



Evaluating the response of winter cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) to different levels of salinity

Mohammad Azimi Gandomani¹✉

¹ Corresponding Author, Assistant professor of Agriculture department, Faculty of Technical and Engineering, Payame Noor university, Tehran, Iran. E-mail: Mohammad.Azimi@pnu.ac.ir

ABSTRACT

In order to evaluate the response of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to different levels of salinity, an experiment was carried out in the form of a split plot experiment with a completely randomized design with three replications in 2022 in the research greenhouse of Payam Noor University of Gandaman Center (Chaharmahal and Bakhtiari Province). The first factor was four levels of salinity including S0 (2), S1 (10), S2 (20), and S3 (30) (dS/m), where S0 was the Hoagland's solution as the control, and other salinity levels were the result of mixing sodium chloride (NaCl) and calcium chloride (CaCl₂) at a ratio of 20 to 1 moles in the Hoagland's solution, respectively. The second factor comprised eight winter rapeseed cultivars, including Licord, Okapi, SLM 046, Modena, Opera, Symbol, Fornax and Elite. During the experiment, seed yield, dry matter traits, thousand-seed weight, oil yield and oil percentage were measured. According to the obtained results, all the investigated traits were affected by salinity treatments; So that the increase in salinity level in all the evaluated cultivars showed a significant decrease in all the investigated traits. The amounts of reduction in the investigated traits were different in each cultivar; so that some cultivars experienced a smaller decrease. SLM 046 cultivar was the most successful cultivar of all which showed the highest averages for yield-related traits including grain yield (10.52 grams per pot) and oil yield (3.26 grams per pot) at the highest salinity level (S3). In contrast, at the S3 salinity level, the Elit cultivar showed the poorest performance and obtained the lowest averages for seed yield (3.76 grams per pot) and oil yield (0.05 grams per pot).

Keywords: Salt stress, Oil percentage, Harvest index, Grain yield, Oil yield

Article Type: Research Article

Article history: Received: 09 May 2024 Revised: 10 July 2024 Accepted: 27 July 2024 ePublished: 22 September 2024

1. Introduction

The effect of salinity stress on plants is very wide, and it can cause a decrease in growth, damage to the roots, decrease in yield and even death of plants by reducing the absorption of water and nutrients, reducing enzyme activity, and disrupting the physiological processes of plants such as photosynthesis and respiration (Gupta and Hong, 2014 and Awaad, 2023). Rapeseed oil, as one of the most important sources of vegetable oils in the world, is very important in various economic, agricultural, industrial, and health sectors. With the ability of growing in different climatic conditions, having low water requirement and good relative resistance to various environmental stresses, rapeseed is known as a suitable plant for crop rotation (Rabonatahiry et al., 2021). The effects of salinity on the characteristics of the rapeseed plant in the stages of germination, vegetative stages and seed ripening have been proven. Considering that different rapeseed cultivars are different from each other in terms of their susceptibility to salinity stress in different stages, a detailed assessment on the effects of salinity stress on rapeseed and the adoption of appropriate strategies to manage and reduce this stress can help in better cultivation and optimal management of rapeseed; Therefore, evaluating the response of different rapeseed cultivars to salinity stress is of particular importance in order to introduce salinity-tolerant cultivars.

2. Methodology

2.1. Experimental model

In order to evaluate the response of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to different levels of salinity, an experiment was conducted in a greenhouse at the Research Greenhouse of Payame Noor University of Gandaman (Chaharmahal and Bakhtiari province). The experiment was arranged as a split-plot design within a completely randomized design with three replications. The first factor was four levels of salinity, including S0 (2), S1 (10), S2 (20), and S3 (30) (dS/m), where S0 was the Hoagland's solution as the control, and other salinity levels were the result of mixing sodium chloride (NaCl) and calcium chloride (CaCl₂) at a ratio of 20 to 1 moles in the Hoagland's solution, respectively. The second factor comprised eight winter rapeseed cultivars including (Licord, Okapi, SLM 046, Modena, Opera, Symbol, Fornax and Elite). The experimental units included 40 × 40 cm pots, 35 cm in height, containing completely homogenized washed sand. Due to lack of absorption and less the plants' need for a complete nutrient solution, the pots were irrigated every other day with a solution containing half the concentration of nutrients found in the Hoagland's solution (Dehdari et al, 2005). Two weeks after establishment, the plants were thinned from 15 to 8 plants per pot to achieve the desired plant density. From the 20th day after sowing (the four-leaf stage of the plants), salinity levels were gradually applied to acclimate the plants, such that all pots, except for the control level, received incremental salinity levels of 25% of each level in four irrigation shifts, thereby applying the total salinity treatment for each level.

2.2. Collecting and preparing plant samples

The salinity treatment continued at the specified ratios until the end of the growth stage. In this study, the traits of seed yield, dry matter traits, thousand seed weight, oil yield and oil percentage were measured. At the end of the growth stage (90 days after sowing), to measure the seed yield, dry matter traits, thousand seed weight and oil yield, six plants in each pot were randomly selected, harvested, and the above parameters were measured and calculated. Oil percentage was calculated with a Soxhlet apparatus (Joshi et al., 2008).

2.3. Statistical Analysis

Finally, data were analyzed using SAS software (version 9.1). Mean comparisons were conducted using Duncan's multiple range test at a 5% probability level.

3. Results and discussion

In the present study, all the traits under investigation were affected by salinity. An increase in salinity levels across all evaluated cultivars resulted in a significant reduction in all examined traits. Based on the results, it can be inferred that the rapeseed cultivars evaluated in this study can produce an acceptable yield up to a salinity level of S1 (salinity of 10 dS/m). At this salinity level, the cultivar SLM 046, with a seed yield of 22.78 grams per pot and an oil yield of 7.97 grams per pot, was identified as the most successful cultivar. Conversely, the Okapi cultivar, with an average seed yield of 11.99 grams per pot and an oil yield of 3.71 grams per pot, was the most susceptible cultivar. Therefore, according to the findings of this study, the SLM 046 cultivar was determined to be the most tolerant to salinity at all levels tested, while the Elit cultivar was assessed as the most susceptible to salinity. Since the primary goal of producing canola oilseeds is oil production, cultivating the evaluated cultivars under salinity conditions of S3 (salinity of 30 dS/m) and higher is practically ineffective.

4. Conclusions

Exposure to environmental stressors, including salinity and drought stress, directly and indirectly causes a portion of the assimilates produced by the plant to be diverted from growth and production processes towards coping with and mitigating stress conditions (Ahmed & Umar, 2011). It has been stated that with increased salinity stress, the stressed plant experiences reduced activity and degradation of cellular biomolecules, lipid oxidation, protein structure alteration, enzyme deactivation, chlorophyll bleaching, and nucleic acid degradation, resulting in the limitation of the plant's photosynthetic system (Ahmed & Umar, 2011; Al-Sharari et al., 2023). In the present study, increasing the intensity of salinity stress from S0 (control) to S3 (30 dS/m) caused the highest percentage reduction in all evaluated traits, including seed yield and oil yield, across all tested cultivars. The results indicated that the SLM046 cultivar, with the highest harvest index (0.29) and seed yield (10.52 grams per pot) at the highest salinity level (S3), and the lowest percentage reduction in harvest index (25.64%) compared to the control, performed better in mitigating the effects of salinity stress compared to other cultivars. In salinity stress conditions, salinity-tolerant cultivars like SLM046, which can allocate remaining assimilates effectively despite limitations in phloem transport and new physiological demands due to salinity stress, are more successful. By maintaining an appropriate harvest index and directing resources towards economic yield, these cultivars produce satisfactory yields (Ahmed & Umar, 2011; Khalid et al., 2015).

5. References

- Ahmad, P., & Umar, S. (2011). *Oxidative Stress: Role of Antioxidants in Plants*. Studium Press, New Delhi, India.
<https://www.abebooks.fr/Antioxidants-Oxidative-Stress-Management-Plants-Edited/7577938868/bd>
- Alsharari, S.F., Ibrahim, A. A., & Okasha, S.A. (2023). Combining ability for yield, oil content, and physiobiochemical characters of canola (*Brassica napus* L.) Under salt stress conditions. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 55 (4), 1003-1024.
<http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.4.1>
- Awaad, H. A. (2023). *Fundamentals of Crop Resistance to Salinity: Plant Characters and Selection Criteria*. In: *Salinity Resilience and Sustainable Crop Production Under Climate Change*. Earth and Environmental Sciences Library. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-48542-8_4
- Dehdari, A., Rezaei, A., & Mirmohammady Maibody, S. A. (2005). Salt tolerance of seedling and plant based on Ion contents and agronomic traits. *Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2239-2253. <https://doi.org/10.1080/00103620500196622>
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical and Molecular Characterization. *International Journal of Genomics*, 68(3), 1-18. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Joshi, N.L., P.C. Mali., & Sexena, A. (2008). Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) Oil. *Journal Agronomy & Crop Science*, 180, 59-63. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00370.x>
- Khalid, A., Athar, H. U. R., Zafar, Z. U., Akram, A., Hussain, K., Manzour, F., Al-Qurainy., & Ashraf, M. (2015). Photosynthetic capacity of canola (*Brassica napus* L.) plants as affected by glycinebetaine under salt stress. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 78-86.
<https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.011>
- Raboanatahiry, Li, N., Yu, H., & Li, M. (2021). Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement. *Agronomy*, 11(9), 1-37. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>

6. Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

7. Acknowledgments

The author would like to thank management of Payam Noor Gandaman University for the possibility of using the research greenhouse and laboratory facilities.

Cite this article: Azimi Gandamani, M. (2024). Evaluating the response of winter cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) to different levels of salinity, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(3), 1-16. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10604.1122





ارزیابی پاسخ ارقام پائیزه کلزا (*Brassica napus L.*)، به سطوح مختلف شوری

محمد عظیمی گندمانی^۱

^۱ نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: Mohammad.azimi@pnu.ac.ir

چکیده

به منظور ارزیابی پاسخ ارقام پائیزه کلزا (*Brassica napus L.*)، به سطوح مختلف شوری، پژوهشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۱، به اجرا درآمد. عامل اول، چهار سطح شوری، شامل S0، S1، S2 و S3، به ترتیب با میزان شوری ۲، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر بود که در واقع S0 محلول هوگلند به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و دیگر سطوح شوری حاصل از ترکیب کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم (CaCl₂) به ترتیب با نسبت ۲۰ به ۱ مولی در محلول هوگلند و عامل دوم شامل هشت رقم کلزای پائیزه (Okapi, Licord, Modena, SLM 046) بودند. در طول آزمایش، صفات عملکرد دانه، ماده خشک، وزن هزار دانه، عملکرد روغن و درصد روغن اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج به دست آمده کلیه صفات مورد بررسی تحت تأثیر شوری قرار گرفتند؛ بطوریکه افزایش سطح شوری در کلیه ارقام مورد ارزیابی موجب کاهش معنی‌داری در همه صفات مورد بررسی گردید. میزان کاهش در صفات مورد بررسی در ارقام مختلف متفاوت بود؛ به طوری که برخی از ارقام، کاهش کمتری را تجربه نمودند و در این میان رقم SLM 046 نسبت به سایر ارقام موفق‌تر عمل نمود و در بالاترین سطح شوری (S3) بالاترین میانگین‌های عملکرد دانه (به میزان ۱۰/۵۲ گرم در گلدان) و عملکرد روغن (به میزان ۳/۲۶ گرم در گلدان) را کسب نمود. در مقابل رقم Elit در سطح شوری S3، با نمایش یک عملکرد ضعیف، با به دست آوردن کمترین میانگین‌های عملکرد دانه (به میزان ۳/۷۶ گرم در گلدان) و عملکرد روغن (به میزان ۰/۰۵ گرم در گلدان) در جایگاه آخر قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، درصد روغن، شاخص برداشت، عملکرد دانه، عملکرد روغن

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۳ اصلاح: ۲۰ تیر ۱۴۰۳ پذیرش: ۰۶ مرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ مهر ۱۴۰۳

استناد: عظیمی گندمانی، م. (۱۴۰۳). ارزیابی پاسخ ارقام پائیزه کلزا (*Brassica napus L.*) به سطوح مختلف شوری، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۳).

۱-۱۶، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10604.1122



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

تنش شوری، یکی از چالش‌های اساسی در زمینه کشاورزی است که بر اثر افزایش غلظت نمک‌ها در خاک و منابع آبی، در محیط رشد گیاهان به وجود می‌آید. تنش شوری از عوامل مهم محدودکننده تولید در گیاهان زراعی در سطح جهان قلمداد می‌گردد. اثر تنش شوری بر گیاهان بسیار گسترده است و می‌تواند از طریق کاهش جذب آب و عناصر غذایی، کاهش فعالیت آنزیمی و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نظیر فتوسنتز و تنفس، موجب کاهش رشد، آسیب به ریشه‌ها، کاهش عملکرد و حتی مرگ گیاهان گردد (گاپتا و هانگ^۱، ۲۰۱۴، و اوود^۲، ۲۰۲۳).

دانه روغنی کلزا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع روغن گیاهی در جهان، اهمیت بسیاری در بخش‌های مختلف اقتصادی، کشاورزی، صنعتی و سلامت دارد. کلزا با امکان رشد در شرایط مختلف اقلیمی، نیاز آبی کم و داشتن مقاومت نسبی خوب به تنش‌های مختلف محیطی، به‌عنوان یک گیاه مناسب برای قرارگیری در تناوب محصولات زراعی، شناخته می‌شود (رابوناتاهری و همکاران^۳، ۲۰۲۱). روغن کلزا به دلیل داشتن محتوای مناسبی از اسیدهای چرب اشباع‌نشده و میزان متعادلی از عناصر غذایی، از اهمیت بسزایی در تأمین نیازهای تغذیه‌ای انسان و دام دارا است. با توجه به نیاز روزافزون به روغن‌های نباتی و واردات بسیار بالای روغن به کشور، کشت کلزا می‌تواند منجر به افزایش تنوع محصولات کشاورزی، کاهش وابستگی به واردات روغن خام و افزایش درآمد کشاورزان گردد (رابوناتاهری و همکاران^۴، ۲۰۲۱، و نجفی‌رزینی و همکاران^۵، ۲۰۱۹).

در زمانی که جهان به‌سرعت در حال تغییر و تحول است و نیازمندی‌های انسانی به غذا به‌سرعت افزایش می‌یابد، مفهوم تأمین امنیت غذایی به‌عنوان یک مبحث فلسفی و اجتماعی به طرز فزاینده‌ای اهمیت پیدا می‌کند؛ در این مسیر، تنش شوری می‌تواند به‌عنوان یکی از چالش‌های بنیادین در راستای تأمین این امنیت، قلمداد گردد. افزایش شوری خاک نه‌تنها منجر به کاهش تولید محصولات زراعی می‌شود، بلکه اثرات عمیق‌تری بر نظام‌های غذایی، اقتصادی و اجتماعی در جهان دارد. از این‌رو، درک ژرف‌تر از این چالش و ارائه راهکارهایی برای مقابله با آن، از اهمیت بسیاری برخوردار است. آثار شوری بر خصوصیات گیاه کلزا در مراحل جوانه‌زنی، مراحل رویشی و رسیدگی دانه به اثبات رسیده است. با توجه به اینکه ارقام مختلف کلزا از نظر حساسیت به شوری در مراحل مختلف با یکدیگر متفاوت‌اند، ارزیابی دقیق اثرات تنش شوری بر کلزا و اتخاذ راهکارهای مناسب برای مدیریت و کاهش این تنش، می‌تواند به کشت بهتر و مدیریت بهینه کلزا کمک کند؛ از این‌رو ارزیابی پاسخ ارقام مختلف کلزا به تنش شوری به جهت معرفی ارقام متحمل به شوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تنش شوری به‌عنوان یکی از عوامل محیطی مهم، می‌تواند به‌طور چشمگیری بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر بگذارد. شوری به دلایل مختلفی نظیر شرایط طبیعی خاک، مدیریت نادرست منابع آبی و استفاده بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری که منجر به افزایش سطح نمک‌های محلول در خاک می‌شود، افزایش یافته است (اوود^۵، ۲۰۲۳، و نوید و همکاران^۶، ۲۰۲۰). بخش‌های وسیعی از ایران مانند کویرها، دشت‌های حاصلخیز دامغان و مغان، گرگان و گنبد، آزادگان، ورامین تا گرمسار، بستان تا فارس و اراضی اطراف زاینده‌رود به نحوی متأثر از شوری هستند؛ این اراضی معمولاً با کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و محدودیت‌هایی در تنوع محصولات قابل کشت روبه‌رو هستند.

شوری آب‌و‌خاک در کشاورزی اثرات مخرب گسترده‌ای بر رشد و عملکرد محصولات دارد. افزایش غلظت نمک‌ها در خاک و آب‌های آبیاری، باعث کاهش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان می‌گردد. این موضوع باعث اختلال در رشد و نمو، کاهش عملکرد بیولوژیکی و

¹ Gupta & Huang

² Awaad

³ Raboanatahiry et al

⁴ Raboanatahiry et al

⁵ Awaad

⁶ Naveed et al

محدودیت در عملکرد اقتصادی محصول می‌شود (گاپتا و هانگ^۱، ۲۰۱۴ و اوود^۲، ۲۰۲۳). علاوه بر این، افزایش تجمع نمک‌های مضر در بافت‌های گیاهی منجر به سمیت نمکی، کاهش فعالیت آنزیمی و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه می‌شود. این مشکلات باعث کاهش عملکرد، کاهش کیفیت محصول، افزایش حساسیت به بیماری‌ها و آفات و کاهش سودآوری کشاورزان می‌گردد (گاپتا و هانگ^۳، ۲۰۱۴، و رابوناتاهری و همکاران^۴، ۲۰۲۱).

در شرایط شوری، افزایش غلظت نمک در محیط خارجی باعث افزایش فشار اسمزی می‌شود که توانایی جذب آب توسط ریشه‌ها را کاهش می‌دهد. این کاهش در جذب آب باعث کاهش حجم سلول‌ها و از دست رفتن تراز آبی درون سلولی می‌شود. کاهش فشار آماس بر روی تقسیم سلولی و طولیل شدن و همچنین بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان حساس به شوری اثر می‌گذارد. این امر باعث کاهش تبادل گازی و به دنبال آن کاهش در فتوسنتز و تنفس می‌شود (ژانگ و شی^۵، ۲۰۱۳). به علاوه، تنش شوری باعث تخریب ساختارهای زیستی مانند کلروپلاست‌ها به‌عنوان جایگاه اصلی انجام فتوسنتز، می‌شود که این امر منجر به کاهش کارایی فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تولید مواد غذایی و انرژی در گیاه می‌گردد. همچنین، تنش شوری باعث افزایش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود که موجب خرابی مولکول‌های زیستی و کاهش فعالیت آنزیم‌های کلیدی در فرآیند فتوسنتزی می‌شود. این عوامل در کنار یکدیگر باعث محدودیت شدید در فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شوند که منجر به کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (گاپتا و هانگ^۶، ۲۰۱۴، و ناهید و همکاران^۷، ۲۰۲۳). افزایش آگاهی و استفاده از تکنولوژی‌های نوین، استفاده از ارقام تحمل‌پذیر به شوری و بهبود شیوه‌های مدیریت خاک می‌تواند در کاهش اثرات منفی شوری و بهبود بهره‌وری اراضی کمک کند.

کلزا به‌عنوان یک گیاه روغنی ارزشمند، جایگاه مهمی در صنعت کشاورزی دارد که از نظر تغذیه‌ای، فناوری و اقتصادی اهمیت فراوانی دارد. دانه کلزا به‌طور متوسط حاوی ۴۵-۴۰ درصد روغن است. این روغن حاوی اسیدهای چرب اشباع به میزان ۷ درصد و اسیدهای چرب غیراشباع حدوداً به میزان ۳۲ درصد است. به همین جهت روغن کلزا جهت مصارف خوراکی جزء روغن‌های مرغوب به شمار می‌رود (گویال و همکاران^۸، ۲۰۲۱). این گیاه با دارا بودن ویژگی‌هایی همچون قابلیت رشد در شرایط آب و هوایی گوناگون، مقاومت به تنش‌های محیطی از جمله سرما، خشکی، شوری و قابلیت تولید روغن باکیفیت بالا، به‌عنوان یک منبع اصلی روغن نباتی در جهان شناخته می‌شود. کلزا به‌عنوان یک گیاه تناوبی مؤثر در بهبود ساختمان خاک، کنترل علف‌های هرز و حفظ تنوع زیستی اراضی کشاورزی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (گویال و همکاران^۹، ۲۰۲۱). از این رو، توسعه کشت کلزا در سطح جهانی و ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌تواند به تعادل در تأمین نیازهای غذایی، حفظ منابع طبیعی و توسعه اقتصادی کشور کمک کند.

در کلزا نیز شوری خاک، ظهور برگ‌ها و تشکیل اولین میانگره‌ها را به تأخیر می‌اندازد و پوشش سبز را نیز کاهش می‌دهد. ادامه تنش در مراحل بعدی رشد، موجب کاهش ارتفاع گیاه، کاهش تعداد غلاف و کاهش تعداد دانه می‌شود (ناهید و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۳، و اطلسی‌پاک، ۲۰۱۶). مطالعات متعددی به‌منظور بررسی پتانسیل تحمل به تنش شوری در ارقام و لاین‌های جنس *براسیکا* صورت پذیرفته است؛ در این خصوص، عظیمی و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی ارقام کلزای بهاره در شرایط تنش شوری بیان نمودند که تنش شوری موجب کاهش معنی‌داری در میزان عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد روغن و شاخص برداشت در ارقام مورد بررسی گردید. آن‌ها این علت کاهش را در اثرات سوء تنش شوری بر اجزاء دستگاه فتوسنتزی گیاه و کاهش توان فتوسنتزی گیاهان تحت شرایط تنش گزارش کردند. همچنین بنا به

¹ Gupta & Huang

² Awaad

³ Gupta & Huang

⁴ Raboanatahiry et al

⁵ Zhang & Shi

⁶ Gupta & Huang

⁷ Naheed et al

⁸ Goyal et al

⁹ Goyal et al

¹⁰ Naheed et al

گزارش‌های بای بوردی و همکاران (۲۰۰۹)، با بررسی اثر تنش شوری بر چهار رقم کلزای پاییزه افزایش شوری اثر منفی معنی‌داری بر عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، سطح برگ و ارتفاع بوته داشت. گزارش شده است که تنش شوری با اثر منفی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پایداری کلروفیل و کارایی سیستم فتوسنتزی، میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای برگ گیاهان سبب کاهش معنی‌دار فتوسنتز می‌شود (چم‌حیدر و همکاران، ۲۰۱۸، و کاینات و سجاد^۱، ۲۰۲۱).

بنابراین، مدیریت مناسب آبیاری، استفاده از روش‌های شوری‌زدایی و انتخاب ارقام مقاوم به شوری از جمله راهکارهایی هستند که می‌تواند از مضرات شوری در کشاورزی پیشگیری کند و به بهبود عملکرد محصولات کشاورزی کمک کند. با توجه به تحقیقات انجام شده، با در نظر گرفتن اینکه ارقام مختلف کلزا از نظر حساسیت به شوری در مراحل فوق با یکدیگر متفاوت می‌باشند؛ لذا مطالعه سطوح شوری بر ارقام کلزا ضروری به نظر می‌رسد. لذا این پژوهش به منظور ارزیابی پاسخ ارقام پاییزه کلزا، به سطوح مختلف تنش شوری صورت گرفت.

روش پژوهش

به منظور ارزیابی پاسخ ارقام پاییزه کلزا، به سطوح مختلف شوری، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. عامل اول، چهار سطح شوری، شامل، S0 (۲)، S1 (۱۰)، S2 (۲۰) و S3 (۳۰) دسی‌زیمنس بر متر بود که در واقع S0 محلول هوگلند به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و دیگر سطوح شوری حاصل از ترکیب کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم (CaCl₂) به ترتیب با نسبت ۲۰ به ۱ مولی در محلول هوگلند (جدول ۱) تهیه شد؛ عامل دوم شامل هشت رقم کلزای پاییزه (Elite و Fornax, Symbol, Opera, Modena, SLM 046, Okapi, Licord) بود. واحدهای آزمایش شامل گلدان‌هایی به ابعاد ۴۰ × ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در گلدان‌ها چهار سوراخ به قطر یک سانتی‌متر در ته هر کدام از آن‌ها جهت ایجاد زه‌کشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک تعبیه گردید؛ سپس کلیه گلدان‌ها با ماسه نرم و کاملاً شسته شده جهت بستر کشت بذور پر شدند. در ۱۵ فروردین‌ماه سال ۱۴۰۱، ۱۵ عدد از بذور هر کدام از ارقام مورد ارزیابی، در عمق دو سانتی‌متری از سطح ماسه، در گلدان‌ها کشت و با آب مقطر آبیاری شدند. از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی (هفت روز پس از کاشت) آبیاری با آب مقطر صورت گرفت. پس از ثبت تاریخ دقیق سبز شدن (زمانی که ۵۰ درصد از بذرها سبز شد)، آبیاری گلدان‌ها با محلول غذایی هوگلند، آغاز گردید؛ اما به جهت عدم جذب و نیاز کمتر گیاهان به نسبت کامل عناصر غذایی، با محلول حاوی نصف غلظت عناصر غذایی محلول هوگلند، آبیاری شدند (دهداری و همکاران^۲، ۲۰۰۵). حدود ۱۴ روز پس از کاشت و حصول اطمینان از استقرار بذور جوانه‌زده، اقدام به تنک کردن بوته‌ها تا رسیدن به تراکم مطلوب هشت بوته در گلدان، گردید. در مرحله چهار برگی گیاهان (۲۰ روز پس از کاشت)، اعمال تیمارهای شوری مربوط به هر سطح آغاز شد. در این خصوص، سطح شاهد (S0)، با محلول هوگلند آبیاری شد؛ در سایر سطوح شوری جهت سازگار شدن گیاهان، اعمال تیمارهای شوری به صورت تدریجی انجام گردید؛ بطوریکه با اضافه کردن تدریجی شوری به میزان ۲۵ درصد هر سطح، در چهار نوبت آبیاری، به سطح نهایی شوری در هر سطح رسید. آبیاری گلدان‌ها هم‌زمان به صورت یک روز در میان و در هر نوبت آبیاری به میزان ۲ لیتر (حاوی محلول هوگلند و میزان شوری مربوط به هر سطح)، برای هر گلدان انجام گردید؛ اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رسیدگی (۹۰ روز پس از کاشت) با نسبت‌های ذکر شده ادامه داشت (دهداری و همکاران^۳، ۲۰۰۵).

محلول غذایی هوگلند یک محلول عمومی برای کشت هیدروپونیک است و تاکنون تحقیقات فیزیولوژی گیاهی زیادی بر اساس این محلول غذایی انجام شده است؛ برای تهیه این محلول، از مواد شیمیایی تولیدی شرکت مرک آلمان و طبق جدول (۱) عمل گردید (هوگلند و آرنون^۴، ۱۹۵۰).

¹ Kainat & Sajad

² Dehdari et al

³ Dehdari et al

⁴ Hoagland & Arnon

جدول ۱. فرمول محلول غذایی هوگلند (هوگلند و آرنون^۱، ۱۹۵۰)

محلول مادر	غلظت	جرم مولی به گرم	میلی لیتر در لیتر - میزان کاربرد
فسفات دی هیدروژن آمونیوم	یک مولار	۱۳۶	۱
نیترات پتاسیم	یک مولار	۱۰۱	۶
نیترات کلسیم	یک مولار	۲۳۶	۴
سولفات منیزیم	یک مولار	۲۴۶	۲
عناصر کم مصرف محلول پایه			میزان کاربرد - گرم در لیتر
اسید بوریک	-	-	۲/۸۶
کلرید منگنز	-	-	۱/۸۱
سولفات روی	-	-	۰/۲۲
سولفات مس	-	-	۰/۰۸
اسید مولیبدیک	-	-	۰/۰۲
آهن			میزان کاربرد - میلی لیتر در لیتر
کلات آهن	۰/۵ درصد	-	۲

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزاء عملکرد دانه کلزا، در مرحله رسیدگی (۹۰ روز پس از کاشت) از هر گلدان شش، بوته از محل طوقه کف برگردید و سپس، عملکرد دانه، ماده خشک، شاخص برداشت، عملکرد زیستی و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش جوشی و همکاران^۲ (۲۰۰۸) به‌وسیله دستگاه سوکسله انجام شد. نهایتاً پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

یافته‌ها

عملکرد دانه

مطابق جدول (۲) با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش رقم و تنش شوری بر عملکرد دانه، مشاهده گردید که ارقام مختلف مورد بررسی تحت تأثیر سطوح مختلف شوری قرار گرفتند؛ در این خصوص رقم SLM 046 در سطوح شوری شاهد، S1، S2 و S3 به ترتیب با میانگین‌های ۲۹/۴۴، ۲۲/۷۸، ۱۳/۱۱ و ۱۰/۵۲ گرم در گلدان، بیشترین مقادیر عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. در این خصوص کمترین عملکرد دانه به میزان ۳/۷۶ گرم در گلدان در بالاترین سطح شوری (S3) و در رقم Elit مشاهده گردید که در جدول (۳) ارائه شده است.

نتایج این پژوهش مبنی بر کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش شوری با نتایج محققان دیگر نظیر عظیمی و همکاران (۲۰۱۱) و احمد و همکاران (۲۰۲۱) تطابق دارد؛ آن‌ها علت کاهش عملکرد دانه در شرایط شور را به کاهش فتوسنتز جاری در اثر کاهش بخش فتوسنتز کننده و نهایتاً کاهش اجزا عملکرد نسبت دادند. با افزایش سطح شوری میزان عملکرد دانه در کلیه ارقام مورد ارزیابی روند کاهشی داشت. افزایش سطح شوری از شاهد (S0) به بالاترین سطح شوری (S3) موجب بیشترین درصد کاهش عملکرد دانه در همه ارقام مورد بررسی گردید؛ مطابق جدول (۲) در این خصوص رقم SLM 046 با ۶۴/۲۷ درصد کاهش در عملکرد دانه دارای بهترین رتبه و رقم Elit با ۸۱/۵۰ درصد

¹ Hoagland & Arnon

² Joshi et al

کاهش در عملکرد دانه، ضعیف‌ترین عملکرد را به نمایش گذاشت. بیان شده است که در کلزا، شوری موجب کاهش رشد ریشه، تأخیر در ظهور برگ‌ها و تأخیر در تشکیل اولین میان‌گره‌ها شده و در صورت تداوم شوری در مراحل بعدی رشد، موجب کاهش ارتفاع گیاه، کاهش تعداد غلاف و کاهش تعداد دانه در غلاف می‌گردد (الشرازی و همکاران^۱، ۲۰۲۳). از این رو می‌توان علت کاهش ۸۱/۵۰ درصدی عملکرد رقم Elit را در کاهش اجزای عملکرد، نظیر تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف جستجو نمود. همچنین بیان شده است که یکی از بارزترین اثرات کاهش رشد و عملکرد گیاه در مواجهه با تنش شوری، کاهش سطح برگ در اثر افزایش شوری است؛ بنابراین حتی در صورتیکه میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ تغییر نکند؛ میزان رشد و تولید گیاه، به دلیل کاهش میزان فتوسنتز در کل گیاه خواهد یافت که منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (نوید و همکاران^۲، ۲۰۲۰، و کاینا و سجاد^۳، ۲۰۲۰). فاکتورهای بسیاری در اثر تنش شوری منجر به کاهش عملکرد اقتصادی در گیاهان زراعی تحت تنش، می‌گردد؛ یکی از علت‌های کاهش عملکرد کلزا در اثر شوری، افزایش غلظت املاح محلول در خاک، به دنبال آن کاهش جذب آب و مواد غذایی گیاه رشد و توسعه مناسب گیاه عنوان شده است (احامد و همکاران^۴، ۲۰۲۱، و عظیمی و همکاران^۵، ۲۰۱۱). علاوه بر آن، افزایش غلظت املاح سدیم و کلر در گیاه منجر به سمیت گیاه و باعث تخریب ساختار سلولی، کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و نهایتاً کاهش فتوسنتز می‌گردد (نجفی‌رزینی و همکاران^۶، ۲۰۱۹، و نوید و همکاران^۷، ۲۰۲۰). طبق یافته‌های پژوهشگران (بابیوردی^۸، ۲۰۱۰)، کاهش ذخایر هیدرات‌کربن گیاه پس از گلدهی در نمو بذر در درون غلاف‌ها مؤثر بوده و موجب سقط دانه‌ها در درون غلاف می‌گردد. بنا به گزارش‌های احمد و همکاران^۹ (۲۰۲۱) و چم‌حیدر و همکاران (۲۰۱۶)، تنش شوری باعث کاهش تعداد دانه در غلاف گیاه کلزا می‌گردد و با افزایش شوری تا سطوح بالا (۲۰۰ میلی‌مول)، این کاهش در نتیجه سقط بیشتر دانه در اثر شوری، شکل جدی‌تری به خود می‌گیرد و از این طریق باعث کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه می‌گردد.

ماده خشک

ماده خشک گیاه، یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در عملکرد نهایی قلمداد می‌گردد و بررسی وزن خشک بوته یکی از صفات اصلی قابل‌اطمینان جهت بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری قلمداد می‌گردد (خالید و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۵). اثر متقابل رقم و شوری برای ماده خشک معنی‌دار شد که در جدول (۲) نشان داده شده است. بیشترین میزان ماده خشک در بوته به میزان ۷/۸۲ گرم در گلدان، در سطح شوری S0 و مربوط به رقم SLM 046 بود و کمترین میزان وزن خشک نیز به میزان ۰/۷۰ گرم در گلدان، در سطح S3 و به رقم Elit، اختصاص یافت (جدول ۳). نتایج پژوهش حاضر با نتایج ارائه شده توسط چم‌حیدر و همکاران (۲۰۱۸) و نجفی‌رزینی (۲۰۱۹) دال بر کاهش ماده خشک در اثر شوری تطابق دارد؛ آن‌ها با بررسی اثر تنش شوری بر ارقام کلزا دریافتند که افزایش سطح شوری موجب کاهش وزن تر و خشک ساقه و ریشه، محتوای کلروفیل و وزن گیاهچه ارقام کلزا شد. به این ترتیب چنین می‌توان بیان نمود که گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید، بیشترین استفاده را برده و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند. کاهش ماده خشک در گیاهان تحت تنش شوری نتیجه‌ای از تأثیرات چندگانه و هماهنگ شده است که ناشی از صرف انرژی متابولیکی برای سازگاری با شرایط تنش همچون، تغییرات در فعالیت آنزیم‌ها، افزایش فعالیت سیستم‌های ضداکسیدانی، کاهش فعالیت فتوسنتزی و نهایتاً کاهش تولید ماده خشک گیاه

¹Asharari et al

² Naveed et al

³ Kainat & Sajad

⁴ Ahamed et al

⁵ Naveed et al

⁶ Bybordi

⁷ Ahmed et al

⁸ Khalid et al

می‌گردد (خالید و همکاران^۱، ۲۰۱۵، و رامه و همکاران^۲، ۲۰۱۲). با توجه به نتایج مشاهده گردید که در سطوح پایین شوری روند کاهشی ماده خشک دارای یک شیب نزولی آهسته است و با افزایش شدت تنش از سطح شاهد (S0) به بالاترین سطح شوری (S3)، این روند کاهش با شیب تندتری ادامه داشت؛ بطوریکه رقم Licord با ۶۶/۶۷ درصد، دارای کمترین میزان کاهش و رقم Elit با ۸۴/۹۹ درصد، بیشترین میزان درصد کاهش ماده خشک را به نام خود ثبت نمود که در جدول (۳) ارائه شده است. اعتقاد بر این است که این کاهش، ممکن است ناشی از کاهش نرخ فتوسنتزی در واحد سطح برگ، کاهش جذب کربن، صدمه به بافت‌ها و رسیدن به حداکثر غلظت نمکی باشد که گیاه آن را تحمل می‌کند. عدم یکنواختی در کاهش ماده خشک در سطوح و ارقام مختلف که در پژوهش حاضر نیز با آن مواجه هستیم، بیانگر آستانه تحمل متفاوت از لحاظ میزان و مدت تنش در ژنوتیپ‌های موردبررسی است (نوید و همکاران^۳، ۲۰۲۰، و اطلسی‌پاک، ۲۰۱۶). در گزارش چم‌حیدر و همکاران (۲۰۱۸)، نیز تنش شوری موجب کاهش ماده خشک در کلزا گردید؛ آن‌ها بیان نمودند که کاهش آب قابل‌دسترس گیاه در شرایط تنش شوری و علاوه بر آن افزایش شدید تجمع سدیم در برگ کلزا و اثر منفی آن بر فتوسنتز دلیل این واکنش بود.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات موردبررسی در آزمایش تأثیر شوری بر ارقام پائیزه کلزا

درجه آزادی	عملکرد دانه	ماده خشک	شاخص برداشت	عملکرد زیستی	وزن هزار دانه	عملکرد روغن	درصد روغن
شوری	۲۸/۲۴۱**	۳/۹۱۲**	۰/۰۵۹۸**	۶۰۳۳/۵۵**	۱۲/۱۳۲**	۲/۶۹**	۷۹۸/۸۸**
خطای a	۰/۰۷۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۴	۴۰/۱۱	۰/۱۰۲	۰/۰۰۳	۳/۰۴
رقم	۴/۰۱۰**	۰/۳۱۱**	۰/۰۱۳۶**	۹۹/۸۹**	۱/۰۰۲**	۰/۲۹**	۷۴/۱۱**
شوری*رقم	۰/۸۰۲**	۰/۰۳۹**	۰/۰۰۳۱**	۶۱/۱۸*	۰/۲۵۵**	۰/۰۷**	۱۵/۹۹**
خطای b	۰/۰۴۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۶	۳۲/۰۸	۰/۰۹۶	۰/۰۰۴	۲/۰۱
ضریب تغییرات	۶/۱۱	۱۱/۲۲	۹/۱۷	۷/۳۳	۱۱/۳۲	۴/۷۷	۵/۱۷

**، * و ns انظر آماری به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌داری را نشان می‌دهند.

شاخص برداشت و عملکرد زیستی

با مشاهده جدول (۲)، با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم برای صفات مذکور، مشاهده گردید که در بالاترین سطح شوری رقم SLM 046 با میانگین ۳۲/۸۳ گرم در گلدان، دارای بیشترین میزان عملکرد زیستی و رقم Elit با میانگین ۱۴/۲۷ گرم در گلدان، کمترین میزان عملکرد زیستی را به خود اختصاص داد که در جدول (۳) آورده شده است. مطابق جدول (۳) شاخص برداشت نیز در سطوح مختلف شوری بین ارقام مورد ارزیابی متفاوت بود؛ و با افزایش شدت شوری در کلیه ارقام موردبررسی یک‌روند کاهشی را دنبال نمود. بیشترین میزان شاخص برداشت (۰/۳۹) در سطح شوری S0 و به رقم SLM 046 تعلق گرفت. در این خصوص در بالاترین سطح شوری (S3) نیز ارقام SLM 046 و Elit به ترتیب با میانگین‌های ۰/۲۹ و ۰/۱۷، به ترتیب بالاترین و کمترین میزان شاخص برداشت را به نام خود ثبت نمودند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۱) و کاینا و سجاد^۴ (۲۰۲۱) در کلزا و عظیمی‌گندمانی (۲۰۲۴) در لوبیا، نیز کاهش عملکرد زیستی و شاخص برداشت را در ارقام موردبررسی تحت تنش شوری گزارش دادند؛ که با نتایج این پژوهش تطابق دارد؛ آن‌ها بیان نمودند که کاهش دسترسی به آب و مواد مغذی می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز و متابولیسم گیاهی شود که این پدیده مستقیماً بر رشد گیاه و توانایی گیاه در تولید و تکمیل دانه‌ها

¹ Khalid et al

² Rameeh et al

³ Naveed et al

⁴ Kainat & Sajad

در غلاف تأثیر بگذارد؛ بنابراین، در شرایط شوری بالا، کلزا معمولاً تعداد دانه‌های کمتری در هر غلاف تولید می‌کند که این موضوع می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد زیستی، درصد شاخص برداشت و نهایتاً عملکرد محصول داشته باشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تنش شوری برای صفات اندازه‌گیری شده در کلزای پاییزه*

تیمارهای آزمایش	عملکرد دانه (گرم در گلدان)	ماده خشک کل (گرم در گلدان)	شاخص برداشت	عملکرد زیستی (گرم در گلدان)	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد روغن (گرم در گلدان)	درصد روغن	رقم	
								سطوح شوری	رقم
Licord	S0	۲۵/۵۰b	۷/۲۰a	۰/۳۷b	۶۶/۲۱a	۸/۵۱b	۳۴/۶۸b		
	S1	۱۹/۷۸bc	۶/۷۸ab	۰/۳۵c	۵۶/۵۱ab	۵/۷۹d	۲۹/۲۶cd		
	S2	۹/۷۸ef	۲/۷۶cd	۰/۲۶fg	۳۷/۶۳de	۲/۴۳ef	۲۵/۴۹e		
	S3	۶/۹۶g	۲/۴۰cd	۰/۲۲e	۳۱/۶۲ef	۱/۶۸f	۲۴/۱۵ef		
SLM 046	S0	۲۹/۴۴a	۷/۸۲a	۰/۳۹a	۶۲/۸۲ab	۱۱/۰۵a	۳۷/۵۵a		
	S1	۲۲/۷۸b	۶/۸۴ab	۰/۳۳d	۵۶/۹۰a	۷/۹۷b	۳۵/۳۱ab		
	S2	۱۳/۱۱d	۲/۶۴cd	۰/۳۲de	۴۰/۸۲d	۴/۴۱de	۳۳/۶۲bc		
	S3	۱۰/۵۲ef	۲/۵۱cd	۰/۲۹bc	۳۲/۸۳ef	۳/۲۶e	۳۰/۶۳c		
Farnax	S0	۲۰/۲۱b	۴/۶۶bc	۰/۳۳d	۶۱/۲۲b	۷/۰۵bc	۳۴/۸۲b		
	S1	۱۲/۱۱d	۳/۴۲c	۰/۳۰e	۵۰/۳۱bc	۳/۷۶e	۳۰/۸۵c		
	S2	۶/۰۲g	۲/۳۴cd	۰/۲۰f	۳۶/۱۱de	۱/۵۴fg	۲۵/۴۵e		
	S3	۴/۹۲de	۲/۰۳cd	۰/۱۹fg	۳۱/۱۴f	۱/۴۳fg	۲۴/۲۲ef		
Opera	S0	۲۰/۰۱b	۳/۵۲c	۰/۳۳d	۶۰/۶۴b	۷/۳۰bc	۳۶/۴۶a		
	S1	۱۳/۷۱d	۵/۰۴b	۰/۳۲de	۴۲/۸۳d	۴/۶۴de	۳۳/۸۴bc		
	S2	۶/۲۳g	۲/۸۰cd	۰/۲۱ef	۲۹/۶۶f	۱/۸۶fg	۲۹/۹۳cd		
	S3	۵/۱۰gh	۱/۷۲d	۰/۱۹fg	۲۶/۶۷gh	۱/۲۱fg	۲۳/۶۵f		
Elit	S0	۲۰/۳۲b	۴/۷۳bc	۰/۳۲de	۶۶/۶۳a	۷/۵۲bc	۳۶/۷۱a		
	S1	۱۳/۲۳d	۴/۲۱bc	۰/۲۹ef	۵۲/۵۲bc	۳/۹۶e	۲۹/۱۸cd		
	S2	۶/۱۳g	۱/۷۲d	۰/۲۷f	۳۰/۱۲f	۱/۵۸f	۲۵/۶۶e		
	S3	۳/۷۶i	۰/۷۱e	۰/۱۷g	۲۲/۱۳h	۰/۰۵h	۱۳/۵۴h		
Okapi	S0	۲۳/۷۱b	۶/۵۴a	۰/۳۵c	۶۴/۸۸a	۸/۴۴b	۳۵/۴۳ab		
	S1	۱۱/۹۹de	۵/۴۱bc	۰/۲۶fg	۴۶/۱۲cd	۳/۷۱c	۳۰/۹۶c		
	S2	۷/۳۲g	۲/۸۲cd	۰/۲۲e	۳۳/۲۵ef	۱/۷۲f	۲۳/۵۶f		
	S3	۴/۶۵h	۱/۸۸d	۰/۲۰f	۲۳/۲۵gh	۰/۹۴g	۲۰/۲۷g		
Eboint	S0	۲۰/۲۱b	۵/۶۶b	۰/۳۱de	۶۵/۱۸a	۷/۲۵bc	۳۵/۸۶ab		
	S1	۱۲/۸۳d	۵/۲۸b	۰/۲۵g	۵۱/۳۲bc	۴/۲۹de	۳۳/۴۶bc		
	S2	۶/۱۲g	۲/۵۶cd	۰/۲۱ef	۲۹/۱۲f	۱/۷۳f	۲۸/۲۴d		
	S3	۴/۷۷h	۱/۷۸d	۰/۱۹fg	۲۵/۱۳gh	۰/۹۷g	۲۰/۴۴g		
Modena	S0	۱۷/۹۹c	۴/۸۰bc	۰/۳۰e	۵۶/۶۳bc	۶/۰۲cd	۳۳/۳۶bc		
	S1	۱۳/۲۲d	۳/۵۴c	۰/۲۷f	۴۸/۹۸c	۳/۷۹e	۲۸/۶۵d		
	S2	۶/۹۱g	۱/۸۵d	۰/۲۰f	۳۴/۵۲ef	۱/۸۱f	۲۶/۳۲de		
	S3	۵/۴۲gh	۱/۲۱d	۰/۱۹fg	۲۸/۵۳f	۱/۲۲f	۲۲/۴۴f		

*در هر مقایسه حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۳) مشاهده می‌گردد که افزایش شدت تنش شوری موجب کاهش مضاعف هر دو صفت شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک در ارقام مورد ارزیابی گردید. بیشترین درصد کاهش عملکرد زیستی و شاخص برداشت در کلیه ارقام مورد ارزیابی در سطح شوری S3 مشاهده شد؛ در این خصوص کمترین درصد کاهش شاخص برداشت (۲۵/۶۴ درصد) در رقم SLM 046 و بیشترین درصد کاهش به میزان ۴۶/۸۷ درصد به رقم Elit اختصاص یافت. کمترین میزان درصد کاهش عملکرد بیولوژیک به میزان ۴۷/۷۴ درصد مربوط به رقم SLM 046 و بیشترین میزان کاهش عملکرد بیولوژیک (۶۶/۷۹ درصد) نیز مربوط به رقم Elit بود. شاخص برداشت به عنوان ضریبی از عملکرد زیستی است که معیار مناسبی از نحوه تسهیم مواد فتوسنتزی به نفع عملکرد اقتصادی قلمداد می‌گردد. در شرایط تنش‌های محیطی نظیر تنش خشکی و شوری گیاهان متحمل به تنش، نظیر رقم SLM 046 که نسبت به سایر ارقام مورد ارزیابی، کاهش کمتری در عملکرد زیستی و شاخص برداشت داشتند؛ با مدیریت بهینه تنش و هدایت بیشتر شیره پرورده به سمت اندام دخیل در عملکرد اقتصادی موجب کاهش کمتر شاخص برداشت و افزایش سهم عملکرد اقتصادی از عملکرد زیستی شدند (کاینا و سجاد^۱، ۲۰۲۱، عظیمی گندمانی، ۲۰۲۴ و عظیمی-گندمانی و همکاران، ۲۰۱۱). در اکثر مطالعات انجام شده شوری که با نتایج این پژوهش نیز همخوانی دارد؛ بیان شده است که اثر منفی و معنی‌دار تنش شوری، بر عملکردهای زیستی و عملکرد دانه به اثبات رسیده است؛ لذا چنین می‌توان بیان نمود که عملکرد زیستی بیشتر، در شرایط تنش محیطی، نشان‌دهنده پتانسیل عملکرد اقتصادی بالاتر و به دنبال آن، حصول عملکرد بیشتر در شرایط تنش است (کاینا و سجاد^۲، ۲۰۲۱، بایوردی و همکاران، ۲۰۰۹، و احامد و همکاران^۳، ۲۰۲۱).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی عملکرد در کلزا قلمداد می‌گردد. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش رقم و تنش شوری برای صفت وزن هزار دانه در جدول (۲) مشاهده گردید که در بالاترین سطح شوری (S3) رقم SLM 046 در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی موفق‌تر عمل نموده و با میانگین ۳/۱۷ گرم، دارای بالاترین میزان وزن هزار دانه و رقم Farnax نیز با میانگین ۲/۰۹ گرم، کمترین رتبه را به خود اختصاص داد. همچنین مشاهده گردید که رقم Okapi با میانگین ۳/۹۵ گرم، در سطح شوری S0 دارای بیشترین میزان وزن هزار دانه بود. با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده گردید که با افزایش شدت تنش شوری، شیب کاهش وزن هزار دانه در همه ارقام مورد ارزیابی تندتر می‌گردد؛ ولی در این میان با افزایش سطح تنش از شاهد (S0) به بالاترین سطح تنش شوری (S3)، رقم SLM 046 با ثبت عدد ۱۰/۱۹ درصد، دارای کمترین میزان درصد کاهش در میزان وزن هزار دانه بود و رقم Farnax نیز که نسبت به سایر ارقام عملکرد ضعیف‌تری داشت، با میانگین ۴۲/۸۹ درصد، بیشترین درصد کاهش وزن هزار دانه را به نام خود ثبت کرد. از آنجایی که تنش شوری موجب اختلال در لقاح دانه‌ها و نهایتاً کاهش تعداد دانه در غلاف می‌گردد؛ انتظار می‌رود که سهم دانه‌های باقیمانده از آسیمیلانتهای تولیدی بیشتر گردد و به دنبال آن وزن هزار دانه افزایش یابد؛ اما با توجه به نتایج پژوهش حاضر و نتایج احامد و همکاران^۴ (۲۰۲۱) و عظیمی و همکاران (۲۰۱۱) در کلزا، تنش شوری موجب کاهش وزن هزار دانه گردید. لذا چنین بیان شده است که کاهش سطح فتوسنتزی گیاه از یک سو و اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه در شرایط تنش شوری که ناشی از تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم خوردن تعادل یونی است از سوی دیگر، مهم‌ترین دلایل کاهش وزن دانه در ارقام حساس به شوری کلزا نظیر Farnax قلمداد می‌گردد. همچنین وزن دانه به مقدار زیادی به وسیله دوره پر شدن دانه

¹ Kainat & Sajad

² Kainat & Sajad

³ Ahamed et al

⁴ Ahamed et al

تعیین می‌شود، بنابراین تنش‌های محیطی که تمایل به کوتاه کردن دوره پر شدن دانه دارند به‌طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند (احمد و همکاران^۱، ۲۰۲۱، و عظیمی و همکاران، ۲۰۱۱).

عملکرد روغن و درصد روغن

اثر متقابل رقم و شوری برای صفات عملکرد روغن و درصد روغن مطابق جدول (۲) معنی‌دار گردید. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده گردید که بیشترین میزان درصد روغن به میزان ۳۷/۵۵ درصد، در رقم SLM 046 و مربوط به سطح شوری S0 بود. در این خصوص رقم Elit نیز با میانگین ۱۳/۵۴ درصد، کمترین میزان درصد روغن را در بالاترین سطح شوری (S3) به خود اختصاص داد. در سطح شوری S3 رقم SLM 046 واکنش بهتری را در کاهش اثرات سوء تنش شوری نشان داد؛ بطوریکه این رقم با میانگین ۳۰/۶۳ درصد، بیشترین میزان درصد روغن را داشت. تأثیر شوری خاک بر میزان روغن دانه کلزا بستگی به میزان شوری و همچنین ویژگی‌های ژنتیکی و محیطی گیاه دارد؛ محتوای روغن دانه در دانه‌های روغنی خانواده براسیکا بسیار متفاوت بوده و دارای دامنه‌ای بین ۳۴-۳۵ درصد است (رابوناتاهری و همکاران^۲، ۲۰۲۱). نتایج تحقیقات الشراری و همکاران^۳، (۲۰۲۳) نیز در مطالعه تنش شوری بر چند رقم کلزا با نتایج تحقیق حاضر تطابق دارد؛ آن‌ها بیان نمودند که محتوای روغن دانه و درصد روغن در گیاهان مورد آزمایش تحت شرایط شوری به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. ارقام مورد ارزیابی در خصوص صفت عملکرد روغن، در سطوح مختلف شوری پاسخ متفاوت و معنی‌داری داشتند؛ بطوریکه در بالاترین سطح شوری رقم SLM 046 با میانگین ۳/۲۶ گرم روغن و رقم Elit با میانگین ۰/۰۵ گرم روغن، به ترتیب بالاترین و کمترین رتبه را به خود اختصاص دادند. افزایش سطح شوری در همه ارقام مورد ارزیابی، موجب کاهش معنی‌داری در عملکرد روغن و درصد روغن گردید؛ اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۳) مشاهده گردید که ارقام مورد بررسی بیشترین میزان کاهش صفات مذکور را در بالاترین سطح شوری (S3) تجربه کردند؛ در این خصوص، افزایش سطح شوری از S0 به بالاترین سطح شوری (S3)، موجب کاهش قابل توجه عملکرد روغن در تمام ارقام مورد ارزیابی گردید؛ بطوریکه رقم SLM 046 با ۷۰/۵۰ درصد کاهش عملکرد روغن، دارای بهترین عملکرد روغن و رقم Elit با ۹۹/۳۴ درصد کاهش، بیشترین میزان درصد کاهش عملکرد روغن را تجربه نمود. در خصوص درصد روغن نیز مشاهده گردید که افزایش سطح شوری از S0 به S3، درصد روغن را به‌طور معنی‌داری کاهش داد؛ بطوریکه بیشترین میزان درصد کاهش در روغن (۶۳/۱۲ درصد) در رقم Elit و کمترین میزان کاهش در روغن (۱۸/۴۳ درصد) به رقم SLM 046 اختصاص یافت. دلیل این امر احتمالاً مربوط به مشارکت برخی اسیدهای چرب نظیر اسید لینولئیک در تنظیم درجه سفتی دیواره‌های سلولی مربوط بوده و از طرفی نیز اسیدهای چرب در شرایط شور در تولید برخی آنزیم‌ها نظیر لیپواکسیژناز جهت افزایش تحمل به شوری در گیاهان خانواده براسیکا نقش دارد و وجود اختلاف معنی‌دار واکنش ارقام نسبت به عملکرد روغن در شرایط تنش شوری را به اختلافات ژنتیکی در سنتز روغن می‌توان نسبت داد (رابوناتاهری و همکاران^۴، ۲۰۲۱، و الشراری و همکاران^۵، ۲۰۲۳).

بحث

با توجه به نتایج پژوهش حاضر که به جنبه‌ها و اجزای مرتبط با عملکرد کلزا در سطوح مختلف شوری پرداخته است؛ با توجه به جدول (۳) مشاهده گردید که تنش شوری موجب کاهش معنی‌داری، در همه صفات مورد بررسی در ارقام مورد ارزیابی گردید. با توجه به نتایج مشاهده گردید که با افزایش هر سطح تنش شوری، میزان بالایی از عملکرد دانه و عملکرد روغن کاهش یافت. قرار گرفتن گیاه در شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری و خشکی، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم، موجب می‌گردد که بخشی از آسیمیلات تولیدی گیاه، بجای مصرف در فرایند رشد و تولید گیاه، جهت مقابله و تعدیل شرایط تنش مصرف گردد؛ از آن جمله می‌توان به تغییر مسیرهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه

¹ Ahamed et al

² Raboanatahiry et al

³ Asharari et al

⁴ Raboanatahiry et al

⁵ Asharari et al

جهت تولید مواد و متابولیت‌های سازگار به شرایط تنش همچون تولید قندهای محلول، پرولین، انواع پروتئین‌های درگیر در شرایط تنش‌زا اشاره نمود (احمد و امر^۱، ۲۰۱۱). بیان شده است که با افزایش شدت تنش شوری، گیاه تحت تنش با کاهش فعالیت و تخریب مولکول‌های زیستی سلول، اکسید شدن چربی‌ها، تغییر ساختمان پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن کلروفیل و تخریب اسیدهای نوکلئیک مواجه می‌گردد که نتیجه آن محدود کردن سیستم فتوسنتزی گیاه است (احمد و امر^۲، ۲۰۱۱، و الشراری و همکاران^۳، ۲۰۲۳). در پژوهش حاضر نیز افزایش شدت تنش شوری، از سطح شوری S0 (شاهد) تا S3 (۳۰ دسی‌زیمنس بر متر)، موجب وقوع بیشترین درصد کاهش در همه صفات مورد ارزیابی از جمله عملکرد دانه و عملکرد روغن در همه ارقام مورد بررسی گردید.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد محدودیت تولید شیره پرورده ناشی از کاهش فعالیت سیستم فتوسنتزی از یک‌سو و مصرف بخشی از آسمیلات‌های تولیدی جهت تعدیل شرایط تنش از سوی دیگر موجب کاهش در رشد، نمو و نهایتاً کاهش عملکرد اقتصادی گیاه تحت تنش شوری می‌گردد (احمد و امر^۴، ۲۰۱۱، و خلید و همکاران^۵، ۲۰۱۵). در این پژوهش، ارقام مورد ارزیابی پاسخ‌های متفاوتی نسبت به شرایط تنش داشتند؛ بطوریکه رقم SLM 046 در بالاترین سطح شوری (S3)، بیشترین میانگین‌ها را در کلیه صفات مورد بررسی به نام خود ثبت نمود؛ با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده گردید که رقم فوق‌الذکر با کسب بیشترین میزان شاخص برداشت (۲۹/۰) و عملکرد دانه (۱۰/۵۲ گرم در گلدان)، در بالاترین سطح شوری (S3) و ثبت کمترین میزان درصد کاهش (۶۴/۲۵ درصد) در شاخص برداشت نسبت به شاهد، در مقایسه با سایر ارقام، در تعدیل اثرات تنش شوری موفق‌تر عمل نموده است. در شرایط تنش شوری ارقام متحمل به شوری نظیر SLM 046 که بتوانند علیرغم محدودیت تولید در شیره پرورده و مصارف فیزیولوژیکی جدید ناشی از تنش شوری، تسهیم مناسبی از آسمیلات‌های باقیمانده داشته باشند؛ موفق‌تر بوده و با حفظ شاخص برداشت مناسب با هدایت منابع به نفع عملکرد اقتصادی عملکرد مناسبی را تولید خواهد نمود (احمد و امر^۶، ۲۰۱۱، و خلید و همکاران^۷، ۲۰۱۵).

موضوع پرداختن به تنش شوری، به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در زمینه کشاورزی و فناوری‌های زراعی، همچنان یکی از مسائل مهم در جهان کشاورزی قلمداد می‌گردد. با توجه به تحولات آب و هوایی نامطلوب، افزایش شور شدن اراضی و وجود دامنه متفاوت در تحمل ارقام و ژنوتیپ‌های گیاهان به تنش شوری، اهمیت پرداختن به تنش شوری را دو چندان می‌کند. با توجه به این موضوع و اهمیت اقتصادی و غذایی دانه‌های روغنی نظیر کلزا، پژوهش‌های بیشتر در زمینه شناسایی ژنوتیپ‌ها و ارقام مقاوم به شوری، توسعه روش‌های مدیریتی برای کاهش تأثیرات منفی تنش شوری و بهبود تحمل گیاهان به شرایط تنش‌های محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر کلیه صفات مورد بررسی تحت تأثیر شوری قرار گرفت؛ بطوریکه افزایش سطح شوری در کلیه ارقام مورد ارزیابی موجب کاهش معنی‌داری در همه صفات مورد بررسی گردید. با توجه به نتایج چنین می‌توان استنباط نمود که ارقام مورد ارزیابی کلزا در این تحقیق تا سطح شوری S1 (شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر)، می‌توانند عملکرد قابل قبولی را تولید کنند؛ که در این سطح شوری رقم SLM 046 با عملکرد دانه ۲۲/۷۸ گرم در گلدان و عملکرد روغن ۷/۹۷ گرم در گلدان به‌عنوان مناسب‌ترین رقم و رقم Okapi نیز با میانگین عملکرد دانه ۱۱/۹۹ گرم در گلدان و عملکرد روغن ۳/۷۱ گرم در گلدان حساس‌ترین رقم بود. با افزایش سطح شوری تا سطح شوری S3، میزان کاهش صفات مورد بررسی نیز شیب تندتری به خود گرفتند؛ با نگاهی به نتایج ارائه‌شده چنین می‌توان بیان نمود که در بالاترین سطح شوری (S3)، رقم

¹ Ahmad & Umar

² Ahmad & Umar

³ Asharari et al

⁴ Ahmad & Umar

⁵ Khalid et al

⁶ Ahmad & Umar

⁷ Khalid et al

SLM 046 در مقایسه با سایر ارقام مورد ارزیابی به ترتیب با ۶۴/۲۷ و ۷۰/۵۰ درصد کاهش در عملکرد دانه و عملکرد روغن، دارای بهترین شرایط و رقم Elit نیز به ترتیب با ۸۱/۵۰ و ۹۹/۳۴ درصد کاهش، در خصوص صفات عملکرد دانه و عملکرد روغن عملکرد ضعیفی را به نمایش گذاشت. لذا با توجه به نتایج این پژوهش، رقم SLM 046 در همه سطوح شوری مورد بررسی به عنوان متحمل ترین رقم به شوری و رقم Elit نیز به عنوان حساس ترین رقم به شوری ارزیابی گردید. حال از آنجایی که هدف از تولید دانه روغنی کلزا، تولید روغن است؛ کشت ارقام مورد ارزیابی در این تحقیق در شرایط شوری S3 (شوری ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر) و بالاتر عملاً بی‌فایده است.

ارتقاء دانش و درک ما در توسعه ارقام مقاوم به شوری و استفاده از روش‌های مدیریتی بهینه می‌تواند در بهبود تحمل گیاهان به انواع تنش‌های محیطی مؤثر باشد. به‌طور کلی، تمرکز بر پژوهش‌های گسترده و متنوع در این زمینه می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا بهترین راهکارها را برای مدیریت و کنترل تنش شوری در محیط‌های کشاورزی خود اتخاذ کنند. لذا با توجه به واکنش متفاوت ارقام کلزا نسبت به تنش شوری از یک سو و حساسیت کلزا به شرایط شوری و همچنین جهت معرفی ارقام متحمل به شوری جهت استفاده در سایر تحقیقات به‌نژادی و به‌زراعی لازم است تحقیقات بیشتر در شرایط متنوع آب و هوایی ایران صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

در پایان از مدیریت دانشگاه پیام نور گندمان به جهت در اختیار گذاشتن گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه، کمال تشکر را دارم.

منابع

- اطلسی‌پاک، وحید. (۱۳۹۵). تأثیر تنش شوری بر رشد و توزیع یونی در ارقام متحمل و حساس گیاه کلزا (*Brassica napus* L.). نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۶ (۲۰)، ۷۱-۸۵. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.71>
- چم‌حیدر، هادی، و فرهودی، روزبه. (۱۳۹۷). بررسی اثر تنش شوری بر فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ارقام کلزا در مرحله رشد رویشی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۳۹)، ۴۲-۲۳. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6>
- عظیمی‌گندمانی، محمد. (۱۴۰۳). اثرات سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیا چیتی. مجله فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب. ۴ (۲)، ۷۷-۹۲. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10549.1120>
- عظیمی‌گندمانی، محمد، فرجی، هوشنگ، دهداری، اشکبوس، موحدی دهنوی، محسن، و علی‌نقی‌زاده، مصطفی. (۱۳۹۱). تأثیر تنش شوری بر برخی خصوصیات کمی و کیفی ارقام کلزای بهاره. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۵ (۱)، ۷۰-۵۳. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.1.4.3>
- نجفی‌زرینی، حمید، منصوری، ایراندخت، بابائیان، نادعلی و پاکدین، علی. (۱۳۹۸). ارزیابی تحمل به شوری برخی از ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط نرمال و تنش شوری (*Brassica Napus* L.). پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۱۱ (۳۰)، ۳۶-۲۳. <https://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.30.23>

References

- Ahamed, F., Ahmed, I. M., Shamim Ahsan, A. F., Ahmed, M. B., & Begum, F. (2021). Physiological and yield responses of some selected rapeseed/mustard genotypes to salinity stress. *Bangladesh Agronomy Journal*, 24(1), 43-55. <https://doi.org/10.3329/baj.v24i1.55545>
- Ahmad, P., & Umar, S. (2011). *Oxidative Stress: Role of Antioxidants in Plants*. Studium Press, New Delhi, India. <https://www.abebooks.fr/Antioxidants-Oxidative-Stress-Management-Plants-Edited/7577938868/bd>

- Alsharari, S.F., Ibrahim, A. A., & Okasha, S.A. (2023). Combining ability for yield, oil content, and physiobiochemical characters of canola (*Brassica napus* L.) Under salt stress conditions. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 55 (4), 1003-1024. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.4.1>
- Atlasi Pak, V. (2015). Effect of salinity stress on growth and ion distribution in tolerant and sensitive cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of production and processing of agricultural and horticultural products*, 6 (20), 85-71. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.71> [In Persian]
- Awaad, H. A. (2023). Fundamentals of Crop Resistance to Salinity: Plant Characters and Selection Criteria. In: *Salinity Resilience and Sustainable Crop Production Under Climate Change*. Earth and Environmental Sciences Library. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48542-8_4
- Azimi Gandomani., M. (2024). The effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(2), 77-92. <https://doi.org/10.22126/atwe.2024.10549.1120>
- Azimi Gandomani, M., Dehdari, A., Faraji, H. Movahhedi Dehnavi, M., & Alinaghizadeh, M. (2012). Effects of salinity on some quantitative and qualitative characteristics of spring Rapeseed cultivars. *Electronical Journal of Crop Production*, 5, 53-70. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.1.4.3>[In Persian]
- Bybordi, A. (2010). Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(1), 81-83. <https://doi.org/10.15835/nsb.2.1.3560>
- Cham Haider, H., & Farhoudi, R. (2017). Investigating the effect of salinity stress on photosynthesis and the activity of antioxidant enzymes of rapeseed cultivars in the vegetative growth stage. *Scientific Research Quarterly Journal of Plant Physiology - Islamic Azad University, Ahvaz Branch*, 10 (39), 23-42. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1397.10.39.2.6> [In Persian]
- Dehdari, A., Rezai, A., & Mirmohammady Maibody, S. A. (2005). Salt tolerance of seedling and plant based on Ion contents and agronomic traits. *Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2239-2253. <https://doi.org/10.1080/00103620500196622>
- Goyal, A., Tanwar, B., Sihag, M. K., Kumar, V., Sharma, V., & Soni, S. (2021). Rapeseed/Canola (*Brassica napus*) Seed. In: Tanwar, B., Goyal, A. (eds) *Oilseeds: Health Attributes and Food Applications*. Springer, Singapore, 47-71. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4194-0_2
- Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical and Molecular Characterization. *International Journal of Genomics*, 68(3), 1-18. <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Joshi, N.L., P.C. Mali., & Sexena, A. (2008). Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) Oil. *Journal Agronomy & Crop Science*, 180, 59-63. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00370.x>
- Kainat, K., & Sajad, M. (2021). Effect of sodium chloride on the growth parameters of canola plant. *Pure and Applied Biology*, 10(2), 492-502. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2021.100052>
- Khalid, A., Athar, H. U. R., Zafar, Z. U., Akram, A., Hussain, K., Manzour, F., Al-Qurainy., & Ashraf, M. (2015). Photosynthetic capacity of canola (*Brassica napus* L.) plants as affected by glycinebetaine under salt stress. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 78-86. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2015.088.011>
- Naheed, R., Aslam, H., Kanwal, H., Farhat, F., Gamar, M., Amina, A. M., Al-Mushhin, A., Jabborova, D., Ansari, M. J., Shaheen, S., Aqeel, M., Noman, A., & Hessini, K. (2021). Growth attributes, biochemical modulations, antioxidant enzymatic metabolism and yield in *Brassica napus* varieties for

- salinity tolerance. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(10), 5469-5479.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.021>
- Najafi Zarini, H., Mansouri, I., Babaian, N., & Pakdin, A. (2018). Evaluation of salinity tolerance of some rapeseed genotypes under normal conditions and salinity stress (*Brassica Napus* L.). Crop breeding research paper, 11 (30), 23-36 (In Persian). <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.30.23>
- Naveed, M., Sajid, H., Mustafa, A., Niamat, B., Ahmad, Z., Yaseen, M., Kamran, M., Rafique, M., Ahmar, S., & Chen, J. (2020). Alleviation of Salinity-Induced Oxidative Stress, Improvement in Growth, Physiology and Mineral Nutrition of Canola (*Brassica napus* L.) through Calcium-Fortified Composted Animal Manure. Sustainability, 12, 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12030846>
- Rabonatahiry, Li, N., Yu, H., & Li, M. (2021). Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, Utilization, and Genetic Improvement. Agronomy, 11(9), 1-37. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>
- Rameeh, V. (2012). Ions uptake, yield and yield attributes of rapeseed exposed to salinity stress. Journal of Soil Science Plant Nutral, 12(1), 851-861. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000037>
- Zhang, J. L., & Shi, H. (2013). Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. Photosynthesis Research, 115, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9813-6>