh Saba, M., Ghaderi, N., Mozafari, A. A., & Javadi, T. (2014). Improving germination and dormancy breaking in *Alstroemeria ligtu* hybrid seeds. *Trakia Journal of Sciences*, *12*(1), 38–46.

Piri, R., Moradi, A. & Hosseini Moghaddam, M. (2018). Effect of accelerated aging and seed priming on germination and some biochemical indices of cumin (*Cuminum Cyminum* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, *5*(1), 69-81. [In Persian] https://doi.org/10.22124/jms.2018.2901

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

Rafieiolhossaini, M., Tadayon, M. R., & Mazhari, M. (2015). The effect of dormancy breaking treatments on seed germination of Licorice medicinal plant. *Journal of Crops Improvement*, *16*(4), 809-817. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jci.2015.53246

Rasiukevičiūtė, N., Brazaitytė, A., Valiuškaitė, A., Vaštakaitė-Kairienė, V., Bylaitė, A., Duchovskis, P. & Samuolienė, G. (2020). Effect of different light-emitting diodes wavelengths on the growth of grey mold. *Acta Horticulturae*, *1296*, 257-264. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1296.33

Seng, M., & Cheong, E. J. (2020). Comparative study of various pretreatment on seed germination of *Dalbergia cochinchinensis*. *Forest Science and Technology*, *16*(2), 68-74. https://doi.org/10.1080/21580103.2020.1758801

Sharifi-Rad, J., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Belén, L. H., Kaur, R., Kregiel, D., Uprety, Y., Beyatli, A., Yeskaliyeva, B., Kırkın, C., Özçelik, B., Sen, S., Acharya, K., Sharopov, F., Cruz-Martins, N., Kumar, M., Abdull Razis, A. F., Sunusi, U., Kamal, R. M., Shaheen, S., & Suleria, H. A. R. (2021). *Glycyrrhiza* genus: Enlightening phytochemical components for pharmacological and health-promoting abilities. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, *2021*, 7571132. https://doi.org/10.1155/2021/7571132

Sheidai Karkaj, E., Amani, M., Younessi-Hamzekhanlu, M., & Jahantab, E. (2021). Effect of different treatments on the braking seed dormancy and germination indices in medical species of *Glycyrrhiza glabra* L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *34*(4), 967-980. [In Persian]

Tapfumaneyi, L., Dube, P., Mavengahama, S., & Ngezimana, W. (2023). Effect of gibberellic acid and potassium nitrate seed treatments on the emergence and seedling vigor of Amaranth and *Cleome gynandra*. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, *6*, e20359. https://doi.org/10.1002/agg2.20359

Tehrani, P. F., Majd, A., Mahmoodzadeh, H., & Satari, T. N. (2016). Effect of red and blue light-emitting diodes on germination, morphological and anatomical features of *Brassica napus*. *Advanced Studies in Biology*, *8*(4), 173-180. https://doi.org/10.12988/asb.2016.6832

Thongtip, A., Mosaleeyanon, K., Korinsak, S., Toojinda, T., Darwell, C. T., Chutimanukul, P., & Chutimanukul, P. (2022). Promotion of seed germination and early plant growth by KNO_3 and light spectra in *Ocimum tenuiflorum* using a plant factory. *Scientific Reports*, *12*, 6995. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11001-5

Toora, P. K., Tuan, P. A., Nguyen, T. N., Badea, A., & Ayele, B. T. (2024). Modulation in the ratio of abscisic acid to gibberellin level determines genetic variation of seed dormancy in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, *301*, 154301. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2024.154301

Vance, C. P. (2001). Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*, *127*(2), 390-397. https://doi.org/10.1104/pp.010331

Villiers, T. A. (1975). Dormancy and the survival of plants, Edward Arnold publishers limited. Arnold, 71 p .

Wang, C., Chen, L., Xu, C., Shi, J., Chen, S., Tan, M., Chen, J., Zou, L., Chen, C., Liu, Z., & Liu, X. (2020). A comprehensive review for phytochemical, pharmacological, and biosynthesis studies

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]

on *Glycyrrhiza* spp. *The American Journal of Chinese Medicine*, *48*(1), 17-45. https://doi.org/10.1142/S0192415X20500020

Wang, Y. R., Hanson, J., & Mariam, Y. W. (2011). Breaking hard seed dormancy in diverse accessions of five wild Vigna species by hot water and mechanical scarification. *Seed Science and Technology*, *39*(1), 12-20. https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.1.02

Wang, Y., & Wu, W. H. (2013). Potassium transport and signaling in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, *64*, 451-476. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120153

Wei, Y., Wang, S., & Yu, D. (2023). The role of light quality in regulating early seedling development. *Plants*, *12*(14), 2746. https://doi.org/10.3390/plants12142746

Wen, Z., Lu, X., Wen, J., Wang, Z., & Chai, M. (2024). Physical seed dormancy in legumes: Molecular advances and perspectives. *Plants*, *13*(11), 1473. https://doi.org/10.3390/plants13111473

Yan, A., & Chen, Z. (2020). The control of seed dormancy and germination by temperature, light and nitrate. *The Botanical Review*, *86*, 39-75. https://doi.org/10.1007/s12229-020-09220-4

Yan, B., Hou, J., Li, W., Luo, L., Ye, M., Zhao, Z., & Wang, W. (2023). A review on the plant resources of important medicinal licorice. *Journal of Ethnopharmacology*, *301*, 115823. https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115823

Yang, R., Yuan, B. C., Ma, Y. S., Zhou, S., & Liu, Y. (2017). The anti-inflammatory activity of licorice, a widely used Chinese herb. *Pharmaceutical Biology*, *55*(1), 5-18. https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1225775

Zhang, S., Hu, J., Zhang, Y., Xie, X. J., & 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*(8), 811-815. https://doi.org/10.1071/AR06253

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-02]