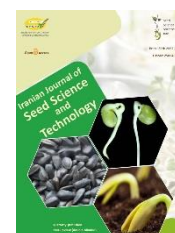




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Foliar application of micronutrients on mother plant and its effect on seed production of two *Camelina* genotypes (*Camelina sativa* (L.))

Akram Rostamipour¹, Reza Tavakkol Afshari^{2*}, Hamid Reza Khazaei², Danial Kahrizi³,
Hamid Reza Eisvand⁴

1. PhD Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4. Professor, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Iran.

Article Information

Received: 10 Jan. 2024
Revised: 07 May 2024
Accepted: 08 May 2024

Keywords:

Line-69,
Micronutrient solution,
Oil plant,
Soheil cultivar,
Yield component.

Corresponding Author:
tavakolafshari@um.ac.ir



Abstract

Camelina, an oilseed plant in the Brassicaceae family, is extensively utilized in the food and pharmaceutical industries. This study aimed to investigate the effects of micronutrient foliar application on the growth and yield traits of two *Camelina* genotypes (Soheil cultivar and Line-69) during the periods 1400-1401 and 1401-1402 at the Agriculture Research Station of Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. The experiment was conducted as a factorial design based on a completely randomized block with three replication, considering both cultivar and line. The applied treatments included foliar application of FeSO₄, ZnSO₄, MnSO₄, a combination of micronutrients (FeSO₄, ZnSO₄, MnSO₄), distilled water, and a control. These treatments were applied at two stages: 50% flowering and 50% podding. The results of mean comparison revealed that, over two cropping years, the highest 1000-grain weight (1.20 grams) was attained in the Soheil cultivar during the 50% flowering stage in the first cropping year, following the application of MnSO₄ by foliar application. The highest number of pods per plant (214 pods) was also observed in the Soheil cultivar during the 50% flowering stage, achieved through foliar application of FeSO₄ in the second crop year. Under the effect of genotype, the highest seed yield per hectare was obtained in the Soheil cultivar (1930 kg/hectare). Additionally, with the foliar application of FeSO₄ treatment, the quantity of seed yield per hectare reached 2049 kg/hectare. Considering the importance of planting oil plants, including *Camelina*, it is necessary to increase the area under cultivation and the quality production of *Camelina* by foliar application appropriate management strategies.

How to cite this paper: Tavakkol Afshari, R., Rostamipour, A., Khazaei, H.R., Kahrizi, D., & Eisvand, H.R. (2025). Foliar application of micronutrients on mother plant and its effect on seed production of two *Camelina* genotypes (*Camelina sativa* (L.)). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (2), 15-29. <https://doi.org/10.22092/IJSST.2024.364658.1514>



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

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Camelina is an oilseed plant belonging to the Brassicaceae family, widely utilized in the food and pharmaceutical industries. In Iran, farmers primarily use macronutrients to enhance crop yield, but the significance of micronutrients for increasing yield is also recognized. The application of micronutrients provides essential nutrients to plants rapidly and compensates for deficiencies that decrease growth. Key micronutrients such as iron, zinc, and manganese play crucial roles in promoting optimal growth and development in plants.

Materials and Methods

To study the effect of micronutrient foliar application on the yield and yield components of the oilseed plant Camelina, a field experiment was carried out as a split factorial experiment based on randomized complete block design with three replications and two genotypes. The treatments included genotypes (cultivar Soheil and line 69), foliar application stages (50% flowering and 50% podding), types of micronutrients: FeSO_4 (4 kg/ha), ZnSO_4 (3.6 kg/ha), MnSO_4 (2.5 kg/ha), and a combination of the three micronutrients (3.8 kg/ha), along with distilled water and control. Data analysis and visualization were performed using SAS software version 9.2 and Excel. Duncan's multiple range test was applied for mean comparisons at a significance level of 5%.

Results and Discussion

The traits of 1000-grain weight, seed yield, biological yield, and harvest index revealed statistically significant effects. The mean comparison results revealed that the maximum 1000-grain weight (1.20 g) was obtained in the Soheil cultivar during the 50% flowering stage in the first cropping year following foliar application of MnSO_4 . Similarly, the highest number of pods per plant (214) was recorded for the Soheil cultivar during the 50% podding stage in the second cropping year with foliar application of FeSO_4 . About genotype effects, the Soheil cultivar produced the highest seed yield per hectare (1930 kg/ha). In addition, under the effect of FeSO_4 foliar application, the maximum seed yield per hectare (2049 kg/ha) was achieved. Based on the results, the harvest index showed a significant difference only under the effect of the year (Table 3). The harvest index in the first agricultural year (42.4%) was higher on average compared to the second year (35.0%).

Foliar application of micronutrients, by establishing a balance between source and sink through delaying the senescence process and converting late flowers into pods,

ultimately leads to increased grain weight and improved yield (Kumar & Padbhushan, 2013; Banerjee et al., 2019). Foliar application of FeSO_4 enhances starch and sugar synthesis in leaves and their accumulation in grains by increasing photosynthetic pigment content and photosynthesis efficiency at the leaf level, resulting in increased grain weight and yield (Malakouti, 2008). According to the seed yield data from the first cropping year, the amount of seed produced during this period was less than that of the second year; therefore, competition among sinks for photosynthates was lower, producing larger seeds. There is a negative relationship between seed number and seed size, such that as seed number increases, seed size decreases (Chen et al., 2009).

The effect of foliar application of micronutrients on increasing the weight of 1000 grains in the Sohail genotype and Line 69, at both flowering and podding stages over two consecutive years, is clearly evident. The greatest impact of foliar application on increasing the weight of 1000 grains, an important yield component, was related respectively to the combined foliar application of MnSO_4 and ZnSO_4 micronutrients (Table 4). This study aligns with the findings of Pal et al. (2021) and Saady et al. (2021), which reported significant increases in yield and yield components in sesame following foliar application of a combination of iron, manganese, and zinc micronutrients. This effect is attributed to the synergistic impacts of combined micronutrients on photosynthetic efficiency, net assimilation rate, and improvements in seed and oil yield (Pal et al., 2021).

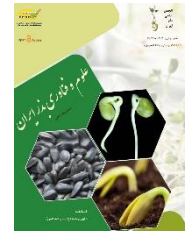
The application of iron and its effects on various physiological and biochemical pathways, including photosynthetic activity and the translocation of assimilates towards the sink, are well understood. Ultimately, this leads to maximum seed yield, increased thousand-grain weight, and improved crop performance (Vaghar et al., 2020).

Conclusion

In general, the results indicated that the foliar application of micronutrient under suitable environmental conditions and critical growth stages of the plant can play an important role in improving yield and its components. Foliar application of micronutrients in Soheil cultivar and line 69 during both the 50% flowering and 50% podding stages, particularly in the second year, had a notable impact. Soheil cultivar revealed the highest 1000-grain weight, seed yield per hectare, and biological yield. Additionally, the harvest index was significantly higher in the first year.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

محلول پاشی گیاه مادری با ریزمغذی ها و تأثیر آن بر تولید بذر دو ژنوتیپ کاملینا (*Camelina sativa* L.)اکرم رستمی پور^۱ ID، رضا توکل افشاری^{۲*} ID، حمیدرضا خزاعی^۳ ID، دانیال کهریزی^۴ ID، حمیدرضا عیسوند^۴ ID

۱. دانشجوی دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲. استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳. استاد، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

واژه‌های کلیدی:

اجزاء عملکرد،

رقم سهیل،

گیاه روغنی،

لاین ۶۹،

محلول ریزمغذی

نویسنده مسئول:

tavakolafshari@um.ac.ir

کاملینا یک گیاه دانه روغنی از خانواده براسیکاسه است که کاربرد زیادی در صنایع غذایی و دارویی دارد. این مطالعه به منظور بررسی اثر محلول پاشی ریزمغذی ها بر ویژگی های رشدی و عملکردی دو ژنوتیپ کاملینا (رقم سهیل و لاین-۶۹) طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار، یک لاین و یک رقم اجرا شد. تیمارهای اعمال شده شامل محلول پاشی سولفات آهن (۴ کیلوگرم سولفات آهن/۱۰۰ لیتر آب در هکتار)، سولفات روی (۳/۶ کیلوگرم سولفات روی/۱۰۰ لیتر آب در هکتار)، سولفات منگنز (۲/۵ کیلوگرم سولفات منگنز/۱۰۰ لیتر آب در هکتار)، ترکیبی (ریزمغذی سولفات آهن، سولفات روی، سولفات منگنز)، آب مقطر و شاهد که طی دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی و ۵۰ درصد خورجین دهی اعمال شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۱/۲۰ گرم) در رقم سهیل طی مرحله ۵۰ درصد گلدهی طی سال زراعی اول با اعمال محلول پاشی سولفات منگنز حاصل شد. بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۱۴ عدد) نیز در رقم سهیل طی مرحله ۵۰ درصد غلاف دهی با محلول پاشی سولفات آهن در سال زراعی دوم مشاهده شد. همچنین تحت تأثیر ژنوتیپ، بیشترین میزان عملکرد بذر در هکتار، در رقم سهیل (۱۹۳۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. تحت تأثیر محلول پاشی سولفات آهن نیز بیشترین میزان عملکرد بذر در هکتار (۲۰۴۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. با توجه به اهمیت کشت گیاهان روغنی از جمله کاملینا، لازم است با بکارگیری راهکارهای مدیریتی مناسب سطح زیر کشت و تولید با کیفیت کاملینا را افزایش داد.

نحوه استناد به این مقاله:

Tavakkol Afshari, R., Rostamipour, A., Khazaei, H.R., Kahrizi, D., & Eisvand, H.R. (2025). Foliar application of micronutrients on mother plant and its effect on seed production of two *Camelina* genotypes (*Camelina sativa* (L.)). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14 (2), 15-29. <https://doi.org/10.22092/IJSST.2024.364658.1514>

مقدمه

در طی سال های گذشته محصولات روغنی به علت کاربرد مهم در تغذیه انسان بسیار حائز اهمیت هستند. دانه های روغنی از نظر اهمیت غذایی بعد از غلات و حبوبات سومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می دهد (USDA, 2015; Watts, 2016) و حدود ۲۱۳ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت جهان را به خود اختصاص داده است (OECD-FAO, 2020). با توجه به نقش مهم دانه های روغنی برای تأمین نیازهای غذایی جمعیت جهان، توسعه ژنوتیپ ها و ارقام جدید دانه های روغنی امری ضروری می باشد. در حال حاضر روش های اصلاحی جدیدی جهت بهبود کیفیت تغذیه ای، روغن و سازگاری با شرایط متفاوت محیطی انجام شده است. کاملینا با نام علمی *Camelina sativa* (L.) Crantz یک گیاه دانه روغنی از خانواده براسیکاسه است که به عنوان کتان کاذب شناخته شده است (Bansal et al., 2016; Vollmann et al., 2015). منشأ کاملینا اروپای جنوب شرقی و آسیای جنوب غربی است (Belayneh et al., 2015). دوره رشدی کاملینا حدود ۱۱۰ روز است (Krizaniak et al., 2019; Zanty et al., 2017). وزن هزار دانه این گیاه بین ۱/۸-۰/۷ گرم متفاوت است (Jankowski et al., 2019; Righini et al., 2019; Zaluski et al., 2020). شرایط رشدی و تغذیه ای گیاه کاملینا بر افزایش میزان کیفیت و عملکرد تأثیر مهمی دارد. شرایط محیطی مانند دما و رطوبت خاک دو عامل مهم در تعیین عملکرد و کیفیت بذر کاملینا می باشد به طوری که تنش دمایی و کاهش بارندگی و رطوبت خاک طی مرحله زایشی می تواند بر عملکرد بذر این گیاه تأثیر منفی داشته باشد (Abure et al., 2015; Pavlista et al., 2011). اما در مورد شرایط تغذیه ای در گیاهان از جمله کاملینا، کمبود میزان ریز مغذی ها در گیاه با اثر منفی بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه راندمان عملکرد محصول را کاهش می دهد (Imtiaz et al., 2010). یکی از فعالیت های انجام شده برای تولید بذرهای دارای کیفیت مطلوب، توجه به نیازهای غذایی گیاه مادر است که با در اختیار داشتن مواد غذایی مورد نیاز خود به مقدار کافی، زمینه را برای تولید بذرهای با کیفیت بالا که منجر به افزایش تولید در واحد سطح می شود، فراهم سازد (Agha Alikhani & Asharin, 2012). در کشور ایران،

کشاورزان جهت بهبود عملکرد محصول به کودهای ماکرو (NPK) بسنده می کنند، در حالی که اهمیت و ضرورت کاربرد ریز مغذی ها در جهت افزایش عملکرد امری مهم تلقی می شود. محلول پاشی ریز مغذی ها جهت تأمین مواد مغذی مورد نیاز گیاه یک روش بسیار مؤثر است که مواد مورد نیاز را خیلی سریع در اختیار گیاه قرار داده و کمبود عناصر غذایی برای رشد گیاه را جبران می کند (Rengasamy et al., 2016). عناصری مانند آهن، روی و منگنز سه ریز مغذی مهم در فرایندهای رشد و نمو مطلوب در گیاهان هستند. زمانی که غلظت این عناصر در گیاه نوسان داشته باشد اثرات منفی را در فرایند رشد و نمو گیاه و عملکرد محصول به دنبال خواهد داشت (Lynch, 2019). محلول پاشی عناصر ریز مغذی مانند FeSO_4 ، ZnSO_4 و MnSO_4 نسبت به کاربرد خاکی آن ها میزان جذب بسیار بیشتری در گیاه را نشان می دهد (Moghadam et al., 2011). آهن نقش مهمی در جذب دیگر مواد مغذی توسط گیاه دارد که کارایی فتوسنتز را بالا برده و انتقال مواد از منبع به مقصد را تسریع می نماید و در نهایت راندمان عملکرد را افزایش می دهد (Bera et al., 2015). علاوه بر این عنصر منگنز از برگ پرچم به سمت مخزن (دانه ها) انتقال مؤثری داشته و بین قسمت های منبع و مخزن تعادل مناسبی از مواد فتوسنتزی را فراهم می کند (Zulfiqar et al., 2021). از سوی دیگر محلول پاشی روی در گیاه با افزایش محتوای کلروفیل، افزایش بیوسنتز اکسین، جذب نیتروژن، فسفر و کاهش غلظت یون سدیم در بافت های گیاهی سبب افزایش عملکرد و میزان روغن می شود (Moinuddin & Imas, 2008).

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی ریز مغذی ها بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه روغنی کاملینا، آزمایش مزرعه ای طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار، یک رقم و یک لاین

آبیاری ها تا زمان استقرار بوته ها هر ۴ روز یکبار (رطوبت ۶۵ تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. در ادامه فصل رشد، آبیاری ها به صورت هفتگی (رطوبت ۵۵ درصد تا ۶۵ درصد ظرفیت زراعی) ادامه یافت. جهت محلول پاشی برای هر کرت به طور مجزا ۱/۲ گرم سولفات آهن، ۱/۱ گرم سولفات روی، ۰/۷۵ گرم سولفات منگنز و همچنین ترکیب سه ریزمغذی در یک لیتر آب مقطر حل شد و زمان محلول پاشی همزمان با غروب آفتاب بود. همچنین در طی فصل رشد، کنترل علف های هرز به صورت دستی انجام شد. زمانی که ۸۵ تا ۹۵ درصد از دانه های موجود در غلاف های ساقه اصلی و شاخه های فرعی به رنگ قهوه ای متمایل شدند و رطوبت دانه به زیر ۱۴ درصد رسید، عملیات برداشت انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۱۰ بوته از هر کرت به صورت تصادفی از دو خط میانی انتخاب و صفات مربوطه بررسی گردید.

جهت تجزیه و تحلیل داده ها و رسم نمودارها از نرم افزار آماری SAS Ver.9.2، Excel و برای مقایسات میانگین از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد (ابتدا آزمون بارتلت انجام گرفت و با توجه به عدم معنی داری برای هر دو سال تجزیه مرکب صورت گرفت).

اجرا شد. بنابراین تیمارها شامل ژنوتیپ ها (رقم سهیل و لاین ۶۹)، مرحله محلول پاشی (در دو سطح مرحله ۵۰ درصد گلدهی و مرحله ۵۰ درصد غلاف دهی) و انواع ریزمغذی ها سولفات آهن (Iron (II) sulfate heptahydrate-SIGMA-ALDRICH)، ۴ کیلوگرم در هکتار، سولفات روی (Zinc sulfate heptahydrate-SIGMA-ALDRICH)، ۳/۶ کیلوگرم در هکتار، سولفات منگنز (Manganese (II) sulfate monohydrate-SIGMA-ALDRICH)، ۲/۵ کیلوگرم در هکتار و ترکیبی از سه ریزمغذی فوق (۳/۳۸ کیلوگرم در هکتار)، آب مقطر و شاهد بود. قبل از آماده سازی مزرعه برای کشت، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (از نظر درصد رس، ماسه و سیلت، درصد مواد آلی، حلالیت عناصر غذایی، pH و هدایت الکتریکی) به صورت ۱۲ نمونه تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر تعیین شد (جدول ۱). ابعاد هر قطعه آزمایشی برابر با ۱/۷×۲ متر تعیین شد. فاصله ردیف ها ۳۰ سانتی متر، فاصله کرت ها ۵۵ سانتی متر و فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر بود. تراکم بوته استقرار یافته ۴۰۰ دانه در مترمربع بود. بذرها در عمق کمتر از ۱ سانتی متر کشت شد، سپس روی بذرها با یک لایه نازک خاک و ماسه بادی پوشانده شد. اولین آبیاری (به صورت نشتی) بلافاصله بعد از کشت و سایر

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و بیوشیمیایی آزمون خاک در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 1- Physical and biochemical characteristics of soil test in 2021 and 2022

سال Year	عمق خاک Dept (cm)	هدایت الکتریکی EC (ds m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	مواد آلی Organic matter (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg/kg)	پتاسیم K (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	منگنز Mn (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	بافت Texture (mg/kg)
2021	0-30	0.16	7.81	0.68	1.17	0.056	27.82	168.2	3.72	2.56	1.22	Silt- Loam سیلیتی-لومی
2022	0-30	0.52	7.68	1.25	2.15	0.087	22	156.7	2.87	2.32	1.18	Silt- Loam سیلیتی-لومی

جدول ۲- میانگین کمینه، بیشینه دما، رطوبت، بارندگی و تشعشعات خورشیدی در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 2- Average minimum and maximum temperature, humidity, rainfall and solar radiation in 2021 and 2022

سال (Year)	ماه (Month)	میانگین دمای حداقل Average of min temperature	میانگین دمای حداکثر Average of max temperature	میانگین رطوبت حداقل Average of min humidity	میانگین رطوبت حداکثر Average of max humidity	میانگین بارندگی ماهانه Average monthly rainfall	میانگین تابش Average of Radiation
2021	March	9.6	23.6	31	69	5.75	1972.0
	April	14.7	28.8	33	64	16.47	2389.0
	May	20.6	36.0	22	43	0.01	2831.6
	June	21.2	36.9	21	42	0.9	2820.8
2022	February	5.7	15.7	50	84	24.82	1183.2
	March	9.1	22.7	39	73	38.34	1825.6
	April	14.6	26.8	43	80	53.94	2137.6
	May	18.0	31.8	28	58	29.53	2792.0

نتایج و بحث

روند تغییرات وزن تر و خشک بذر

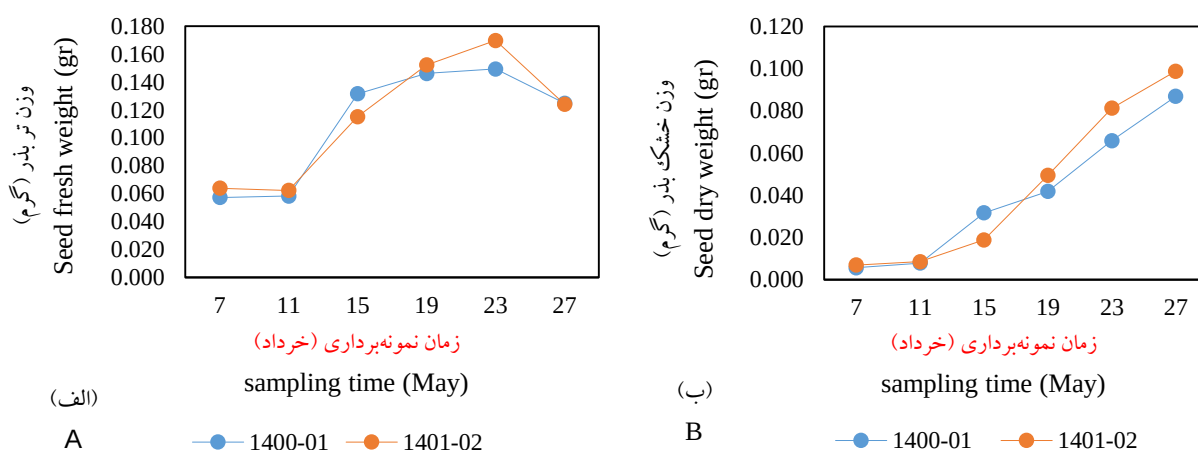
معمولاً طی دو سال زراعی همزمان با ۱۱ تا ۲۳ خرداد ماه که بذرها وارد مرحله نمویی شدند. این مرحله شامل تقسیم سلولی سریع و ساخت مواد ذخیره‌ای است که منجر به افزایش سریع وزن خشک و تر بذر می‌شود. در تاریخ ۲۳ تا ۲۷ خرداد ماه که بذر در مرحله رسیدگی قرار گرفت وزن خشک بذر به حداکثر میزان خود رسیده و بعد از آن متوقف شد. همچنین وزن تر کاهش قابل توجهی داشت. در تاریخ ۲۳ تا ۲۷ خرداد ماه با توجه به دمای بالا و افزایش فرایند تعرق از سطح گیاه و همچنین با رسیدن بذر به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از میزان رطوبت بذر کاسته شده در نتیجه وزن تر بذر کاهش و وزن خشک به حداکثر میزان خود رسید (شکل ۱). با توجه به این تغییرات، وزن تر بذر به دست آمده حین رسیدگی فیزیولوژیک در سال دوم به میزان (۰/۱۷۳ گرم) و در سال اول (۰/۱۵۰ گرم) بود، همچنین در سال زراعی اول با توجه به افزایش دما، تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاه، تنش ناشی از دمای حداکثر سبب کاهش تعداد گل‌ها و باروری گیاه شد. تحت تأثیر این شرایط، با کاهش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف، رقابت برای به دست آوردن مواد فتوسنتزی کاهش پیدا کرده و انتقال آسمیلات‌های فتوسنتزی از منبع به مخزن افزایش پیدا کرده که این خود، دلیل افزایش وزن دانه

محسوب می‌شود. وزن خشک بذر به میزان (۰/۸۰ گرم) نسبت به سال دوم (۰/۶۰ گرم) افزایش داشت (شکل ۱). در مراحل اولیه نمو بذر، فاصله زمانی ۷ تا ۱۱ خرداد ماه تغییری در افزایش وزن تر بذر رقم سهیل و لاین ۶۹ مشاهده نشد پس از این زمان وزن تر بذر روند افزایشی پیدا کرد به طوری که در ۲۳ خرداد وزن بذر در هر دو رقم به حداکثر مقدار خود رسید اما بعد از آن به دلیل رسیدگی فیزیولوژیک و افزایش دما، وزن تر بذر در رقم سهیل و لاین ۶۹ کاهش پیدا کرد. از سوی دیگر نیز وزن خشک بذر در هر دو افزایش داشت (شکل ۲). اعمال محلول پاشی ریزمغذی‌ها در مقایسه با شاهد و آب مقطر اثرات مطلوبی بر افزایش وزن تر و خشک بذر نشان داد به طوری که محلول پاشی سولفات آهن بیشترین تأثیر را بر افزایش وزن تر (۰/۱۶۰ گرم) و خشک بذر (۰/۹۰ گرم) نشان داد (شکل ۳). با بررسی روند رشد و نمو بذر تحت تأثیر محلول پاشی ریزمغذی‌ها طی مراحل زایشی گیاه کاملینا مشخص شد که با محلول پاشی ریزمغذی‌ها در مرحله ۵۰ درصد غلاف‌دهی نسبت به محلول پاشی مرحله ۵۰ درصد گلدهی، وزن خشک و وزن تر بذر در طی مراحل مختلف نمو افزایش بهتری داشت اما در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تأثیر محلول پاشی در مراحل ۵۰ درصد گلدهی و ۵۰ درصد غلاف‌دهی بر افزایش وزن خشک بذر یکسان بود (شکل ۴). در این بررسی تأثیر محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر وزن بذر در مقایسه با آب مقطر

فتوسنتزی و راندمان فتوسنتز در سطح برگ، سبب افزایش وزن و عملکرد دانه می‌شود (Malakouti, 2008). با توجه به داده‌های حاصل از عملکرد بذر در سال زراعی اول میزان بذر تولید شده طی این زمان در مقایسه با سال دوم کمتر بود، لذا رقابت بین sinkها برای به دست آوردن مواد فتوسنتزی کمتر بوده و بذرها در شت‌تری حاصل شد و یک رابطه منفی بین تعداد بذر و اندازه آن وجود دارد به طوری که با افزایش تعداد بذر، اندازه بذر کاهش پیدا می‌کند (Chen et al., 2009).

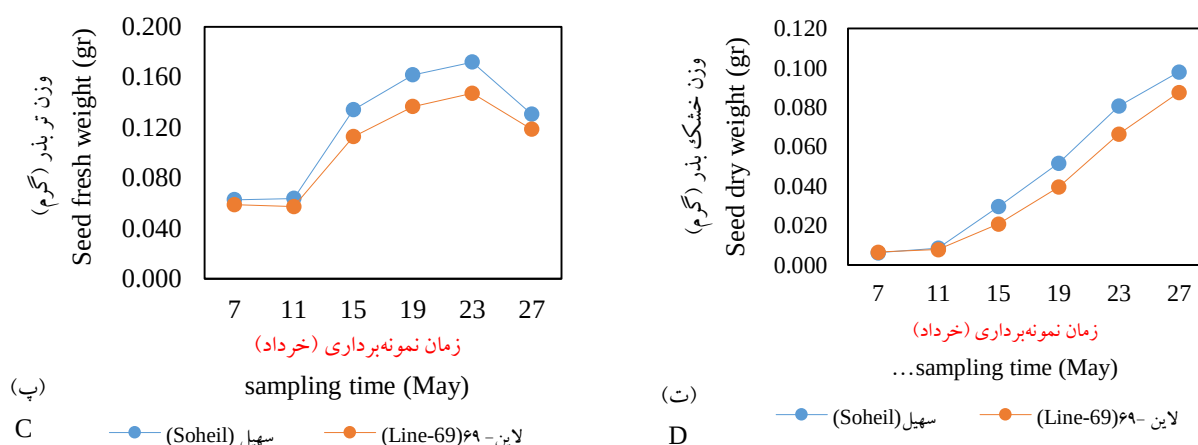
و شاهد نتیجه بهتری نشان داد و از بین آن‌ها محلول‌پاشی سولفات آهن بیشترین مقدار را نشان داد.

محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها با برقراری تعادل بین منبع و مخزن از طریق تأخیر در فرایند پیری و تبدیل گل‌های دیررس به غلاف در نهایت باعث افزایش وزن دانه و بهبود عملکرد می‌شود (Banerjee et al., 2019; Kumar & Padbhushan, 2013)، که محلول‌پاشی آهن با افزایش سنتز نشاسته و قندهای موجود در برگ‌ها و تجمع آن‌ها در دانه از طریق افزایش میزان رنگدانه



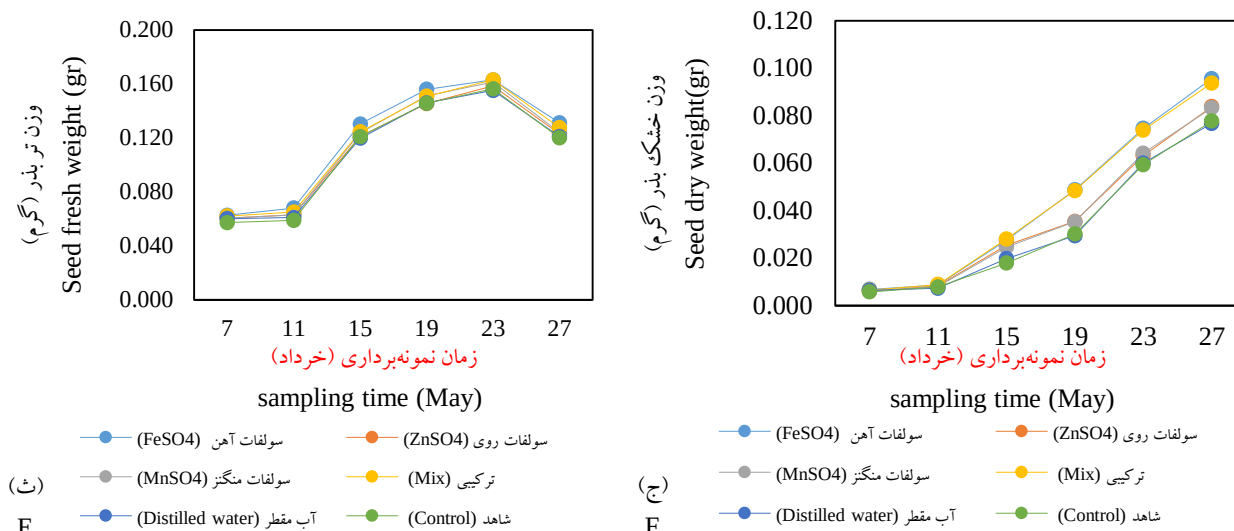
شکل ۱- میانگین تغییرات وزن تر (الف) و خشک (ب) بذر کاملینا در فواصل مختلف نمونه‌برداری طی دو سال زراعی.

Figure 1- Average variation in camelina seed fresh (A) and dry (B) weight at divers sampling intervals during two crop years.



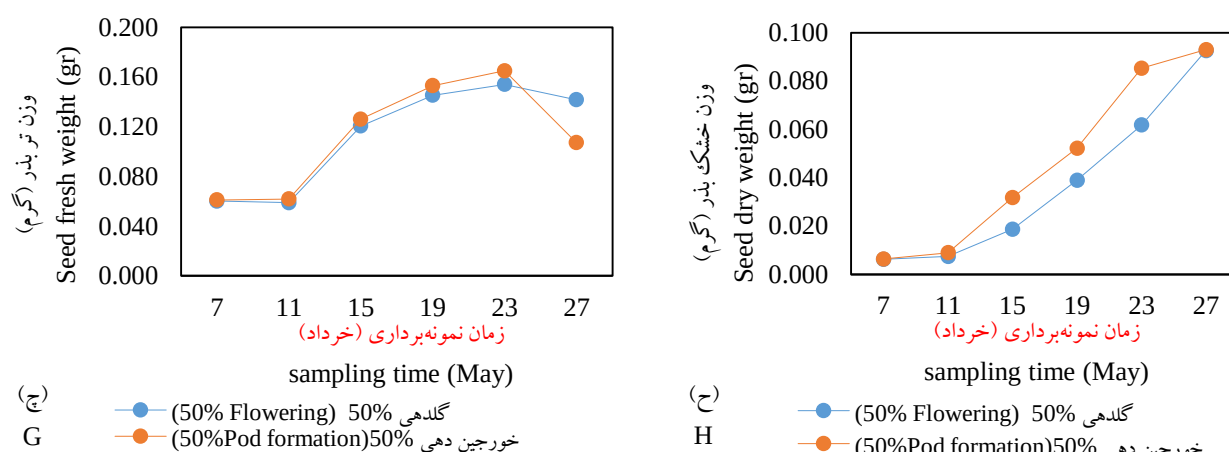
شکل ۲- میانگین تغییرات وزن تر (پ) و خشک (ت) بذر دو ژنوتیپ کاملینا (رقم سهیل و لاین-۶۹) در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری طی دو سال زراعی.

Figure 2- Average variation in seed fresh (C) and dry (D) weight of two camelina genotypes (soheil cultivar and Line-69) at diverse sampling times during two crop years.



شکل ۳- میانگین تغییرات وزن تر (ث) و خشک (ج) بذر کاملین ۱ در زمان‌های مختلف نمونه برداری تحت تأثیر محلول پاشی ریز مغذی‌ها طی دو سال زراعی.

Figure 3- Average variations in fresh (E) and dry (F) weight of seed camelina at diverse sampling times under the influence of micronutrients foliar application during two crop years.



شکل ۴- میانگین تغییرات وزن تر (ج) و خشک (ح) بذر کاملینا در زمان‌های مختلف نمونه برداری تحت تأثیر مراحل محلول پاشی ریز مغذی‌ها طی دو سال زراعی.

Figure 4- Average variations in fresh (G) and dry (H) weight of camelina seed at divers sampling times under the effect of stages micronutrient foliar application during two crop years.

وزن هزار دانه

مطابق نتایج (جدول ۳)، صفت وزن ۱۰۰۰ دانه تحت تأثیر سال، ژنوتیپ، محلول ریز مغذی‌ها و اثرات متقابل آن اختلاف معنی داری را ثبت کرد.

بر اساس این مطالعه در رقم سهیل طی سال اول در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، بیشترین میانگین وزن ۱۰۰۰ دانه نسبت به شاهد (۱۴/۶۱٪) با اعمال تیمار محلول پاشی سولفات منگنز به دست آمد که با اثر تیمار محلول پاشی ترکیبی سه ریز مغذی (۱/۶۹٪)

اختلاف چندانی نداشت (جدول ۴). اما سال دوم در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، تیمار محلول پاشی ترکیبی نسبت به شاهد بیشترین تأثیر (۹/۲۷٪) را بر وزن ۱۰۰۰ دانه در رقم سهیل اعمال کرد (جدول ۴). لاین ۶۹ نیز در دو سال زراعی طی مرحله ۵۰ درصد گلدهی، با اعمال تیمار محلول پاشی ترکیبی نسبت به شاهد دارای بیشترین میانگین وزن هزار دانه به ترتیب (۱۳/۹۲٪) و (۸/۲۱٪) بود. در رقم سهیل و مرحله ۵۰ درصد غلاف دهی طی سال اول با

ریزمغذی‌های سولفات منگنز و سولفات روی می‌باشد (جدول ۴). مطالعه انجام شده با یافته‌های (Pal et al., 2021) و (Saudy et al., 2021) مطابقت دارد به طوری که با کاربرد محلول پاشی ترکیبی ریزمغذی‌های آهن، منگنز و روی افزایش قابل توجهی در عملکرد و اجزاء عملکرد در کنجد مشاهده شد و این به علت اثرات هم‌افزایی ریزمغذی‌های ترکیبی بر راندان فتوسنتز، سرعت جذب خالص، بهبود عملکرد بذر و عملکرد روغن می‌باشد (Pal et al., 2021).

اعمال تیمار محلول پاشی ترکیبی، حداکثر وزن ۱۰۰۰ دانه در مقایسه با شاهد (۱۷/۰۶٪) به دست آمد. یک همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن هزار دانه با شاخص برداشت وجود دارد (جدول ۸). تأثیر محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر افزایش وزن ۱۰۰۰ دانه در رقم سهیل و لاین ۶۹، در هر دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی طی دو سال متوالی کاملاً مشهود می‌باشد و بیشترین تأثیر محلول پاشی ریزمغذی‌ها بر افزایش وزن هزار دانه به عنوان جزء مهمی از عملکرد به ترتیب مربوط به محلول پاشی ترکیبی

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات عملکرد رقم سهیل و لاین-۶۹ تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی ریزمغذی طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱
Table 3- Variance analysis of yield traits of soheil cultivar and line-69 under the influence of micronutrient foliar treatments during the cropping year 2021-2022 and 2022-2023

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean Square			
		وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000- grain Weight(gr)	عملکرد بذر در هکتار (کیلوگرم) Seed yield/ha(Kg)	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت Harvest index
سال (Y)	1	0.544**	523332 ^{ns}	54250590**	1935**
خطای (Y)	4	0.0001	136767	36757	64.0
ژنوتیپ (A)	1	0.153**	644408*	1218448*	72.3 ^{ns}
Y×A	1	0.028**	8946 ^{ns}	68731 ^{ns}	1.07 ^{ns}
خطای (A)Y	4	0.0003	45269	142047	32.9
مرحله محلول پاشی (B)	1	0.0001 ^{ns}	59984 ^{ns}	34086 ^{ns}	0.360 ^{ns}
محلول ریزمغذی (C)	5	0.011**	523794**	1274947**	45.2 ^{ns}
A×B	1	0.001*	18203 ^{ns}	6480 ^{ns}	17.5 ^{ns}
A×C	5	0.005**	12947 ^{ns}	49904 ^{ns}	12.5 ^{ns}
B×C	5	0.010**	54517 ^{ns}	31311 ^{ns}	12.2 ^{ns}
A×B×C	5	0.018**	10357 ^{ns}	194321 ^{ns}	5.87 ^{ns}
Y×B	1	0.016**	3938 ^{ns}	7891 ^{ns}	1.36 ^{ns}
Y×C	5	0.011**	3669 ^{ns}	270939 ^{ns}	18.8 ^{ns}
Y×A×B	1	0.007**	158 ^{ns}	349478 ^{ns}	29.3 ^{ns}
Y×A×C	5	0.003**	1391 ^{ns}	190492 ^{ns}	16.0 ^{ns}
Y×B×C	5	0.004**	454 ^{ns}	1296291 ^{ns}	6.45 ^{ns}
Y×A×B×C	5	0.003**	1612 ^{ns}	18776 ^{ns}	3.63 ^{ns}
خطای کل Total error	88	0.0002	36789	133326	24.6
ضریب تغییرات Coefficient of variation		1.32	10	7.47	12.8

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

ns, *, **, non-significance at the 5% probability level, significance at the 5% probability level, and significance at the 1% probability level, respectively.

جدول ۴- برهمکنش سال × رقم × مرحله محلول پاشی × محلول ریز مغذی بر وزن هزار دانه رقم سهیل و لاین ۶۹ طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱
Table 7- Interaction of year × cultivar × foliar application stage × micronutrient solution on 1000-grain weight of Soheil and Line-69 cultivars during the crop year 2021-2022 and 2022-2023

سال Year	ژنوتیپ Genotype	مرحله محلول پاشی Foliar application	محلول ریز مغذی Micronutrient solution	وزن هزار دانه 1000-grain weight (gr)	سال Year	ژنوتیپ Genotype	مرحله محلول پاشی Foliar application stage	محلول ریز مغذی Micronutrient solution	وزن هزار دانه 1000-grain weight (gr)
سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ crop year 2021-2022	رقم سهیل Soheil	۵۰٪ گلدهی 50% Flowering	سولفات آهن FeSO ₄	1.130b	سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ crop year 2022-2023	رقم سهیل Soheil	۵۰٪ گلدهی 50% Flowering	سولفات آهن FeSO ₄	0.989pq
			سولفات روی ZnSO ₄	1.074e-g				سولفات روی ZnSO ₄	1.022l-o
			سولفات منگنز MnSO ₄	1.200a				سولفات منگنز MnSO ₄	1.000o-q
			ترکیبی Mix	1.180a				ترکیبی Mix	1.025k-n
			آب مقطر Distilled water	1.048h-k				آب مقطر Distilled water	0.919st
			شاهد Control	1.047i-l				شاهد Control	0.938rs
		۵۰٪ خورجین دهی 50% Pod formation	سولفات آهن FeSO ₄	1.117bc			۵۰٪ خورجین دهی 50% Pod formation	سولفات آهن FeSO ₄	1.022l-o
			سولفات روی ZnSO ₄	1.063e-i				سولفات روی ZnSO ₄	1.036j-m
			سولفات منگنز MnSO ₄	1.047i-l				سولفات منگنز MnSO ₄	1.079de
			ترکیبی Mix	1.180a				ترکیبی Mix	1.053f-j
			آب مقطر Distilled water	1.033j-m				آب مقطر Distilled water	0.953r
			شاهد Control	1.008n-p				شاهد Control	0.939rs
	لاین ۶۹ Line-69	۵۰٪ گلدهی 50% Flowering	سولفات آهن FeSO ₄	1.099cd		لاین ۶۹ Line-69	۵۰٪ گلدهی 50% Flowering	سولفات آهن FeSO ₄	0.927s
			سولفات روی ZnSO ₄	1.050g-k				سولفات روی ZnSO ₄	0.929rs
			سولفات منگنز MnSO ₄	1.073e-g				سولفات منگنز MnSO ₄	0.873vw
			ترکیبی Mix	1.113bc				ترکیبی Mix	0.935rs
			آب مقطر Distilled water	1.031j-n				آب مقطر Distilled water	0.864vw
			شاهد Control	0.977q				شاهد Control	0.864vw
		۵۰٪ خورجین دهی 50% Pod formation	سولفات آهن FeSO ₄	1.072e-h			۵۰٪ خورجین دهی 50% Pod formation	سولفات آهن FeSO ₄	0.896tu
			سولفات روی ZnSO ₄	1.111bc				سولفات روی ZnSO ₄	0.984q
			سولفات منگنز MnSO ₄	1.077d-f				سولفات منگنز MnSO ₄	0.900tu
			ترکیبی Mix	1.073e-g				ترکیبی Mix	0.953r
			آب مقطر Distilled water	1.017m-o				آب مقطر Distilled water	0.883uv
			شاهد Control	0.990pq				شاهد Control	0.850w

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

*Means with common letters are not significantly different at 5% probability level based on Duncan's test.

عملکرد بذر در هکتار

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، عملکرد بذر در هکتار تنها تحت تأثیر ژنوتیپ و محلول ریز مغذی ها تفاوت معنی داری داشت. مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ بر عملکرد بذر در هکتار نشان داد که رقم سهیل با میانگین عملکرد (۱۹۳۰) کیلوگرم در هکتار نسبت به لاین ۶۹ با میانگین عملکرد (۱۷۹۶) کیلوگرم در هکتار حدود (۷/۴۶٪) افزایش داشت (جدول ۵). همچنین با بررسی اثر محلول پاشی ریز مغذی ها بر عملکرد بذر در هکتار مشاهده شد که میزان عملکرد بذر در هکتار نسبت به شاهد تحت تأثیر محلول پاشی ریز مغذی سولفات آهن با میانگین (۲۵/۳۲٪) افزایش قابل ملاحظه ای را نشان داد (جدول ۶). به طوری که براساس نتایج

همبستگی، عملکرد بذر در هکتار با عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت رابطه مستقیم دارد (جدول ۸). در این بررسی محلول پاشی ریز مغذی ها در رقم سهیل و لاین ۶۹ تأثیر مطلوبی بر عملکرد بذر در هکتار و عملکرد بیولوژیک نشان داد اما در بین آن ها، محلول پاشی سولفات آهن اثر بیشتری بر افزایش این دو شاخص داشت (جدول ۶). کاربرد آهن و تأثیر آن بر انواع مسیرهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله فعالیت فتوسنتزی و انتقال آسمیلات ها به سمت مخزن کاملاً روشن است که در نهایت حداکثر عملکرد بذر، افزایش وزن هزار دانه و افزایش عملکرد محصول را سبب می شود (Babaiean, 2012; Yadav et al., 2013; Rout & Sahoo, 2015; Vaghar et al., 2020).

جدول ۵- اثر برهمکنش ژنوتیپ بر صفات عملکرد بذر در هکتار و عملکرد بیولوژیک در دو رقم سهیل و لاین ۶۹

Table 5- The effect of cultivar interaction on the traits of seed yield per hectare and biological yield per hectare in two cultivars, Soheil and Line-69

ژنوتیپ Genotype	عملکرد بذر (کیلوگرم در هکتار) Seed yield(Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biologic yield(kg/ha)
سهیل Soheil	1930 a	4981 a
لاین ۶۹ Line-69	1796 b	4797 b

*میانگین های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

*Means that have at least one letter in common have no significant difference at the 5% level of Duncan's test.

جدول ۶- برهمکنش اثر محلول ریز مغذی ها بر عملکرد بذر در هکتار و عملکرد بیولوژیک در دو رقم سهیل و لاین ۶۹

Table 6- The interaction effect of micronutrient solution on seed yield per hectare and biological yield per hectare in two cultivars, Soheil and Line-69

محلول ریز مغذی micronutrient solution	عملکرد بذر (کیلوگرم در هکتار) Seed yield(Kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biologic yield(kg/ha)
سولفات آهن FeSO ₄	2049a	5097a
سولفات روی ZnSO ₄	1951ab	5023a
سولفات منگنز MnSO ₄	1915b	5010a
ترکیبی Mix	1872b	5010a
آب مقطر Distilled water	1754c	4655b
شاهد Control	1635d	4542b

*میانگین های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

* Means with common letters are not significantly different at 5% probability level based on Duncan's test

بر مبنای میزان سازگاری و بازده اقتصادی (شامل عملکرد بیولوژیکی یا عملکرد بذری) می باشد (Zaid et al., 2012).

عملکرد بیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) که عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر سال، محلول ریز مغذی و ژنوتیپ معنی دار شد. به طوری که در سال زراعی دوم نسبت به سال زراعی اول عملکرد بیولوژیکی به میزان ۲۹٪ افزایش داشت (جدول ۴)، همچنین رقم سهیل با میانگین شاخص عملکرد بیولوژیکی (۴۹۸۱) کیلوگرم در هکتار) نسبت به لاین ۶۹ با میانگین عملکرد بیولوژیکی (۴۷۹۷) کیلوگرم در هکتار) به مراتب حدود ۴٪ افزایش داشت (جدول ۵). با بررسی اثر محلول پاشی ریز مغذی ها، تحت تأثیر محلول پاشی سولفات آهن شاخص عملکرد بیولوژیکی به میزان (۱۲/۲۱٪) نسبت به شاهد روند افزایشی داشت (جدول ۶). براساس نتایج همبستگی نیز، رابطه منفی بین عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت وجود دارد (جدول ۸). با بررسی افزایش عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر سال، بنابر تغییرات مطلوب شرایط آب و هوایی از جمله دما، رطوبت و تشعشع خورشیدی در سال دوم (جدول ۲)، عملکرد بیولوژیکی در هر دو رقم سهیل و لاین ۶۹ روند افزایشی پیدا کرد، اما رقم سهیل با توجه به پتانسیل عملکردی بالا، بیشترین عملکرد بیولوژیکی را نشان داد.

شاخص برداشت

بر اساس نتایج، شاخص برداشت تنها تحت تأثیر سال اختلاف معنی داری را نشان داد (جدول ۳). به طوری که شاخص برداشت در سال زراعی اول (۴۲/۴٪) نسبت به سال دوم (۳۵/۰٪) دارای میانگین بیشتری بود (جدول ۷). مطابق با داده های جدول (۲) در سال دوم با افزایش میانگین رطوبت ماهیانه، کاهش میانگین دمای ماهیانه و شدت تشعشعات خورشیدی کمتر در فروردین و اردیبهشت ماه که همزمان با مرحله رشد رویشی گیاه بود در نتیجه شرایط مطلوب برای حداکثر رشد رویشی بوته، ایجاد شاخه های جانبی بیشتر و افزایش میزان کاه و کلش فراهم شده است، اما با توجه به افزایش شدت تنش دمایی در سال زراعی اول، می توان گفت که تنش گرمایی در دوره های کوتاه مدت، کاهش شدید عملکرد بذری را در پی دارد که راندمان استفاده از منابع را کاهش

در رابطه با این موضوع، (Rawashdeh & Sala, 2015) آزمایشی به این نتیجه رسیدند که کاربرد ریز مغذی ها رابطه مثبت و معنی داری با عملکرد بیولوژیکی در گیاهان مختلف دارد. آهن با افزایش سنتز هورمون اکسین و پروتئین های دخیل در رشد رویشی سبب افزایش ماده خشک در گیاه می شود و به شرط تعادل با دیگر عناصر مورد نیاز در گیاه با اثر مثبت بر فرایندهای فیزیولوژیکی، فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن در نهایت رشد و نمو محصول را تحت تأثیر قرار داده و سبب افزایش عملکرد کاه و محصول می شود (Yadav et al., 2013). افزایش وزن دانه به عنوان جزئی از عملکرد بیولوژیکی می تواند سبب عملکرد بیولوژیکی حداکثر شود (Saleem et al., 2020). اما در بررسی اثر ژنوتیپ، معمولاً رقم سهیل در مقایسه با لاین ۶۹، سازگاری و مقاومت بالایی نسبت به شرایط متفاوت محیطی داشته و این انتظار می رود که بیشترین عملکرد بذری در هکتار را داشته باشد. پس انتخاب ژنوتیپ یکی از عوامل مهمی است که بر رشد و عملکرد محصولات زراعی تأثیر گذار است. همچنین ژنوتیپ در کنار سایر شرایط محیطی نقش مهمی را بر عملکرد ایفا می کند (Banotra et al., 2021).

با توجه به اینکه میزان عملکرد بیولوژیکی در سال زراعی دوم (۵۵۰۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سال زراعی اول (۴۲۷۵ کیلوگرم در هکتار) بیشترین مقدار را نشان داد اما برعکس شاخص برداشت در سال زراعی دوم (۳۵/۰ درصد) به مراتب کمتر از سال زراعی اول (۴۲/۴ درصد) بود. بر همین اساس بین عملکرد بذری در هکتار با عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت یک رابطه مستقیم وجود دارد. از سوی دیگر بین عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت یک رابطه معکوس و منفی برقرار است. معمولاً عملکرد بالقوه محصول تحت تأثیر ویژگی های کیفی بذری کاشته شده (شامل توده بذری، قابلیت ذخیره سازی، بنیه بذری و جوانه زنی) می باشد که کیفیت یک بذری نیز بستگی به ویژگی های ژنتیکی و شرایط محیطی گیاه مادری طی نمو بذری دارد (Hampton et al., 2013 Hampton, 2002). تغییرات شرایط محیطی تأثیر مهمی بر عملکرد بیولوژیکی گیاهان دارد. عملکرد بیولوژیکی میزان وراثت پذیری عملکرد ژنوتیپی را از محیط نشان می دهد. بنابراین هدف از انتخاب ژنوتیپ برای کشت

داده و با افت عملکرد محصول سبب کاهش در مقادیر شاخص برداشت نیز می شود (Siebert et al., 2014). همچنین شرایط محیطی مانند دماهای بالا و میزان رطوبت موجود برای گیاه به ویژه طی مرحله رشد زایشی از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار بر شاخص برداشت می باشند (Parker et al., 2020). دماهای بالا با تأثیر منفی بر باروری سنبلیچه، پر شدن دانه، افزایش دانه های پوک شده، در نهایت سبب کاهش وزن دانه و کاهش شاخص برداشت می شود (Nguyen et al., 2012; Prasad et al., 2006).

جدول ۷- اثر برهمکنش سال بر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در دو رقم سهیل و لاین ۶۹ طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Table 7- The effect of year interaction on biological yield and harvest index in two soheil cultivar and line-69 during crop year 2021-2022 and 2022-2023

سال Year	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biologic yield (kg/ha)	شاخص برداشت Harvest index
2021-2022	4275b	42.4a
2022-2023	5503a	35.0b

*میانگین های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

*Means that have at least one letter in common have no significant difference at the 5% level of Duncan's test.

جدول ۸- همبستگی صفات عملکرد بذر در هکتار، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

Table 8- Correlation of traits of seed yield per hectare, 1000 grain weight, biological yield and harvest index

	عملکرد بذر در هکتار A	وزن ۱۰۰۰ دانه B	عملکرد بیولوژیک C	شاخص برداشت D
A	1			
B	-0.02 ^{ns}	1		
C	0.40 ^{**}	-0.54 ^{**}	1	
D	0.41 ^{**}	0.52 ^{**}	-0.66 ^{**}	1

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

نتایج

نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان داد که کاربرد محلول پاشی ریزمغذی ها در شرایط محیطی مناسب و مراحل بحرانی رشد و نمو گیاه می تواند نقش مؤثری در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد داشته باشد. محلول پاشی ریزمغذی ها در رقم سهیل و لاین ۶۹ طی هر دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی و ۵۰ درصد غلاف دهی به ویژه در سال دوم نقش مؤثری داشت. رقم سهیل دارای بیشترین میزان وزن هزار دانه، عملکرد بذر در هکتار و عملکرد بیولوژیک بود. همچنین میزان شاخص برداشت در سال اول به مراتب بیشتر بود.

سپاسگزاری

در نهایت مراتب قدردانی و سپاس را از اساتید گرامی، مسئولین آزمایشگاه دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه لرستان جهت همکاری و مساعدت در انجام این پژوهش به عمل می آید.

References

- Agha Alikhani, M., & Asharin, H. (2012). Effect of nitrogen application rate in the field on germination indices of three winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars in standard germination test. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 1(1), 10-19. [In Persian]
- Bansal, S., & Durrett, T. P. (2016). Camelina sativa: An ideal platform for the metabolic engineering and field production of industrial lipids. *Biochimie*, 120, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2015.06.009>
- Babaeian, M. (2012). Efficacy of different iron, zinc, and magnesium fertilizers on yield and yield components of barley. *African Journal of Microbiology Research*, 6, 5754-5756. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.1638>

- Banerjee, P., Kumari, V. V., Nath, R., & Bandyopadhyay, P. (2019).** Seed priming and foliar nutrition studies on relay grass pea after winter rice in lower Gangetic plain. *Journal of Crop and Weed*, 15(3), 72–78. <https://doi.org/10.22271/09746315.2019.v15.i3.1240>
- Bera, M., & Goutam Kumar, G. (2015).** Efficacy of sulphur sources on greengram (*Vigna radiata* L.) in red and lateritic soil of West Bengal. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 5(2), 109–116.
- Belayneh, H. D., Wehling, R. L., Cahoon, E., & Ciftci, O. N. (2015).** Extraction of omega-3-rich oil from *Camelina sativa* seed using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 104, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.06.002>
- Banotra, M., Sharma, B. C., Kumar, R., Mahajan, A., & Nandan, B. (2021).** Cultivars and planting times effect on growth, yield, quality, and economics of sweet corn (*Zea mays* L. var. *Saccharata*) under different conditions. *Review of Agriculture*, 52(1), 2807–2817.
- Chen, H., Niklas, K. J., Yang, D., & Sun, S. (2009).** The effect of twig architecture and seed number on seed size variation in subtropical woody species. *New Phytologist*, 183(4), 1212–1221. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02878.x>
- Hampton, J. G. (2002).** What is seed quality? *Seed Science and Technology*, 30, 1–10.
- Hampton, J. G., Boelt, B., Rolston, M. P., & Chastain, T. G. (2013).** Effects of elevated CO₂ and temperature on seed quality. *The Journal of Agricultural Science*, 151(2), 154–162. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000263>
- Imtiaz, M., Rashid, A., Khan, P., Memon, M. Y., & Aslam, M. (2010).** The role of micronutrients in crop production and human health. *Pakistan Journal of Botany*, 42(4), 2565–2578.
- Imran, A. A., & Khan, A. A. (2017).** Canola yield and quality enhanced with sulphur fertilization. *Russian Agricultural Sciences*, 43, 113–119. <https://doi.org/10.3103/S1068367417020100>
- Jankowski, K. J., Sokolski, M., & Kordan, B. (2019).** Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Industrial Crops and Products*, 141, 111776. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776>
- Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., Tworowski, J., Puttick, D., Eynck, C., Zaluski, D., & Kwiatkowski, J. (2019).** Yield and seed composition of 10 spring camelina genotypes cultivated in the temperate climate of Central Europe. *Industrial Crops and Products*, 138, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.006>
- Kumar, D., & Padbhushan, R. (2013).** Influence of soil and foliar applied boron on green gram in calcareous soils. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 7(1), 129–136. <https://doi.org/10.5958/j.2230-732X.7.1.018>
- Lynch, J. P. (2019).** Root phenotypes for improved nutrient capture: An underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, 223, 548–564. <https://doi.org/10.1111/nph.15738>
- Malakouti, M. J. (2008).** The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 215–220.
- Moinuddin, P., & Imas, P. (2008).** Effect of zinc nutrition on growth, yield, and quality of forage sorghum concerning increasing potassium application rates. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 2062–2081. <https://doi.org/10.1080/01904167.2010.519081>
- Moghadam, H. R. T., Zahedi, H., & Ghooshchi, F. (2011).** Oil quality of canola cultivars in response to water stress and superabsorbent polymer application. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41, 579–586. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.13366>
- Nguyen, J. F., Migonney, V., Ruse, N. D., & Sadoun, M. (2012).** Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dental Materials*, 28(5), 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.12.003>
- OECD-FAO. (2020).** *Agricultural Outlook 2020-2029. World oilseed projections.*
- Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E., & Jeliakov, D. V. (2015).** Oilseed camelina (*Camelina sativa* L. Crantz): Production systems, prospects, and challenges in the USA Great Plains. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 2(2), 00043. <https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043>
- Pavlista, A. D., Isbell, T. A., Baltensperger, D. D., & Hergert, G. W. (2011).** Planting date and development of spring-seeded irrigated canola, brown mustard, and camelina. *Industrial Crops and Products*, 33, 451–456. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.029>
- Pal, V., Singh, G., & Dhaliwal, S. S. (2021).** A new approach in agronomic biofortification for improving zinc and iron content in chickpea (*Cicer arietinum* L.) grain with simultaneous foliar application of zinc sulfate, ferrous sulfate, and urea. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 883–896. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00408-0>
- Porker, K., Straight, M., & Hunt, J. R. (2020).** Evaluation of G × E × M interactions to increase harvest index and yield of early sown wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11, 994. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00994>

- Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen Jr., L. H., Sheehy, J. E., & Thomas, J. M. G. (2006). Species, ecotype, and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high-temperature stress. *Field Crops Research*, 95(2-3), 398-411. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.04.008>
- Rawashdeh, H. M., & Sala, F. (2015). Effect of some micronutrients on growth and yield of wheat and its leaves and grain content of iron and boron. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 72(2), 503-508. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:11334>
- Righini, D., Zanetti, F., Martinez-Force, E., Mandrioli, M., Toschi, T. G., & Monti, A. (2019). Shifting sowing of camelina from spring to autumn enhances the oil quality for bio-based applications in response to temperature and seed carbon stock. *Industrial Crops and Products*, 137, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.009>
- Rengasamy, K. R., Kulkarni, M. G., Pendota, S. C., & Van Staden, J. (2016). Enhancing growth, phytochemical constituents, and aphid resistance capacity in cabbage with foliar application of eckol—a biologically active phenolic molecule from brown seaweed. *New Biotechnology*, 33(2), 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2015.11.002>
- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3, 1–24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
- Saleem, M. A., Tahir, M., Ahmad, T., & Tahir, M. N. (2020). Foliar application of boron improved the yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a calcareous field. *Soil & Environment*, 39(1). <https://doi.org/10.25252/SE/20/132047>
- Siebert, S., Ewert, F., Rezaei, E. E., Kage, H., & Grab, R. (2014). Impact of heat stress on crop yield—on the importance of considering canopy temperature. *Environmental Research Letters*, 9(4), 044012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044012>
- USDA, N. A. S. S. (2015). *National Agricultural Statistics Service*. USDA. <http://www.nass.usda.gov/> (accessed Dec. 2015).
- Vaghar, M. S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H. R., Kobraee, S., & Valadabadi, S. A. (2020). Foliar application of iron, zinc, and manganese nano-chelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2740-2756. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793180>
- Vollmann, J., & Eynck, C. (2015). Camelina as a sustainable oilseed crop: Contributions of plant breeding and genetic engineering. *Biotechnology Journal*, 10(4), 525-535. <https://doi.org/10.1002/biot.201400200>
- Watts, J. L. (2016). Using *Caenorhabditis elegans* to uncover conserved functions of omega-3 and omega-6 fatty acids. *Journal of Clinical Medicine*, 5(2), 19. <https://doi.org/10.3390/jcm5020019>
- Yadav, G. S., Shivay, Y. S., Kumar, D., & Babu, S. (2013). Enhancing iron density and uptake in grain and straw of aerobic rice through mulching and rhizo-foliar fertilization of iron. *Global Journal of Agricultural Research and Reviews*, 8(44), 5447-5454. <https://doi.org/10.5897/AJAR20xx.xxx>
- Zanetti, F., Eynck, C., Christou, M., Krzyżaniak, M., Righini, D., Alexopoulou, E., & Monti, A. (2017). Agronomic performance and seed quality attributes of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. *Industrial Crops and Products*, 107, 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.022>
- Zaluski, D., Tworkowski, J., Krzyżaniak, M., Stolarski, M. J., & Kwiatkowski, J. (2020). The characterization of 10 spring camelina genotypes grown in environmental conditions in North-Eastern Poland. *Agronomy*, 10(1), 64. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010064>
- Zulfiqar, U., Hussain, S., Ishfaq, M., Ali, N., Ahmad, M., Ihsan, F., & El-Esawi, M. A. (2021). Manganese supply improves bread wheat productivity, economic returns, and grain biofortification under conventional and no-tillage systems. *Agriculture*, 11(2), 142. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020142>
- Zaid, I. U., Khalil, I. H., & Khan, S. (2012). Genetic variability and correlation analysis for yield components in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(11), 1990-1997.