Iranian Journal of Seed Research

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

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Interaction of Seed Priming, Sulfur, and Thiobacillus on Yield and Fatty Acid Profile of Sesame (*Sesamum indicum*) Seeds

Hasan Keshavarz [1], **Barmak Jafari Haghighi** [2] ✉, **Abdolreza Jafari** [3], **Hamidreza Miri** [3], and **Hamidreza Ebrahimi** [3]

1. Ph.D. student, Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. Email: hassan.keshavarz@iauc.ir
2. Corresponding author, Assistant professor, Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. Email: barmakjafarihaghighi@iauc.ir
3. Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran. Email: abdolreza.jafari@iauc.ir; hr.miri2000@iauc.ir; ha.ebrahimi@iauc.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 6 September 2025
Received in revised form 16 September 2025
Accepted 17 September 2025
Available online 20 September 2025

Keywords:
Elemental sulfur
Fatty acid composition
Seed priming
Sesame
Thiobacillus inoculation

ABSTRACT

Objective: This study was conducted to investigate the effect of seed priming, sulfur application, and a biofertilizer containing Thiobacillus on seed yield and the fatty acid composition of sesame. Due to the importance of sesame as a valuable oilseed crop, evaluating the combined role of nutritional and biological management in improving both quantitative and qualitative traits of the crop holds significant importance.

Method: A field experiment was conducted during the 2023–2024 growing season in Fasa County, Fars Province, Iran, as a factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications. Treatments included four seed priming methods (no prime, hydropriming, calcium chloride at 2.5% and 5%), four levels of sulfur application (0, 100, 200, and 300 kg ha^{-1}), and three levels of Thiobacillus inoculation (0, 2, and 4 kg ha^{-1}). Sesame cultivar 'Darab 2' was sown at a density of 40 plants m^{-2}. Thousand-seed weight, dry matter and seed yield were measured. Oil quality was evaluated through fatty acid methyl ester analysis using gas chromatography according to ISIRI and AOAC standards.

Results: Seed priming, sulfur application, and Thiobacillus biofertilization significantly affected all the studied traits. Both two-way and three-way interactions were significant at 1% and 5% levels. The highest plant dry weight (23,580 kg ha^{-1}) was observed in the treatment of hydro-priming combined with 300 kg ha^{-1} sulfur. Additionally, the highest thousand seed weight (5.33 g) and seed yield (2610 kg ha^{-1}) were recorded in the treatment of hydro-priming combined with 300 kg ha^{-1} sulfur and 4 kg ha^{-1} Thiobacillus. The highest oil percentage (52.2%) and protein content (25.10%) were obtained in the treatment of 5% calcium chloride priming combined with 300 kg ha^{-1} sulfur and 4 kg ha^{-1} Thiobacillus. The fatty acid analysis revealed that integrated treatments increased the content of unsaturated fatty acids (linoleic, oleic, alpha-linolenic) while decreasing saturated fatty acids (palmitic and stearic).

Conclusions: The integrated use of seed priming (especially 5% calcium chloride or hydropriming), high-dose sulfur, and Thiobacillus inoculation significantly improved sesame seed yield, and oil quality. These practices enhanced nutrient uptake, stimulated microbial activity, and promoted biosynthesis of health-beneficial fatty acids.

Cite this article: Keshavarz, H., Jafari Haghighi, B., Jafari, A., Miri, H., & Ebrahimi, H. (2025). Interaction of seed priming, sulfur, and Thiobacillus on yield and fatty acid profile of Sesame (*Sesamum indicum*) seeds. *Iranian Journal of Seed Research*, *12* (1), 157-174. http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.157

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.157

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

Highlights

- Seed priming, sulfur application, and Thiobacillus inoculation significantly increased sesame seed yield.
- Combined treatments improved seed oil quality by increasing unsaturated fatty acids and reducing saturated ones.

Introduction

Sesame is one of the most important oilseed crops in tropical and subtropical regions, valued for its drought tolerance and high nutritional content (Zargar et al., 2021). Improving its quantitative and qualitative traits is possible through nutritional management and optimized cultivation practices. Seed priming (Ahmad et al., 2024), sulfur application (Yadav et al., 2022), and biofertilizers (Md et al., 2023) are among the effective strategies to enhance sesame performance. This study aims to evaluate the impact of these treatments on growth traits, yield, and fatty acid composition of sesame seeds.

Method

The experiment was conducted in Fasa County, Fars Province, Iran. The soil had a loam texture, alkaline pH, and was non-saline. The climate was arid with minimal rainfall during the growing season. The sesame cultivar used was Darab 2, planted at a density of 40 plants per square meter using a furrow planting method. Irrigation was applied every seven days.

The factorial experimental was based on a randomized complete block design with three replications. Treatments included:

Seed priming: Control, water, 2.5% calcium chloride, 5% calcium chloride.

Sulfur application: 0, 100, 200, 300 kg ha^{-1}.

Thiobacillus biofertilizer: 0, 2, 4 kg ha^{-1}.

Results

The combined treatments significantly affected all measured traits.

Thousand-Seed Weight: The maximum weight (5.33g) was recorded in the triple combination treatment.

Seed Yield: The highest yield was recorded in the treatment combining hydro-priming, 300 kg ha^{-1} sulfur, and 4 kg ha^{-1} Thiobacillus, showing nearly a threefold increase compared to the control.

Dry Biomass: The highest dry weight (23,580 kg ha^{-1}) was observed in the combining hydro-priming, and 300 kg ha^{-1} sulfur treatment.

Oil Content: The highest oil percentage (52.2%) was observed in the 5% calcium chloride pretreatment combining by 300 kg ha^{-1} sulfur, and 4 kg ha^{-1} Thiobacillus, while the control had the lowest (45.5%).

Protein Percentage: The triple combination treatment resulted in the highest protein content, with an increase of over 45% compared to the control.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

Fatty Acid Composition: Treatments increased unsaturated fatty acids (oleic, linoleic) and reduced saturated fatty acids (palmitic), improving the nutritional value of sesame oil.

The results demonstrated that simultaneous use of seed priming, sulfur, and Thiobacillus had synergistic effects on sesame's quantitative and qualitative traits. Enhanced nutrient uptake, enzymatic activity, and protein synthesis contributed to improved performance. These findings are consistent with previous studies and highlight the potential of integrated nutrient management in sesame cultivation.

Conclusions

The combination of seed priming by water or calcium chloride, sulfur application, and Thiobacillus inoculation significantly improved sesame seed yield and quality. These approaches are recommended as effective nutritional management strategies for sesame cultivation in arid and semi-arid regions.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request. These datasets were generated and/or analyzed during the current study and are not publicly archived due to institutional restrictions or privacy considerations.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to their academic supervisors for their invaluable guidance, insightful feedback, and continuous support throughout the course of this research. Special thanks are extended to the anonymous reviewers for their constructive comments and valuable suggestions that greatly improved the quality of the manuscript. The authors also wish to acknowledge the Research Deputy, as well as the technical and administrative staff of Islamic Azad University, Arsanjan Branch, for their generous support, provision of facilities, and assistance during various stages of the study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

پژوهش‌های بذر ایران

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

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

برهمکنش پرایمینگ بذر، گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد و پروفایل اسیدهای چرب بذر کنجد (*Sesamum indicum*)

حسن کشاورز [۱]، برمک جعفری حقیقی [۲]✉، عبدالرضا جعفری [۳]، حمیدرضا میری [۳] و حمیدرضا ابراهیمی [۳]

۱. دانشجوی دکترا گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، ارسنجان، ایران. رایانامه: hassan.keshavarz@iauc.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، ارسنجان، ایران. رایانامه: barmakjafarihaghighi@iauc.ir

۳. گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، ارسنجان، ایران. رایانامه: ha.ebrahimi@iauc.ir; hr.miri2000@iauc.ir; abdolreza.jafari@iauc.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
پرایمینگ بذر
ترکیب اسیدهای چرب
تلقیح تیوباسیلوس
کنجد
گوگرد عنصری

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ بذر، کاربرد گوگرد عنصری و تلقیح با کود زیستی سولفوبارور۱ حاوی تیوباسیلوس بر عملکرد بذر و ترکیب اسیدهای چرب بذر کنجد انجام شد. به دلیل اهمیت کنجد به‌عنوان یک دانه روغنی با ارزش تغذیه‌ای، ارزیابی نقش همزمان مدیریت تغذیه‌ای و زیستی در بهبود صفات کمی و کیفی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

روش پژوهش: یک آزمایش مزرعه‌ای در فصل رشد ۱۴۰۳–۱۴۰۴ در شهرستان فسا، استان فارس، ایران به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار روش پرایمینگ بذر (بدون پرایم، هیدروپرایمینگ، کلرید کلسیم ۲/۵٪ و ۵٪)، چهار سطح مصرف گوگرد (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سه سطح تلقیح تیوباسیلوس (۰، ۲ و ۴ کیلوگرم در هکتار) بودند. رقم کنجد داراب ۲ با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع کشت شد. صفات وزن هزار دانه، عملکرد ماده خشک و بذر اندازه‌گیری گردید. کیفیت روغن نیز از طریق آنالیز متیل‌استرهای اسیدهای چرب با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی و بر اساس استانداردهای ISIRI و AOAC ارزیابی شد.

یافته‌ها: پرایمینگ، کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس اثر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد بررسی داشتند. برهمکنش دوگانه و سه‌گانه نیز در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بودند. بیشترین وزن خشک گیاه (۲۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار هیدروپرایمینگ همراه با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مشاهده شد. همچنین، بیشترین بیشترین وزن هزار دانه (۵/۳۳ گرم) و عملکرد بذر (۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار هیدروپرایمینگ همراه با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴ کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس به دست آمد و بالاترین درصد روغن (۵۲/۲) و پروتئین بذر (۲۵/۱۰ درصد) در تیمار پرایمینگ با کلرید کلسیم ۵ درصد همراه با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴ کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس به دست آمد. تجزیه اسیدهای چرب نشان داد که تیمارهای تلفیقی موجب افزایش اسیدهای غیراشباع (لینولئیک، اولئیک، آلفا–لینولنیک) و کاهش اسیدهای اشباع (پالمیتیک و استئاریک) شدند.

نتیجه‌گیری: استفاده تلفیقی از پرایمینگ بذر (به خصوص پرایمینگ با ۵ درصد کلرید کلسیم یا هیدروپرایمینگ)، مصرف بالای گوگرد و تلقیح با تیوباسیلوس، به طور معنی‌داری عملکرد بذر و کیفیت روغن کنجد را بهبود بخشید. این روش‌ها جذب مواد مغذی را افزایش، تحریک فعالیت میکروبی و سنتز اسیدهای چرب مفید برای سلامت را بهبود می‌دهد.

جنبه‌های نوآوری:

- کاربرد همزمان پرایمینگ بذر، گوگرد و تلقیح با تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌دار در عملکرد بذر کنجد شد.
- تیمارهای ترکیبی با افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش اسیدهای چرب اشباع، کیفیت تغذیه‌ای روغن بذر کنجد را بهبود بخشید.

استناد: کشاورز، حسن؛ جعفری حقیقی، برمک؛ جعفری، عبدالرضا؛ میری، حمیدرضا و ابراهیمی، حمیدرضا (۱۴۰۴). برهمکنش پرایمینگ بذر، گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد و بهبود پروفایل اسیدهای چرب بذر کنجد (*Sesamum indicum*). *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۱۷۴–۱۵۷.
http://doi.org/10.66224/yujs.12.1.157

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه یاسوج.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی روغنی است که قدمت کشت آن به بیش از ۳۰۰۰ سال پیش بازمی‌گردد و امروزه در بسیاری از مناطق گرم و نیمه‌خشک دنیا کشت می‌شود. این گیاه به دلیل سازگاری نسبی با شرایط کم‌آبی، مقاومت به دمای بالا و توانایی رشد در خاک‌های کم‌بازده، جایگاه مهمی در کشاورزی مناطق خشک دارد. با این حال، میانگین عملکرد کنجد در ایران و بسیاری از کشورهای تولیدکننده همچنان پایین‌تر از ظرفیت بالقوه ژنتیکی ارقام اصلاح‌شده آن است (زرگر[1] و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از دلایل اصلی این شکاف عملکرد، محدودیت‌های تغذیه‌ای به‌ویژه کمبود عناصر پرمصرف نظیر گوگرد و مدیریت ناکافی مرحله استقرار گیاهچه در مزرعه است.

گوگرد به‌عنوان یکی از عناصر پرمصرف نقش کلیدی در فرآیندهای زیستی گیاه دارد. این عنصر علاوه بر نقش ساختاری در سنتز اسیدهای آمینه حاوی گوگرد مانند سیستئین و متیونین، در ساخت ترکیباتی همچون ویتامین‌ها (بیوتین و تیامین)، کوآنزیم‌ها و متابولیت‌های ثانویه نیز نقش دارد. همچنین گوگرد در تشکیل روغن و افزایش کیفیت آن مؤثر بوده و می‌تواند بر ترکیب اسیدهای چرب اثر بگذارد. پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که کاربرد گوگرد در مقادیر مناسب (معمولاً ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بذر، درصد روغن و کیفیت آن را در کنجد و سایر گیاهان روغنی بهبود می‌دهد (پروستی[2] و همکاران، ۲۰۲۴). برای مثال، گزارش شده است که استفاده از ۴۵ کیلوگرم گوگرد همراه با روی (Zn) در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک هند موجب افزایش معنی‌دار عملکرد بذر، پروتئین و روغن کنجد شد (یاداو[3] و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین بررسی‌های انجام شده در اتیوپی و هند نشان داده‌اند که استفاده از گوگرد از منابع مختلف مانند سوپرفسفات ساده و گوگرد عنصری علاوه بر بهبود جذب گوگرد، موجب افزایش بهره‌وری سایر عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر نیز می‌شود (مندی[4] و همکاران، ۲۰۲۴). این یافته‌ها اهمیت استفاده از گوگرد در سامانه‌های زراعی کنجد را تأیید می‌کند.

در کنار تغذیه گوگردی، پرایمینگ بذر به‌عنوان یک راهکار فیزیولوژیک در بهبود استقرار گیاهچه و افزایش کارایی زراعی مورد توجه قرار گرفته است. پرایمینگ بذر فرآیندی است که طی آن بذرها پیش از کاشت در معرض عوامل محرک (مانند آب، نمک‌های معدنی یا ترکیبات شیمیایی خاص) قرار می‌گیرند و در نتیجه، فعالیت‌های متابولیکی اولیه بذر آغاز شده اما مرحله جوانه‌زنی کامل نمی‌شود. پرایمینگ سبب افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، افزایش توان گیاهچه، بهبود طول و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه و در نهایت افزایش درصد استقرار گیاه در مزرعه می‌شود (عرفان[5] و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که پرایمینگ با ترکیباتی مانند کلرید کلسیم نه‌تنها موجب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهان مختلف می‌شود بلکه مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری را نیز افزایش می‌دهد (احمد[6] و همکاران، ۲۰۲۴). در کنجد، این اثرات می‌تواند نقش مهمی در افزایش کارایی استفاده از منابع آب و مواد غذایی ایفا کند.

از سوی دیگر، استفاده از کودهای زیستی و ریزجانداران سودمند خاک به‌عنوان یک راهبرد پایدار برای بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی اهمیت یافته است. در این میان، باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد مانند تیوباسیلوس[7] از توانایی ویژه‌ای در تبدیل گوگرد عنصری به فرم سولفاتی قابل جذب برخوردار هستند. این فرآیند نه‌تنها دسترسی گیاه به گوگرد را افزایش می‌دهد بلکه موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و فعالیت میکروبی آن نیز می‌شود (جانسی[8] و همکاران، ۲۰۲۲). تحقیقات انجام‌شده در گیاهانی مانند کلزا و خردل هندی نشان داده‌اند که تلقیح با باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد همراه با کاربرد کود گوگردی می‌تواند موجب افزایش معنی‌دار محتوای گوگرد در اندام گیاه، ارتقای فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم

[1] Zargar
[2] Prusty
[3] Yadav
[4] Mandi
[5] Irfan
[6] Ahmad
[7] *Thiobacillus*
[8] Jhansi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

گوگرد و بهبود عملکرد و کیفیت بذر شود (مد[1] و همکاران، ۲۰۲۳). این نتایج نشان‌دهنده نقش بالقوه این باکتری‌ها در افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی و بهبود کیفیت محصولات زراعی است.

با وجود مطالعات متعدد در زمینه تأثیرات جداگانه پرایمینگ بذر، کاربرد کودهای گوگردی و تلقیح با کودهای زیستی، بررسی جامع و تلفیقی این سه رویکرد مدیریتی در گیاه کنجد هنوز به‌طور کامل انجام نشده است. اغلب پژوهش‌ها تنها به یکی از این عوامل پرداخته‌اند و از بررسی تعاملات احتمالی میان آن‌ها غفلت شده است؛ در حالی‌که هم‌افزایی یا تداخل میان پرایمینگ، تغذیه گوگردی و تلقیح میکروبی می‌تواند تأثیرات متفاوت و گاه پیچیده‌ای بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، ترکیب اسیدهای چرب و کیفیت روغن کنجد داشته باشد.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع اثرات تیمارهای فیزیولوژیک (پرایمینگ بذر با کلرید کلسیم)، تغذیه‌ای (کاربرد سطوح مختلف گوگرد) و زیستی (تلقیح با باکتری تیوباسیلوس) بر صفات رشدی، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و کیفیت روغن کنجد رقم داراب ۲ طراحی و اجرا گردید. این تحقیق ضمن پاسخ به سؤالاتی همچون اینکه کدام سطح از گوگرد در ترکیب با پرایمینگ و تلقیح زیستی بیشترین تأثیر را بر عملکرد و کیفیت بذر دارد و آیا اثرات ترکیبی این تیمارها فراتر از اثرات منفرد آن‌ها است یا خیر، می‌تواند در تدوین راهبردهای مدیریتی نوین برای افزایش بهره‌وری و پایداری تولید کنجد در شرایط مختلف اقلیمی نقش مهمی ایفا نماید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی خصوصیات رویشی و کیفی گیاه دانه‌روغنی کنجد رقم «داراب ۲» (طبقه بذری الیت) انجام شد. بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس (ایستگاه داراب) تهیه و تا شروع آزمایش در ظروف دربسته و در دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. درصد جوانه‌زنی اولیه بذرها بر اساس آزمون استاندارد ISTA در کاغذ صافی مرطوب و دمای ۲۵ درجه سلسیوس حدود ۹۲ درصد تعیین شد (ایستا[2]، ۲۰۲۲).

بذرها پیش از اعمال تیمارها با محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. برای پرایمینگ، بذرها به‌مدت ۱۲ ساعت در محلول‌های آب مقطر، کلرید کلسیم ۲/۵ و ۵ درصد و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا در فاز دوم آب‌گیری (فعال شدن متابولیسم بدون جوانه‌زنی) باقی بمانند (اشرف و فولاد[3]، ۲۰۰۵). در پایان، بذرها پیش از آغاز فاز سوم آب‌گیری (خروج ریشه‌چه) از محلول خارج، شسته و در شرایط تاریک و دمای اتاق خشک شدند تا رطوبت و وزن اولیه حفظ گردد.

نمونه‌برداری خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲ در شهرستان فسا، استان فارس (مختصات ۲۹ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۶۳ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۱۵۰ متر) اجرا شد. شرایط هواشناسی شامل بیشترین دمای مردادماه (۴۰ درجه سیلسیوس)، کمترین دمای آبان ماه (۹ درجه سلیسیوس) در شکل ۱ ارائه شده است و مجموع بارندگی کل دوره رویش ۱۱/۹ میلی‌متر (همه در آبان ماه)؛ سایر ماه‌های رشد گیاه بدون بارندگی بودند.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل پرایمینگ بذر (چهار سطح)، مصرف گوگرد عنصری به‌صورت پودری (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تلقیح کود زیستی سولفوبارور-۱ به میزان صفر، ۲ و ۴ کیلوگرم در هکتار بود این محصول با نام تجاری

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک قبل از اعمال تیمارها.

Table 1. Pre-treatment soil chemistry.

هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	ماده آلی O.M.	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	گوگرد S
$dS.m^{-1}$		%		PPM		
1.2	7.8	0.6	0.05	6.5	180	7.2

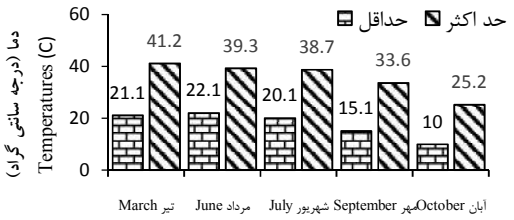
[1] Md

[2] ISTA

[3] Ashraf & Foolad

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]



شکل ۱- میانگین حداقل و حداکثر درجه حرارت در ماه‌های مورد بررسی.

Figure 1. Minimum and maximum monthly temperatures in experiment months.

کامل سولفو بارور۱[1] و تولید شده درشرکت زیست فناور سبز بود. این کود زیستی حاوی دو سویه فعال از باکتری‌های تیوباسیلوس با کد سویه‌های T40 و T95 و تراکم 10^{7}-10^{8} CFU/g می‌باشد که توانایی بالایی در اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک دارند. شرایط نگهداری آن مطابق دستورالعمل سازنده در دمای اتاق (۱۵–۲۵ درجه سلسیوس) و دور از نور مستقیم خورشید و رطوبت انجام شد. کاشت به‌صورت جوی-پشته‌ای با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و فاصله ۵ سانتی‌متر روی ردیف انجام شد. هر کرت شامل پنج ردیف به طول پنج متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها به ترتیب ۱/۵ و ۳ متر در نظر گرفته شد. گوگرد و تیو باسیلوس طبق سطوح تعیین‌شده در شیارهای کنار خطوط کاشت قرار داده شد و با خاک پوشانده شد. استفاده از گوگرد و تیو باسیلوس تنها یک‌بار در ابتدای کشت انجام شد و در طول دوره آزمایش تکرار نگردید.

آبیاری اولیه بلافاصله پس از کاشت انجام و سپس هر ۷ روز یک‌بار تا پایان فصل رشد ادامه یافت. برای جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، انتهای کرت‌ها بسته و جوی‌های فاضلاب جداگانه برای هر بلوک در نظر گرفته شد. برداشت به‌صورت دستی و با حذف اثرات حاشیه‌ای انجام شد و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. اندازه‌گیری‌های کمی شامل وزن هزار دانه، وزن خشک گیاه و عملکرد بذر در واحد سطح انجام شد.

برای تعیین میزان روغن و پروتئین، نمونه‌های خشک‌شده و آسیاب‌شده آماده شدند. میزان روغن با روش سوکسله و حلال هگزان استخراج و درصد وزنی محاسبه شد (انجمن رسمی شیمیدانان تحلیلی[2]، ۲۰۰۵). مقدار نیتروژن کل نمونه‌ها به روش کلدال تعیین شد و سپس با ضریب ۶٫۲۵ به پروتئین خام تبدیل گردید(لینچ و باربانو[3]، ۱۹۹۹). ترکیب اسیدهای چرب با تهیه متیل استر طبق استاندارد ملی ایران شماره ۴۰۹۰ (استاندارد ملی ایران[4]، ۱۹۹۷) و آنالیز با دستگاه کروماتوگراف گازی مدل تکنوکامپ[5] (چین) و آشکارساز یونیزاسیون شعله انجام شد.

داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای آزمایشی شامل پرایمینگ، کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس تأثیر معنی‌داری بر صفات عملکرد بذر، وزن خشک گیاه و وزن هزار دانه کنجد داشته‌اند. برهمکنش دوگانه و سه‌گانه بین این عوامل نیز در این صفات مورد بررسی در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار گزارش شدند، که بیانگر هم‌افزایی مثبت و پیچیدگی واکنش گیاه به ترکیب تیمارهاست. به‌ویژه تعامل بین پرایمینگ و گوگرد، و همچنین اثرات سه‌گانه، نقش مهمی در بهبود صفات کمی و کیفی بذر ایفا کرده‌اند. این نتایج اهمیت استفاده تلفیقی از عوامل تغذیه‌ای و زیستی را در عملکرد و افزایش بهره‌وری گیاه کنجد نشان می‌دهد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر درصد روغن و پروتئین بذر کنجد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند، که اهمیت هر یک از این عوامل در بهبود کیفیت بذر را نشان می‌دهد. علاوه بر این، برهمکنش دوگانه پرایمینگ × گوگرد، پرایمینگ × تیوباسیلوس و گوگرد × تیوباسیلوس نیز برای هر دو صفت معنی‌دار گزارش شد، که بیانگر اثر هم‌افزایانه این ترکیب تیمارها بر سنتز ترکیبات متابولیکی بذر است.

[1] SulfoBarvar-1

[2] AOAC

[3] Lynch & Barbano

[4] ISIRI

[5] Technocomp

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

جدول۲- تجریه واریانس (میانگین مربعات) اثر پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد بذر، وزن خشک، وزن هزار دانه و درصد روغن و پروتئین بذر گیاه گنجد.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of priming, sulfur, and Thiobacillus treatments on seed yield, Plant dry weight, thousand-seed weight and seed oil and protein percentage of sesame

منابع تغییر S.O. V.		درجه آزادی d.f.	عملکرد بذر Seed yield	وزن خشک گیاه Plant dry weight	هزار دانه 1000 seed weight	روغن بذر Seed Oil content	پروتئین بذر Protein content
Rep.	تکرار	2	286023.48**	18073956.20**	0.0001**	858.5**	858.5**
Priming (P.)	پرایمینگ	3	1340598.14*	75402944.07**	0.6672**	4078.9**	2349.3**
Sulfur (S.)	گوگرد	3	5567548.81*	592621113.11**	0.6089**	2996.4**	62.3**
Thiobacillus (Th.)	تیوباسیلوس	2	768027.88*	99603.36**	18.6625**	4718.3**	1472.0**
P.×S.	پرایمینگ × گوگرد	9	140725.16*	7258352.96**	0.0251**	39.8**	14.1**
P.×Th.	پرایمینگ × تیوباسیلوس	6	47275.52*	3025652.27**	0.0059**	42.6**	26.4**
S.×Th.	گوگرد × تیوباسیلوس	6	70510.78*	997341.23**	0.0020**	123.3**	1.8**
P .×S .×Th.	پرایمینگ × گوگرد × تیوباسیلوس	18	37553.58*	516086.49**	0.0013**	1.2**	0.01**
Error	خطا	94	4949.52	458245.12	0.0066	0.7	0.7
CV%	ضریب تغییرات ٪		13.58	14.06	18.01	4.81	8.45

*، ** بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, **, indicate significance at 5%, 1%, respectively.

برهمکنش سه‌گانه پرایمینگ × گوگرد × تیوباسیلوس نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود و این امر نشان‌دهنده تعامل پیچیده بین تیمارها در بهبود کیفیت شیمیایی بذر است. تغییرات همزمان درصد روغن و پروتئین با اعمال پرایمینگ به ویژه همراه با کلرید کلسیم و استفاده از گوگرد و تیوباسیلوس، احتمالاً ناشی از بهبود جذب عناصر غذایی و تحریک متابولیسم اسیدهای چرب و پروتئین در بذر است. این یافته‌ها با مطالعات شارما [1] و همکاران (۲۰۲۳) و ورما [2] و همکاران (۲۰۲۳) همسو که نشان می‌دهد تغذیه گوگرد و استفاده از باکتری‌های مفید خاک می‌تواند سنتز روغن و پروتئین دانه‌های روغنی را افزایش دهد. همچنین این نتایج بیانگر نقش مؤثر پرایمینگ و مدیریت تغذیه‌ای در بهبود ترکیبات متابولیکی بذرها هستند.

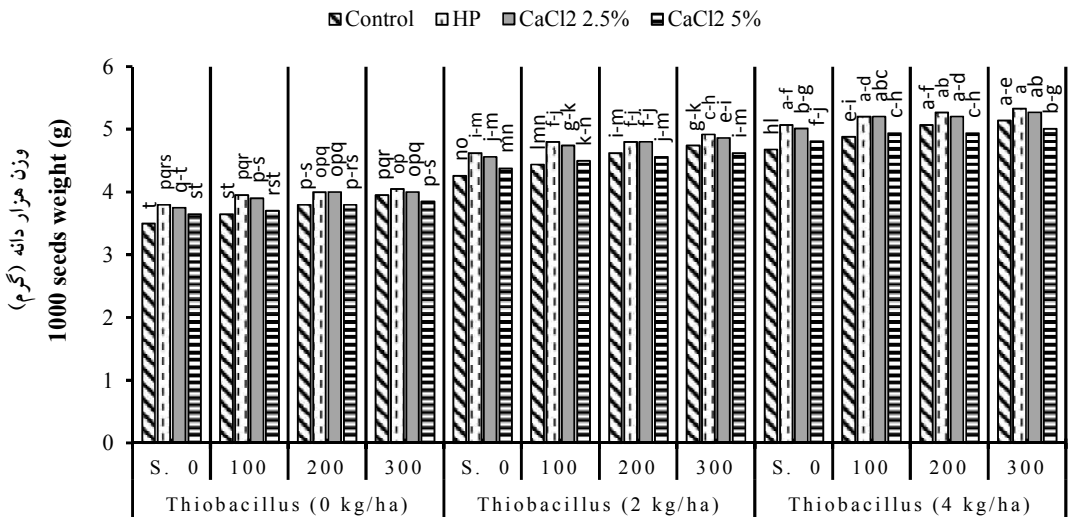
وزن هزار دانه

نتایج حاصل از بررسی برهمکنش تیوباسیلوس، گوگرد و تیمارهای پرایمینگ نشان داد که تمامی تیمارها نسبت به شاهد موجب افزایش وزن هزار دانه کنجد شدند (شکل ۲). میزان این افزایش بسته به نوع تیمار و سطح تلقیح زیستی متفاوت بود. در سطح تیوباسیلوس ۲ کیلوگرم در هکتار، تیمار هیدروپرایمینگ بیشترین افزایش وزن هزار دانه را نسبت به شاهد نشان داد و بهبود قابل توجهی در حدود ۱۵ درصد داشت. تیمار کلرید کلسیم ۲/۵٪ نیز عملکرد مطلوبی داشت و موجب افزایش حدود ۱۴ درصدی شد. تیمار کلرید کلسیم ۵٪ نیز با افزایش حدود ۸ درصدی، نسبت به شاهد برتری داشت. در سطح تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار، تیمار هیدروپرایمینگ مجدداً بیشترین اثرگذاری را داشت و موجب افزایش حدود ۱۴ درصدی نسبت به شاهد شد. تیمار کلرید کلسیم ۲/۵٪ نیز با افزایش حدود ۱۳ درصدی عملکرد قابل توجهی داشت. تیمار کلرید کلسیم ۵٪ در این سطح نیز موجب افزایش حدود ۷ درصدی وزن هزار دانه شد.

در مجموع، بیشترین وزن هزار دانه در تیمار هیدروپرایمینگ همراه با ۴ کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مشاهده شد که به۵/۳۳ گرم رسید و نسبت به شاهد مطلق (۳/۵ گرم) افزایش چشمگیر ۵۲ درصد را نشان داد. این اختلاف قابل توجه بیانگر نقش هم‌افزایی پرایمینگ شیمیایی، تغذیه گوگردی و تلقیح زیستی در بهبود کیفیت بذر و ارتقاء عملکرد گیاه

[1] Sharma
[2] Verma

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]



شکل ۲ - برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر وزن هزار دانه کنجد.

Figure 2. Interaction of priming, sulfur, and Thiobacillus treatments on thousand-seed weight.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی دار آماری ندارند (دانکن ۵٪)

Columns with at least one same letter are not significantly different (Duncan 5%).

کنجد است (شکل ۲).

مطالعات اخیر نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند. جانسی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که پرایمینگ بذر با باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد موجب افزایش صفات کمی بذر کنجد از جمله وزن هزار دانه شد. همچنین، بیسواس[1] و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که پرایمینگ بذر با ترکیبات معدنی و مدیریت صحیح تغذیه‌ای می‌تواند به‌طور معنی‌داری اجزاء عملکرد و عملکرد گیاه را بهبود بخشد. در مطالعه‌ای دیگر، جادهاو[2] و همکاران (۲۰۲۴) تأکید کردند که استفاده از تیوباسیلوس در کنار گوگرد موجب افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود وزن هزار دانه گیاهان زراعی می‌شود.

وزن خشک گیاه

نتایج حاصل از بررسی برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد که این ترکیب‌ها تأثیر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک گیاه کنجد دارند. بیشترین وزن خشک گیاه (۲۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار هیدروپرایمینگ همراه با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و بدون تیوباسیلوس مشاهده شد، که نسبت به تیمار بدون پرایمینگ، بدون گوگرد و بدون تیوباسیلوس (۱۰۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش قابل توجهی معادل ۱۲۹ درصد را نشان می‌دهد (جدول ۳). همچنین تیمار هیدروپرایمینگ در سطح گوگرد ۳۰۰ و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار نیز وزن خشک بالایی (۲۰۹۷۰ کیلوگرم در هکتار) داشت، که نسبت به شاهد افزایش ۱۰۱درصدی را نشان می‌دهد.

در تیمار بدون پرایمینگ نیز با افزایش سطح گوگرد و تیوباسیلوس، وزن خشک گیاه به‌طور پیوسته افزایش یافت به‌طوری‌که در سطح گوگرد ۳۰۰ و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار، وزن خشک گیاه از ۱۰۶۲۴ به ۲۰۱۱۴ کیلوگرم در هکتار رسید (افزایش ۸۹/۳ درصدی). تیمارهای کلرید کلسیم نیز عملکرد قابل توجهی داشتند، به‌ویژه در غلظت ۲/۵ درصد و سطح گوگرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بدون افزایش تیوباسیلوس که وزن خشک گیاه به ۲۱۹۸۵ کیلوگرم در هکتار رسید (افزایش ۱۱۱/۳ درصدی نسبت به شاهد). همچنین در تیمار کلرید کلسیم ۵ درصد با گوگرد ۳۰۰ و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در

[1] Biswas

[2] Jadhav

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

جدول ۳- برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر وزن خشک کنجد (کیلوگرم در هکتار).

Table 3. Interaction of priming, sulfur, and Thiobacillus treatments on dry biomass of sesame (kg/ha).

پرایمینگ Priming	گوگرد Sulfur (kg ha^{-1})	Thiobacillus (kg ha^{-1}) 0	2	4
بدون پرایمینگ no priming	0	10400 ^{v}	10600 ^{v}	10624 ^{v}
	100	13500 ^{u}	13600 ^{u}	14534 ^{tu}
	200	15464 st	16394 $^{p-s}$	17324 $^{n-q}$
	300	18254 $^{k-n}$	19184 $^{g-l}$	20114 $^{d-h}$
هیدرو پرایمینگ HP	0	11600 ^{v}	11650 ^{v}	11722 ^{v}
	100	20700 ^{def}	19900 $^{e-h}$	19530 $^{f-j}$
	200	19470 $^{f-k}$	19710 $^{e-i}$	19050 $^{h-m}$
	300	23850 ^{a}	22200 ^{b}	20970 ^{cde}
کلرید کلسیم ۲/۵ درصد $CaCl_2$ 2.5%	0	11200 ^{v}	11300 ^{v}	11356 ^{v}
	100	18300 $^{j-n}$	17800 ^{mno}	17865 ^{mno}
	200	18135 ^{lmn}	18605 $^{i-n}$	18475 $^{i-n}$
	300	21985 ^{bc}	21195 ^{bcd}	20685 ^{def}
کلرید کلسیم ۵ درصد $CaCl_2$ 5%	0	10800 ^{v}	10950 ^{v}	10990 ^{v}
	100	15900 ^{rs}	15700 ^{rs}	16200 ^{qrs}
	200	16800 $^{o-r}$	17500 ^{nop}	17900 ^{mno}
	300	20120 $^{d-h}$	20190 $^{d-h}$	20400 $^{d-g}$

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی دار آماری ندارند (دانکن ۵٪)

Means with at least one same letter are not significantly different (Duncan 5%).

هکتار، وزن خشک گیاه به ۲۰۴۰۰ کیلوگرم در هکتار رسید که نسبت به مقدار پایه افزایش ۹۶/۱ درصدی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد تیمارهای هیدروپرایمینگ و کلرید کلسیم ۲/۵ درصد در سطوح بالای گوگرد و تیوباسیلوس در گروه‌های آماری بالاتری قرار گرفته‌اند و اثرگذاری بیشتری بر وزن خشک گیاه داشته‌اند (جدول ۳).

مطالعات اخیر نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند. جانسی و همکاران (۲۰۲۲)، گزارش کردند که پرایمینگ بذر با باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد موجب افزایش معنی‌دار صفات رشدی و تولید ماده خشک در کنجد شد. همچنین، تحقیق رضا[1] و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که کاربرد گوگرد موجب افزایش شاخص سطح برگ، نرخ فتوسنتز و تجمع ماده خشک در مراحل مختلف رشد کنجد گردید. در مطالعه‌ای دیگر، محمود و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد گوگرد در سطح بهینه موجب افزایش جذب عناصر غذایی، تعداد کپسول، وزن هزار دانه و تولید ماده خشک نهایی شد.

عملکرد بذر

نتایج حاصل از بررسی برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس نشان داد که این ترکیب‌ها تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد بذر کنجد دارند.

بیشترین عملکرد بذر (۲۶۱۰ کیلوگرم در هکتار)، در تیمار هیدروپرایمینگ همراه با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۴ کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس مشاهده شد که نسبت به تیمار بدون پرایمینگ، بدون گوگرد و بدون تیوباسیلوس (۸۸۴ کیلوگرم در هکتار) افزایش قابل توجهی نزدیک به دو برابر را نشان می‌دهد. همچنین تیمار کلرید کلسیم ۲/۵ درصد در سطح گوگرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار نیز عملکرد بالایی داشت (۲۵۲۹ کیلوگرم در هکتار)، که نسبت به مقدار پایه افزایش ۱/۹ برابری را نشان می‌دهد (جدول ۴).

[1] Raza

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

جدول۴- برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس و بر عملکرد بذر کنجد (کیلوگرم در هکتار)

Table 4. Interaction of priming, sulfur, and Thiobacillus treatments on seed yield of sesame (kg/ha).

پرایمینگ Priming	گوگرد Sulfur (kg ha^{-1})	Thiobacillus (kg ha^{-1}) 0	2	4
بدون پرایمینگ no priming	0	884 ^{t}	888 ^{t}	1538 ^{s}
	100	1600 ^{rs}	1608 ^{rs}	1905 $^{n-q}$
	200	2008 $^{j-o}$	2014 $^{j-o}$	2060 $^{h-m}$
	300	1890 ^{opq}	2260 ^{de}	2332 ^{cd}
هیدروپرایمینگ HP	0	1644 ^{rs}	1952 $^{m-p}$	1960 $^{l-p}$
	100	1984 $^{k-p}$	2100 $^{f-k}$	2120 $^{f-k}$
	200	2190 $^{e-h}$	2200 ^{efg}	2348 ^{cd}
	300	2520 ^{ab}	2538 ^{ab}	2610 ^{a}
کلرید کلسیم ۲/۵ درصد $CaCl_2$ 2.5%	0	1609 ^{rs}	1652 ^{rs}	1672 ^{r}
	100	1873 ^{pq}	2071 $^{g-m}$	2088 $^{f-l}$
	200	2094 $^{f-l}$	2115 $^{f-k}$	2208 ^{ef}
	300	2349 ^{cd}	2430 ^{bc}	2529 ^{ab}
کلرید کلسیم ۵ درصد $CaCl_2$ 5%	0	955 ^{t}	959 ^{t}	1592 ^{rs}
	100	1807 ^{q}	1881 ^{opq}	1991 ^{jp}
	200	2011 $^{j-o}$	2031 $^{j-n}$	2155 ^{ei}
	300	2122 $^{f-j}$	2421 ^{bc}	2448 ^{bc}

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (دانکن ۵٪)

Means with at least one same letter are not significantly different (Duncan 5%).

در تیمار بدون پرایمینگ نیز با افزایش سطح گوگرد و تیوباسیلوس، عملکرد بذر به‌طور پیوسته افزایش یافت. به‌طوری‌که در سطح گوگرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بذر از ۸۸۴ به ۲۳۳۲/۸ کیلوگرم در هکتار رسید (افزایش ۱/۶۴ برابر). تیمارهای کلرید کلسیم ۵ درصد نیز در سطح گوگرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار عملکرد قابل توجهی داشتند (۲۴۴۸ کیلوگرم در هکتار)، که نسبت به شاهد اولیه افزایش ۱/۸ برابری را نشان می‌دهد (جدول ۴). مقایسه آماری تیمارها نشان می‌دهد که تیمارهای هیدروپرایمینگ و کلرید کلسیم در سطوح بالای گوگرد و تیوباسیلوس در گروه‌های آماری بالاتری قرار گرفته‌اند و اثرگذاری بیشتری بر عملکرد بذر داشته‌اند.

مطالعات اخیر نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند. مطالعه‌ای توسط گیلانی[1] و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد کاربرد تیوباسیلوس همراه با سطوح مختلف گوگرد موجب افزایش معنی‌دار عملکرد بذر و شاخص‌های فیزیولوژیک در کنجد شد .همچنین، جانسی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که پرایمینگ بذر با باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد موجب بهبود جوانه‌زنی، رشد و عملکرد بذر در کنجد گردید. تحقیق دیگری توسط رضا و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که کاربرد گوگرد موجب افزایش سطح برگ، نرخ فتوسنتز و تجمع ماده خشک و عملکرد بذر در شرایط دیم شد.

درصد پروتئین بذر

بررسی برهمکنش پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر درصد پروتئین بذر کنجد نشان داد که ترکیب این سه عامل نقش مؤثری در افزایش محتوای پروتئین داشت. تیمار شاهد (بدون پرایمینگ و بدون کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس) کمترین مقدار پروتئین را تولید کرد (۱۸/۵ درصد) در مقابل، اعمال پرایمینگ به‌تنهایی موجب افزایش قابل توجهی در درصد پروتئین شد، به‌طوری‌که مقدار آن در برخی تیمارها به بیش از ۲۱ درصد رسید

[1] Gilani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

(جدول ۵). افزودن گوگرد در حضور پرایمینگ نیز اثر مثبتی داشت و میانگین درصد پروتئین را تا حدود ۲۴ درصد افزایش داد. با این حال، بیشترین مقدار پروتئین زمانی حاصل شد که هر سه عامل به‌طور همزمان به کار رفتند؛ در این شرایط، درصد پروتئین در برخی تیمارها به بیش از ۲۵ درصد رسید (جدول ۵). این روند نشان دهنده وجود یک اثر هم‌افزای قوی میان پرایمینگ، تغذیه گوگردی و فعالیت میکروبی تیوباسیلوس است که به‌طور همزمان موجب تحریک سنتز اسیدهای آمینه گوگرددار و افزایش ترکیبات نیتروژنی در بذر شده و در نهایت ترکیب پروتئینی بذر را به‌طور محسوسی غنی‌تر کرده است.

بر اساس گزارش‌های مشابه در کلزا، کاربرد گوگرد در حضور باکتری‌های محرک رشد گیاهی، سنتز پروتئین و کارایی استفاده از نیتروژن را بهبود می‌بخشد (شارما همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، شواهدی در عدس و سایر حبوبات وجود دارد که نشان می‌دهد پرایمینگ بذر همراه با کودهای گوگردی و فسفری می‌تواند درصد پروتئین را بین ۱۵ تا ۳۵ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد (سینگ[1] و همکاران، ۲۰۲۴). افزون بر این، نقش باکتری‌های جنس باسیلوس در بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی و افزایش درصد پروتئین در دانه‌های روغنی و کنجد توسط مطالعات متعدد تأیید شده است (عبدالرحمن[2] و همکاران،۲۰۲۰؛ ورما و همکاران، ۲۰۲۳) در مجموع، نتایج حاضر هم راستا با این گزارش‌ها بوده و نشان می‌دهد که به‌کارگیری همزمان پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس یک راهبرد مؤثر برای بهبود کیفیت پروتئینی بذر کنجد است.

درصد روغن بذر

نتایج حاصل از بررسی برهمکنش پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر درصد روغن بذر کنجد (جدول ۵) نشان داد که این سه عامل به‌صورت هم‌افزا تأثیر قابل توجهی بر افزایش محتوای روغن داشتند. کمترین مقدار روغن در تیمار بدون پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس، به‌دست آمد (حدود ۴۵/۵ درصد). با افزایش سطح گوگرد و حضور تیوباسیلوس، درصد روغن به‌تدریج افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در بالاترین سطح تیماری (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با ۴ کیلوگرم در هکتار تیوباسیلوس) و بدون پرایمینگ، مقدار روغن به بیش از ۵۱ درصد رسید. هیدروپرایمینگ نیز اثر قابل ملاحظه‌ای در بهبود درصد روغن داشت. در شرایط بدون گوگرد و تیوباسیلوس، مقدار روغن حدود ۴۶/۱ درصد بود و در بالاترین سطح تیماری به بیش از ۵۱/۶ درصد افزایش یافت. این افزایش نشان‌دهنده نقش مؤثر پرایمینگ در بهبود جذب عناصر و تحریک سنتز ترکیبات چربی است. پرایمینگ با کلرید کلسیم ۲/۵ درصد عملکردی حتی قوی‌تر از هیدرو پرایمینگ نشان داد. در شرایط بدون گوگرد و تیوباسیلوس، مقدار روغن حدود ۴۶/۶ درصد بود و با افزایش سطح گوگرد و حضور تیوباسیلوس، به بیش از ۵۲ درصد رسید. همچنین، پرایمینگ با کلرید کلسیم ۵ درصد بالاترین مقدار روغن را در بین تیمارها تولید کرد؛ به‌طوری‌که در شرایط بهینه، درصد روغن به ۵۲/۲ درصد رسید (جدول ۵). این نتایج نشان‌دهنده وجود یک اثر هم‌افزای قوی میان پرایمینگ، تغذیه گوگردی و فعالیت میکروبی تیوباسیلوس است که به‌طور همزمان موجب تحریک سنتز اسیدهای چرب و افزایش غلظت روغن در بذر کنجد شده و در نهایت کیفیت تغذیه‌ای محصول را به‌طور معنی‌داری ارتقا داده است.

این نتایج بیانگر آن است که پرایمینگ به‌ویژه در قالب کلرید کلسیم همراه با کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس می‌تواند اثر هم‌افزایانه‌ای بر افزایش محتوای روغن بذر کنجد داشته باشد. به نظر می‌رسد این اثر ناشی از بهبود قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی، تحریک متابولیسم اسیدهای چرب و افزایش فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با سنتز روغن در بذر باشد. یافته‌های این پژوهش همسو با گزارش‌های شارما و همکاران (۲۰۲۳) درباره نقش حیاتی تغذیه گوگرد در سنتز اسیدهای چرب در دانه‌های روغنی و نیز نتایج ورما و همکاران (۲۰۲۳) در خصوص اثر باکتری‌های جنس باسیلوس بر افزایش جذب مواد غذایی و بهبود کیفیت محصولات زراعی است. همچنین، سینگ و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که پرایمینگ بذر همراه با مدیریت تغذیه‌ای متعادل می‌تواند منجر به افزایش

[1] Singh
[2] Abdelrahman

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]
[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

چشمگیر ترکیبات متابولیکی از جمله روغن در بذرهای حبوبات شود.

درصد اسیدهای چرب

تیمار پرایمینگ بیشترین تأثیر را بر اسیدهای پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک داشت، در حالی‌که گوگرد و تیوباسیلوس نیز به‌طور مستقل و در تعامل با یکدیگر، موجب تغییرات قابل توجهی در ترکیب اسیدهای چرب شدند.

بررسی اثرات تیمارهای مختلف نشان داد که ترکیب پرایمینگ بذر، کاربرد گوگرد و تلقیح با تیوباسیلوس تأثیر معنی‌داری بر پروفایل اسیدهای چرب بذر کنجد دارد. در تیمارهای پرایمینگ با کلرید کلسیم ۵ درصد، همراه با گوگرد در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم، بیشترین بهبود در کیفیت روغن مشاهده شد. این ترکیب موجب افزایش اسیدهای چرب غیراشباع مانند لینولئیک، اولئیک و آلفا-لینولنیک و کاهش اسیدهای اشباع مانند پالمیتیک و استئاریک گردید. به‌طور خاص، درصد لینولئیک اسید از ۲۷/۱ درصد در شاهد به ۴۱/۹ درصد در تیمار پرایمینگ با کلرید کلسیم ۵ درصد، همراه با گوگرد در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیوباسیلوس ۴ کیلوگرم در هکتار رسید، و آلفا-لینولنیک اسید نیز از ۰/۴۲ درصد به ۰/۹۱ درصد افزایش یافت. در مقابل، پالمیتیک اسید از ۱۰/۸ درصد به ۵/۲ درصد و استئاریک اسید از ۸/۳۵ درصد به ۵/۹۵ درصد کاهش یافت (شکل ۳). این تغییرات نشان‌دهنده نقش کلیدی گوگرد در تنظیم مسیرهای بیوشیمیایی سنتز اسیدهای چرب است. تیوباسیلوس با اکسید کردن گوگرد عنصری، آن را به فرم سولفات تبدیل می‌کند که برای گیاه قابل جذب است و موجب تحریک سنتز اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود (گیلانی و همکاران، ۲۰۲۱). پرایمینگ بذر نیز با فعال‌سازی آنزیم‌های متابولیکی و بهبود جذب عناصر غذایی، نقش مکملی در این فرآیند ایفا می‌کند. به‌ویژه کلرید کلسیم ۵ درصد، با اثرات اسمزی و تنظیم تعادل یونی، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز چربی‌ها شده است (جانسی و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۵- برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر درصد پروتئین و روغن بذر کنجد.

Table 5. Interaction of priming, sulfur, and Thiobacillus treatments on seed protein and oil percentage of sesame.

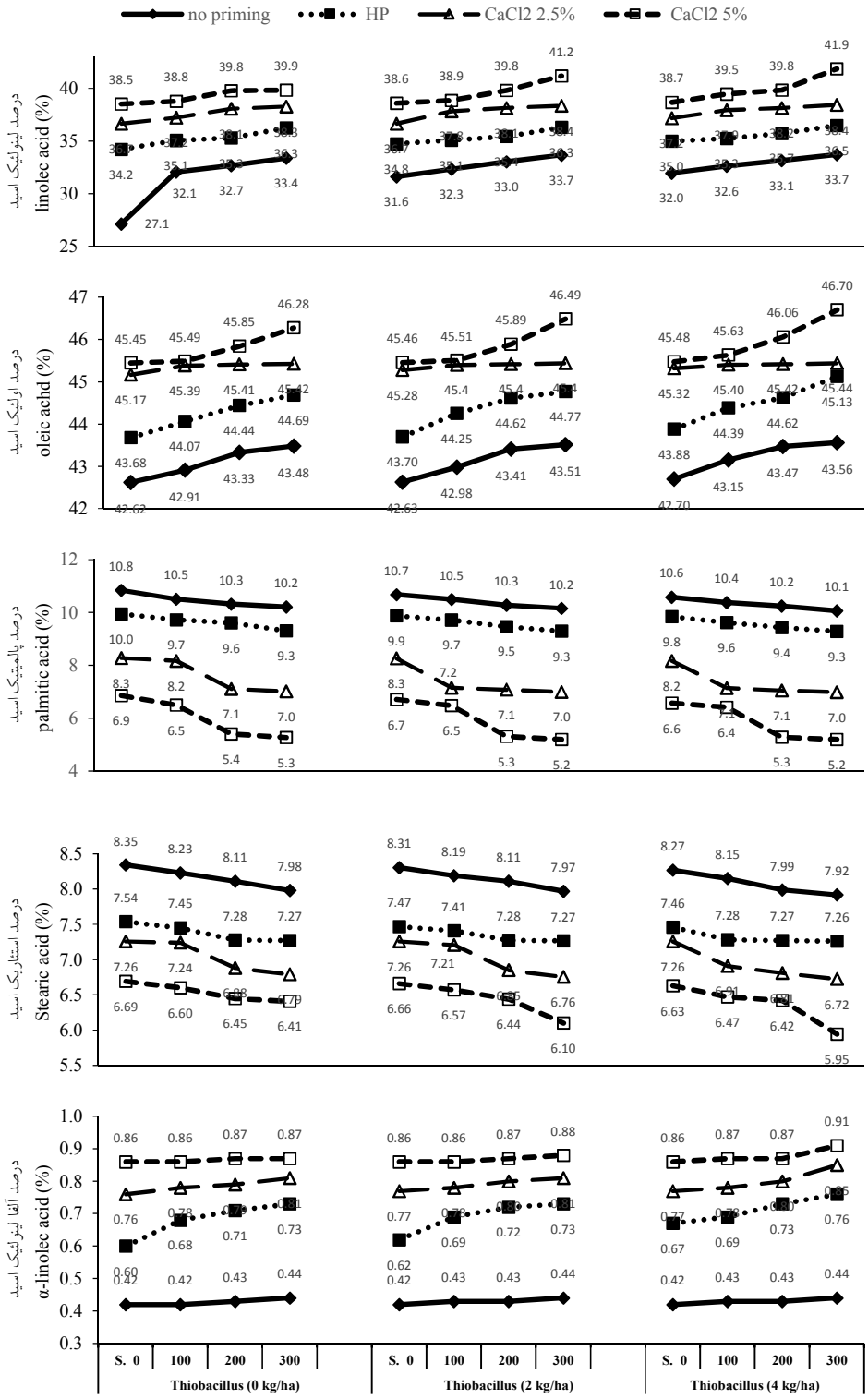
پرایمینگ Priming	گوگرد Sulfur (kg ha^{-1})	Seed Protein Content (%) درصد پروتئین بذر — *Thiobacillus* (kg ha^{-1}) 0	2	4	Seed oil Content (%) درصد روغن بذر — *Thiobacillus* (kg ha^{-1}) 0	2	4
بدون پرایمینگ no priming	0	18.50 h	19.00 h	19.50 gh	45.50 h	46.00 h	46.60 gh
	100	20.10 fg	20.60 fg	21.10 f	47.10 fg	47.60 fg	48.10 f
	200	21.60 ef	22.10 de	22.60 d	48.60 ef	49.10 de	49.60 d
	300	23.10 cd	23.60 bc	24.10 b	50.10 cd	50.60 bc	51.10 b
هیدرو پرایمینگ HP	0	19.10 h	19.60 gh	20.10 fg	46.10 h	46.60 gh	47.10 fg
	100	20.60 fg	21.10 f	21.60 ef	47.60 fg	48.10 f	48.60 ef
	200	22.10 de	22.60 d	23.10 cd	49.10 de	49.60 d	50.10 cd
	300	23.60 bc	24.10 b	24.60 ab	50.60 bc	51.10 b	51.60 ab
کلرید کلسیم ۲/۵ درصد $CaCl_2$ 2.5%	0	19.60 gh	20.10 fg	20.60 fg	46.60 gh	47.10 fg	47.60 fg
	100	21.10 f	21.60 ef	22.10 de	48.10 f	48.60 ef	49.10 de
	200	22.60 d	23.10 cd	23.60 bc	49.60 d	50.10 cd	50.60 bc
	300	24.10 b	24.60 ab	25.10 a	51.10 b	51.60 ab	52.20 a
کلرید کلسیم ۵ درصد $CaCl_2$ 5%	0	20.10 fg	20.60 fg	21.10 f	47.20 fg	47.40 fg	47.60 fg
	100	21.60 ef	22.10 de	22.60 d	48.20 f	48.90 ef	50.30 cd
	200	23.10 cd	23.60 bc	24.10 b	50.00 cd	50.50 bc	51.60 ab
	300	24.60 ab	25.10 a	25.10 a	50.10 cd	51.60 ab	52.20 a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی دار آماری ندارند (دانکن ۵٪)

Means with at least one same letter are not significantly different (Duncan 5%).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]



شکل ۳ - برهمکنش تیمارهای پرایمینگ، گوگرد و تیوباسیلوس بر برخی از اسیدهای چرب جدا شده از بذر کنجد.

Figure 3. Effects of priming, sulfur, and Thiobacillus on seed sesame fatty acids.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

مطالعات اخیر نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کنند. گیلانی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که کاربرد تیوباسیلوس و گوگرد موجب افزایش عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله بهبود ترکیب اسیدهای چرب در کنجد شد، جانسی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که پرایمینگ بذر با باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد موجب افزایش کیفیت روغن و کاهش اسیدهای اشباع گردید. همچنین هرناندز[1] و همکاران (۲۰۲۴) در یک مرور جامع بر فنآوری پرایمینگ بذر، تأکید کردند که این روش موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود، که در نهایت به بهبود کیفیت روغن منجر می‌گردد. در همین راستا، مطالعه‌ای توسط محمود و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که کاربرد گوگرد موجب افزایش معنی‌دار نسبت اسیدهای غیراشباع به اشباع در بذر کنجد گردید و نقش مهمی در بهبود ارزش تغذیه‌ای روغن ایفا کرد.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده همزمان از پرایمینگ بذر (به‌ویژه کلرید کلسیم ۵ درصد)، کاربرد گوگرد در سطح ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، و تلقیح با تیوباسیلوس در سطح ۴ کیلوگرم در هکتار، روشی مؤثر برای ارتقاء کیفیت تغذیه‌ای روغن کنجد است. این ترکیب‌ها نه‌تنها موجب افزایش اسیدهای مفید امگا-۳ و امگا-۶ می‌شوند، بلکه با کاهش اسیدهای اشباع، سلامت مصرف‌کنندگان را نیز بهبود می‌بخشند و ارزش اقتصادی محصول را افزایش می‌دهند.

نتایج جدول همبستگی پیرسون نشان داد که عملکرد بذر کنجد با برخی از اسیدهای چرب رابطه معنی‌دار دارد (جدول ۶) عملکرد با اسیدهای لینولئیک ($r = 0.72$)، مارگاریک ($r = 0.77$)، گادولئیک ($r = 0.78$) و جینکگولیک ($r = 0.70$) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشت، که نشان‌دهنده نقش این اسیدها در افزایش عملکرد است. همچنین، همبستگی مثبت در سطح ۵ درصد بین عملکرد و اسید پالمیتولئیک ($r = 0.50$) و میریستیک ($r = 0.70$) مشاهده شد.

در مقابل، عملکرد با اسید استئاریک ($r = -0.85$) و اولئیک ($r = -0.77$) همبستگی منفی و معنی‌دار دارد، که بیانگر کاهش این اسیدهای اشباع و غیراشباع در شرایط عملکرد بالا است. همچنین، اسید آراشیدیک نیز همبستگی منفی با عملکرد نشان داد ($r = -0.79^{**}$) در حالی‌که α لینولنیک همبستگی مثبتی داشت ولی در سطح معنی‌داری نبود ($r = 0.54^{ns}$).

به‌طور کلی، افزایش عملکرد بذر با افزایش اسیدهای چندغیراشباع و کاهش اسیدهای اشباع همراه بوده است، که از نظر تغذیه‌ای و بازارپسندی روغن کنجد مطلوب تلقی می‌شود. این نتایج با مطالعات قبلی هم‌راستا هستند که نشان داده‌اند شرایط تغذیه‌ای مناسب و مدیریت زیستی می‌تواند همزمان عملکرد و کیفیت روغن را ارتقاء دهد.

مطالعات قبلی نیز این روابط را تأیید کرده‌اند. بانو[2] و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که افزایش عملکرد در کنجد با افزایش اسیدهای غیراشباع و کاهش اسیدهای اشباع همراه است. همچنین اسکارپا[3] و همکاران (۲۰۲۱)، نشان دادند که شرایط تغذیه‌ای مناسب و مدیریت زیستی موجب بهبود همزمان عملکرد و کیفیت روغن در دانه‌های روغنی می‌شود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که کاربرد تلفیقی پرایمینگ بذر، گوگرد عنصری و تلقیح با تیوباسیلوس تأثیر قابل توجهی بر بهبود صفات رشدی، عملکرد و کیفیت روغن بذرهای کنجد دارد. تیمارهای ترکیبی موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه و تجمع ماده خشک شدند. بیشترین عملکرد بذر در تیمار هیدروپرایمینگ همراه با ۳۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۴ کیلوگرم تیوباسیلوس مشاهده شد. ترکیب اسیدهای چرب نیز تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت و نسبت اسیدهای چرب غیراشباع افزایش و اسیدهای اشباع کاهش یافت. این تغییرات نشان‌دهنده ارتقاء ارزش تغذیه‌ای روغن کنجد است. همبستگی مثبت بین عملکرد بذر و اسیدهای چرب چندغیراشباع تأییدکننده نقش آن‌ها در افزایش عملکرد می‌باشد.

[1] Hernández

[2] Bano

[3] Škarpa

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

استفاده از مدیریت تلفیقی زیستی و شیمیایی موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی و تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک شد. این روش‌ها به‌عنوان راهکارهای پایدار برای افزایش بهره‌وری کنجد در شرایط نیمه‌خشک قابل توصیه هستند. در مجموع، نتایج پژوهش پتانسیل بالای این ترکیب مدیریتی را در بهبود کمی و کیفی محصول کنجد نشان داد.

جدول ۶- ضرایب همبستگی پیرسون بین عملکرد بذر و اسیدهای چرب بذر کنجد.

Table 6. Pearson correlation coefficients between yield and fatty acid content in sesame seeds.

	Yield	Myristic	Palmitic	Margaric	Stearic	Palmitoleic	Ginkgolic	Oleic	Linoleic	α-Linoleic	Arachidic	Gadoleic
Yield	-											
Myristic	0.70*	-										
Palmitic	0.05ns	0.04ns	-									
Margaric	0.77**	0.10ns	0.25ns	-								
Stearic	-0.85**	-0.28ns	0.40ns	-0.80**	-							
Palmitoleic	0.50*	0.28ns	-0.90**	0.35ns	-0.60**	-						
Ginkgolic acid	0.70**	0.24ns	0.40ns	0.95**	-0.77**	-0.04ns	-					
Oleic	-0.77**	-0.25ns	-0.06ns	-0.49ns	0.69*	0.07ns	-0.70*	-				
Linoleic	0.72**	0.19ns	0.45*	0.61**	-0.96**	0.66*	0.59*	-0.78**	-			
α-Linoleic	0.54ns	-0.02ns	0.10ns	0.79**	-0.49ns	0.45ns	0.55*	0.19ns	0.28ns	-		
Arachidic	0.14ns	-0.41ns	-0.78**	0.35ns	-0.65*	0.57*	0.18ns	-0.79**	0.78**	0.10ns	-	
Gadoleic	0.78**	0.35ns	-0.08ns	0.78**	-0.65*	0.65*	0.55*	0.05ns	0.45ns	0.90**	0.21ns	-

*، ** و ns بترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری

*, **, and ns indicate significance at 5%, 1%, and non-significance, respectively

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله

نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

نویسنده سوم و چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش، هیچ کمک مالی خاصی از سوی سازمان‌های تأمین‌کننده اعتبار در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از کادر اداری ، فنی و علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان به منظور همکاری در اجرای این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

References منابع

Abdelrahman, H. M., El-Mogy, M. M., & El-Sheikh, H. H. (2020). Potentiality of native Bacillus spp. in enhancing sesame seed germination and their antagonism against *Macrophomina phaseolina* under in vitro conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 16*(1), 25–34.

Ahmad, I., Younas, Z., Mashwani, Z.-u., Raja, N. I., & Akram, A. (2024). Thiourea seed priming effects on sesame under salinity stress. *Sarhad Journal of Agriculture, 40*(3), 740–753. https://doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.3.740.753

AOAC. (2012). Official Method 996.06: Preparation of methyl esters for fatty acid analysis. In *Official Methods of Analysis of AOAC International* (19th ed.). AOAC International.

Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2005). Pre-sowing seed treatment – a review. *Environmental and Experimental Botany, 53*, 1–10.

Bano, A., Khan, N., & Ali, A. (2020). Influence of sulfur and biofertilizers on fatty acid composition and oil quality of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Oilseed Research*, *37*(2), 115–122.

Biswas, U., Das, R., & Dutta, A. (2019). Growth, yield and seed quality parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by seed priming and pinching. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(8), 1112–1119. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.808.130

Gilani, A., Abbasdokht, H., & Gholami, A. (2021). Effects of *Thiobacillus* and different levels of sulfur fertilizer on growth and physiological indices in intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.). *Gesunde Pflanzen*, *73*(3), 317–333. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00554-6

Hernández, J. A., Barba-Espín, G., & Díaz-Vivancos, P. (2024). Seed priming technology: Current perspectives. *Seeds, 3*(4), 540–543. https://doi.org/10.3390/seeds3040036

Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). (1997). Iranian National Standard No. 4090. Tehran: ISIRI. (In Persian)

Irfan, B., Shahbaz, M., Mukhtiar, A., Khan, M. S., & Ali, S. (2024). Seed priming with thiourea enhances the performance of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties under salinity stress. *Sarhad Journal of Agriculture, 40*(3), 740–753.

ISTA (2022). *International Rules for Seed Testing.* Retrieved from *https://www.ista.org*

Jadhav, I., Vasniwal, R., & Jadhav, K. (2024). Seed priming with sulfur oxidizing bacteria isolated from the rhizosphere and their effect on *Vigna radiata* (L.). *Indian Journal of Microbiology*. https://doi.org/10.1007/s12088-024-01395-3

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]

Jhansi, M., Manonmani, V., Kavitha, S., Karthikeyan, S., & Gurusamy, K. (2022). Seed priming with sulphur oxidising bacteria for improving seed germination and vigour in sesame cv. VRI 4. *The Pharma Innovation Journal, 11*(8), 386–390.

Lynch, J. M., & Barbano, D. M. (1999). Kjeldahl nitrogen analysis as a reference method for protein determination in dairy products. *Journal of AOAC International, 82*(6), 1389–1398. https://doi.org/10.1093/jaoac/82.6.1389

Mandi, S., Shivay, Y. S., Prasanna, R., Nayak, S., Baral, K., Reddy, K. S., & Borate, R. B. (2024). Insights into the response of elemental sulfur fertilization on crop yield and nutritional quality of durum wheat. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *24*, 8306–8320. https://doi.org/10.1007/s42729-024-02116-x

Md, I., Singh, A. K., Prasad, R., & Kumar, S. (2023). Biopriming with Bacillus subtilis enhanced the sulphur use efficiency in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Agronomy, 13*(4), 974. https://doi.org/10.3390/agronomy13040974

Mehmood, M. Z., Khan, M. A., Khan, M. S., & Raza, M. A. (2021). Can sulphur improve the nutrient uptake, partitioning, and seed yield of sesame? *Arabian Journal of Geosciences, 14*, 865. https://doi.org/10.1007/s12517-021-07229-6

Prusty, M., Alim, M. A., Swain, D., & Ray, M. (2024). Effect of different sources and levels of sulphur in sesame on yield, nutrient uptake and soil fertility in acid Alfisols of Odisha, India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 13*(2), 1327–1333.

Raza, M. A., Khan, M. S., Khan, M. A., & Mehmood, M. Z. (2018). Effect of sulphur application on photosynthesis and biomass accumulation of sesame varieties under rainfed conditions. *Agronomy, 8*(8), 149. https://doi.org/10.3390/agronomy8080149

Sharma, P., Singh, V., & Kumar, R. (2023). Role of sulphur nutrition in oilseed crops: A review. *Agronomy, 13*(4), 974. https://doi.org/10.3390/agronomy13040974

Singh, R., Patel, D., & Mehta, S. (2024). Seed priming and nutrient management effects on yield and quality of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Journal of Plant Nutrition, 47*(2), 215–229. https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2234567

Škarpa, P., Mikušová, D., Antošovský, J., Kučera, M., & Ryant, P. (2021). Oil-based polymer coatings on CAN fertilizer in oilseed rape (*Brassica napus* L.) nutrition. *Plants*, *10*(8), 1605. https://doi.org/10.3390/plants10081605

Verma, A., Gupta, A., & Sharma, S. (2023). Bacillus species as plant growth-promoting rhizobacteria: Mechanisms and applications in sustainable agriculture. *Applied Sciences, 13*(4), 1692. https://doi.org/10.3390/app13041692

Yadav, H., Sharma, M., & Singh, R. (2022). Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to sulphur and zinc fertilization in semi-arid Rajasthan. *Annals of Agricultural Research, 43*(3), 322–326.

Zargar, S., Shikari, A. B., & Mir, R. R. (2021). Can sulphur improve the nutrient uptake, partitioning, and seed yield of sesame? *Arabian Journal of Geosciences, 14*(10), 925. https://doi.org/10.1007/s12517-021-06922-9

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-10-23]

[DOI: 10.66224/yujs.12.1.157]