



The effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars

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

Salinity stress is one of the basic challenges in the field of agriculture, which occurs due to the increase in the concentration of salts in the soil and water resources, in the growth media of plants. Investigating different plants at different levels of salinity stress in greenhouse conditions, the possibility of cultivation in different seasons and speeding up the selection process of salinity-tolerant cultivars in order to introduce and continue research in the field is of great importance. Considering the susceptibility of different bean cultivars to salinity stress; Having a detailed understanding of the physiological and biochemical responses of different bean cultivars, when faced with saline conditions, allows us to provide effective solutions for the optimal management of salinity stress and the improvement of plants' resistance to salinity stress. In order to investigate the effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars, an experiment was carried out in the form of a split plot experiment with a completely randomized design in 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 four pinto bean cultivars used were Kousha, Saleh, Ghaffar, and Talash. The interaction of salinity stress and cultivar was significant for all investigated traits. According to the obtained results, in all the evaluated cultivars, the levels of salinity stress caused a decrease in the traits of chlorophyll content, biological yield, harvest index and seed yield. On the contrary, it caused an increase in carotenoid content, proline concentration and seed protein content. Under salinity stress, the examined cultivars moderated the adverse effects of salinity stress on reducing biological yield, harvest index and grain yield compared to the control by keeping the level of carotenoids high, increasing the amount of proline and seed protein. According to the results, the Kousha cultivar which obtained the highest seed yield of 3450 kg/ha at control (S0) and 1470 kg/ha at S3 (the highest level of salinity) was the most successful of all the cultivars in moderating the adverse effects of salinity. On the contrary, Talash cultivar showed the lowest seed yield of 680 kg/ha.

Keywords: Seed protein, Proline, Seed yield, Carotenoids content, Chlorophyll content

Article Type: Research Article

Article history: Received: 28 February 2024 Revised: 15 May 2024 Accepted: 07 June 2024 ePublished: 21 June 2024

1. Introduction

Environmental stresses are among the major limiting factors of crop production at the global level. Environmental stresses affect the biochemical and physiological processes of plants, leading to reduced crop yield, and in severe cases, even plant death. Among the abiotic stresses, salinity stress ranks second after drought stress as a limiting factor for the yield of agricultural crops worldwide (Gupta & Huang, 2014). The range of saline ecosystems is very wide, extending from lowlands to mountain elevations. In total, about 1 billion hectares of the world's land (seven percent of the world's land) and about 1.5 million hectares of agricultural land in the world (five percent of the world's land) are affected by salinity (Balasubramaniam et al, 2023). Considering that different bean cultivars exhibit varying levels of susceptibility to salinity at different stages, it is essential to study the effects of salinity levels on the ecophysiological characteristics of different bean cultivars. Evaluating different plants under various salinity stress levels in greenhouse conditions allows for the possibility of multi-season cultivation and faster screening in the cultivars selection process for identifying and continuing research on salt-tolerant cultivars, which holds great importance. Under these conditions, by measuring certain parameters related to salinity at the growth stage and before harvesting, salt-tolerant cultivars can be identified with a high degree of probability, thus allowing for a more informed selection process. The lack of comprehensive information on the effects of salinity on the physiological aspects of beans, as well as the existence of a significant number of unknown cultivars in terms of salt tolerance, makes extensive research in this field unavoidable. Therefore, this research was conducted to investigate The effects of different levels of salinity on the yield and some physiological characteristics of different pinto bean cultivars, with the aim of gaining a deeper understanding of salt tolerance in these plants and potentially identifying cultivars with improved salt tolerance for further breeding efforts.

2. Methodology

2.1. Experimental model

To evaluate the yield and some physiological characteristics of four different pinto bean cultivars under salinity stress, 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 four pinto bean cultivars used were Kousha, Saleh, Ghaffar, and Talash. The experimental units included 40 × 40 cm pots, 35 cm in height, containing a 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 chlorophyll content, carotenoids, and proline levels were measured throughout the growth season; samples were collected at the flowering stage (60 days after sowing) by taking five fully grown young leaves from the upper parts of each experimental unit. To measure the content of chlorophyll, carotenoids, and proline, the methods of Arnon (1940), Gross (1991), and Pacquiao and Lecourier (1997) were used, respectively; the absorption of light from the extract was recorded using a spectrophotometer (SHIMADZO 54A). At the end of the growth stage (100 days after sowing), to measure the biological yield, grain yield, and harvest index, six plants in each pot were randomly selected, harvested, and the above parameters were measured and calculated. Seed protein was calculated using the Bradford method (Bradford, 1976) with a Kjeldahl apparatus, using bovine serum albumin (BSA) as the standard.

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 this study, all the examined traits were affected by salinity; increasing salinity levels decreased chlorophyll content, biological yield, harvest index, and grain yield in all studied cultivars. Cultivars under salinity stress maintained high levels of carotenoids, increased proline, and seed protein content, which mitigated the adverse effects of salinity stress. Salinity stress disrupts plant metabolism, affecting the grain filling process and reducing the translocation of assimilates due to secondary drought conditions. This disruption leads to the abortion of flowers and newly formed seeds in the pods, ultimately resulting in decreased grain yield in beans. (Gupta et al, 2014).

4. Conclusions

Environmental stresses such as drought and salinity have inhibitory effects on growth and plant development under stress, leading to reductions in yield and harvest index; this is associated with decreased levels of photosynthetic pigments and the remobilization of photosynthetic materials during grain filling. In the present study, cultivars under salinity stress maintained high carotenoid levels, increased proline, and seed protein content, mitigating the adverse effects of salinity stress; the Kousha cultivar showed higher yield compared to other cultivars in salinity stress and a lower yield reduction. Therefore, considering the different cultivars' responses to salinity stress and susceptibility of beans to salinity conditions and secondary drought stress, further research on different cultivars under diverse climatic conditions in Iran is necessary.

5. References

- Arnon, D. I. (1940). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase. *Journal Plant Physiology*, 45, 100-114. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Balashubramaniam, T., Shen, G., Esmaili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. *Plants*, 12, 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 38, 248-252. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- 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>
- Gross J. (1991). *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*. Van Nostrand Reinhold. USA. 1-37. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-2033-7>
- 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>
- Paquine, R., & Lechasser, P. (1997). Observations sur une methode dosage la libre. 145-160. <https://doi.org/10.1139/b79-233>

6. Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

7. Acknowledgments

The author would like to thank the management of Payam Noor University of Gandaman Center (Chaharmahal and Bakhtiari Province) for the possibility of using the research greenhouse and laboratory facilities.


Cite this article: 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. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10549.1120





اثرات سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف

لوبیاجیتی

محمد عظیمی گندمانی 

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

چکیده

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. بررسی گیاهان مختلف در سطوح مختلف تنش شوری در شرایط گلخانه، امکان کشت در چند فصل و سرعت بخشیدن به فرایند گزینش ارقام متحمل به شوری، جهت معرفی و ادامه تحقیقات در مزرعه، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به حساسیت ارقام مختلف لوبیایی به تنش شوری؛ داشتن درک دقیق از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام مختلف لوبیای، در مواجهه با شرایط شور، این امکان را به ما می‌دهد که راهکارهای مؤثری برای مدیریت بهینه تنش شوری و ارتقاء مقاومت گیاهان به این تنش ارائه دهیم. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیاجیتی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۲۰۲۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) به اجرا درآمد. عامل اول چهار سطح شوری، شامل S_0 (۲)، S_1 (۱۰)، S_2 (۲۰) و S_3 (۳۰) دسی زیمنس بر متر است که درواقع S_0 محلول هوگلند به‌عنوان شاهد است و دیگر سطوح شوری حاصل از ترکیب کلرید سدیم (NaCl) و کلرید کلسیم ($CaCl_2$) به ترتیب با نسبت ۲۰ به ۱ مولی در محلول هوگلند، و چهار رقم لوبیاجیتی شامل: کوشا، صالح، غفار و تلاش به‌عنوان عامل دوم بکار رفتند. در طول آزمایش صفات محتوای کلروفیل، محتوای کارتنوئید، غلظت پرولین، درصد پروتئین، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برهمکنش تنش شوری و رقم برای کلیه صفات موردبررسی معنی‌دار گردید. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده گردید که در کلیه ارقام مورد ارزیابی، سطوح تنش شوری موجب کاهش میزان صفات محتوای کلروفیل، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه و در مقابل موجب افزایش صفات محتوای کارتنوئید، غلظت پرولین و درصد پروتئین دانه گردید. ارقام موردبررسی در شرایط تنش شوری با بالا نگه‌داشتن سطح کارتنوئیدها، افزایش میزان پرولین و پروتئین دانه نسبت به شاهد موجب تعدیل اثرات سوء تنش شوری شده؛ و باعث تعدیل اثرات نامطلوب تنش شوری بر کاهش عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه گردید. با توجه به نتایج، مشاهده شد که رقم کوشا علاوه بر کسب بیشترین میزان عملکرد دانه (۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح شوری شاهد (S_0)، در تعدیل اثرات تنش شوری نیز، موفق‌تر از سایر ارقام عمل نموده و در بالاترین سطح تنش شوری (S_3)، با میانگین عملکرد دانه ۱۴۷۰ کیلوگرم در هکتار، به‌طور معنی‌داری، بیشترین عملکرد دانه را به نام خود ثبت نمود؛ در مقابل رقم تلاش با میانگین عملکرد دانه ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ضعیفی از خود به نمایش گذاشت.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، پرولین، عملکرد دانه، کارتنوئیدها، محتوای کلروفیل

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۹ اسفند ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ پذیرش: ۱۸ خرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ تیر ۱۴۰۳

استناد: عظیمی گندمانی، م. (۱۴۰۳). اثرات سطوح مختلف شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیاجیتی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۲)، ۹۲-۷۷. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10549.1120



مقدمه

تنش‌های محیطی از عوامل مهم محدودکننده تولید در گیاهان زراعی در سطح جهان قلمداد می‌گردد. تنش‌های محیطی با تأثیر بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه، باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی و در موارد شدیدتر حتی باعث مرگ گیاه می‌گردد. در میان تنش‌های غیرزنده، تنش شوری پس از تنش خشکی، دومین عامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان است (دست‌نشان و سبک‌دست، ۱۳۹۸. و گاپتا و هانگ^۱، ۲۰۱۴). در ایران نزدیک به ۵۰ درصد اراضی زیرکشت کشاورزی، با مشکل شوری و قلیایی بودن خاک و آب آبیاری مواجه هستند (دست‌نشان و سبک‌دست، ۱۳۹۸).

گیاهان از طریق سیستم ریشه‌ای خود در معرض شوری قرار می‌گیرند. تأثیر منفی شوری بر مراحل مختلف رشد گیاه از جمله جوانه‌زنی، رشد رویشی و مراحل رسیدگی و عملکرد دانه در محصولات کشاورزی به اثبات رسیده است. میزان اثر تنش شوری بر گیاه زراعی، به مواردی همچون ژنوتیپ، شرایط آب و هوایی، نوع خاک، نحوه آبیاری و عملیات زراعی وابسته است. در گیاه لوبیا نیز تنش شوری در اکثر مراحل دوره رشد نظیر جوانه‌زنی، رشد رویشی و رسیدگی دانه اثرات سوء دارد (شاهرخیان و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به اینکه ارقام مختلف لوبیایی از نظر حساسیت به شوری در مراحل مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشند، مطالعه تأثیر سطوح شوری بر خصوصیات اکوفیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیا ضروری به نظر می‌رسد. بررسی گیاهان مختلف در سطوح مختلف تنش شوری در شرایط گلخانه، امکان کشت در چند فصل و سرعت بخشیدن به فرایند گزینش ارقام متحمل به شوری، جهت معرفی و ادامه تحقیقات در مزرعه، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این شرایط می‌توان با اندازه‌گیری برخی پارامترهای مرتبط با شوری در مرحله رویشی و قبل از رسیدن محصول، با احتمال بسیار بالا، ارقام متحمل به شوری را شناسایی نمود. عدم اطلاعات جامع در مورد تأثیر شوری بر پایه‌های فیزیولوژیکی لوبیا و نیز وجود طیف قابل توجهی از ژنوتیپ‌های ناشناخته به لحاظ تحمل به شوری، لزوم تحقیقات گسترده را در این زمینه اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. لذا این پژوهش به منظور بررسی آثار شوری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام مختلف لوبیا صورت گرفت.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

حبوبات پس از غلات مهم‌ترین منبع غذایی انسان را تشکیل می‌دهند و در بین حبوبات، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از لحاظ سطح زیر کشت، مقام اول را در ایران و جهان را دارد. لوبیا با داشتن حدود ۲۳-۱۸ درصد پروتئین و مقادیر مناسبی از عناصر فسفر، آهن، ویتامین B و فیبر، دارای بهترین پروتئین گیاهی فاقد کلسترول بوده و در بسیاری از مناطق دنیا که هزینه تولید پروتئین حیوانی بسیار بالا است؛ به‌عنوان یکی از منابع تأمین غذای انسان کاربرد دارد (گل‌عزانی و همکاران^۲، ۲۰۱۲).

محدوده اکوسیستم‌های شور بسیار وسیع است، به طوری که از ارتفاعات پایین تا ارتفاعات کوه‌ها گسترش دارد. در مجموع حدود ۱۰۰۰ بیلیون هکتار از اراضی کل دنیا (هفت درصد اراضی جهان) و حدود ۱/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی در دنیا (پنج درصد اراضی جهان) به نحوی متأثر از شوری می‌باشند (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴). 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 (پرنده و همکاران، ۱۳۹۳، و مجنون حسینی، ۱۳۹۴).

زمانی که تنش شوری اتفاق می‌افتد میزان گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل سوپراکسید (O_2) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش می‌یابد. گونه‌های فعال اکسیژن به دلیل داشتن الکترون‌های جفت نشده در اربیتال‌های خود، از میل ترکیبی بسیار بالایی با مولکول‌های زیستی سلول برخوردار می‌باشند. رادیکال‌های حاصل از احیای ناقص اکسیژن مولکول‌های زیستی که پیش ساز متابولیت‌های ضروری متابولیسم می‌باشند را هدف قرار داده و به این ترتیب مانع سنتز آن‌ها می‌شوند (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴، و احمد و امر^۳، ۲۰۱۱)؛ و از طرفی نیز کاهش پتانسیل تورژسانس در نتیجه شوری، مهم‌ترین عامل بازدارندگی رشد گیاه تحت شرایط شوری است. کاهش فشار تورژسانس بر روی تقسیم سلولی و

¹ Gupta & Huang

² Golezani et al

³ Ahmad & Umar

طویل شدن و همچنین بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان حساس به شوری اثر می‌گذارد. این امر باعث کاهش تبادل گازی (کاهش فتوسنتز و تنفس) و در نتیجه باعث کاهش رشد گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد می‌شود (ژانگ و شی، ۲۰۱۳). مقاومت به شوری در گیاهان فرایندی بسیار پیچیده است، به طوری که واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی به بروز تغییرات ظاهری و رشدی گیاه منجر می‌گردند. غلظت و ترکیب یونی شوری و نوع وارپته گیاه از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز پاسخ‌های متفاوت گیاهان از نظر کاهش رشد و عملکرد به شمار می‌آیند (ژانگ و شی، ۲۰۱۳). بقولات نیز همانند گیاهان دیگر، بسته به عواملی همچون شرایط آب و هوایی، خواص خاک و مرحله رشد گیاه عکس‌العمل‌های متفاوتی در پاسخ به تنش شوری اعمال می‌نمایند. بعضی از بقولات مانند باقلا، لوبیا و سویا نسبت به سایر بقولات مانند خنجر، مقاومت بیشتری به شوری دارند (استووا و کایماکانووا، ۲۰۰۸، و گلعدانی و همکاران، ۲۰۱۲).

روش پژوهش

به منظور ارزیابی عملکرد محصول و برخی از خصوصیات فیزیولوژیک ۴ رقم مختلف لوبیاچیتی تحت سطوح مختلف شوری، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) که در شکل (۱) نشان داده شده است، به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. چهار سطح شوری، شامل S0 (۲)، S1 (۱۰)، S2 (۲۰) و S3 (۳۰) دسی‌زیمنس بر متر است که در واقع S0 محلول هوگلند به عنوان شاهد است 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، به عنوان عامل اول و عامل دوم نیز چهار رقم لوبیاچیتی شامل کوشا، صالح، غفار و تلاش بودند. واحدهای آزمایش شامل گلدان‌هایی به ابعاد ۴۰ × ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و حاوی ماسه نرم و کاملاً شسته شده بود. برای ایجاد زه‌کشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، ۳ سوراخ به قطر یک سانتی‌متر در ته هر کدام از گلدان‌ها تعبیه شد. ۱۵ عدد بذر ارقام مختلف لوبیاچیتی در عمقی حدود سه سانتی‌متر از سطح ماسه در گلدان‌ها کشت شدند. از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی (۷ روز پس از کاشت) آبیاری با آب مقطر صورت گرفت و پس از ثبت تاریخ دقیق سبز شدن (زمانی که ۵۰ درصد از بذرها سبز شد)، گلدان‌ها به سبب عدم جذب و نیاز کمتر گیاهان به نسبت کامل عناصر غذایی، با محلول حاوی نصف غلظت عناصر غذایی محلول هوگلند، به صورت یک روز در میان، آبیاری شدند (دهداری و همکاران، ۲۰۰۵). دو هفته بعد از استقرار گیاهان، به جهت رسیدن به تراکم مطلوب، بوته‌ها از ۱۵ بوته به هشت بوته در گلدان تنک شدند. از زمان ۲۰ روز پس از کاشت (مرحله چهار برگی گیاه)، سطوح شوری جهت سازگار شدن گیاهان به صورت تدریجی اعمال گردید، به نحوی که کلیه گلدان‌ها به جز سطح شاهد با اضافه کردن تدریجی شوری به میزان ۲۵ درصد هر سطح، در چهار نوبت آبیاری، کل تیمار شوری مربوط به هر سطح اعمال گردید. اعمال تیمارهای شوری تا پایان مرحله رسیدگی، با نسبت‌های ذکر شده ادامه داشت (دهداری و همکاران، 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 (هوجلند و آرنون، ۱۹۵۰).

¹ Zhang & Shi

² Stoeva & Kaymakanova

³ Dehdari et al

⁴ Hoagland & Arnon

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

محلول مادر	غلظت	جرم مولی به گرم	میلی لیتر در لیتر - میزان کاربرد
فسفات دی هیدروژن آمونیوم	یک مولار	۱۳۶	۱
نترات پتاسیم	یک مولار	۱۰۱	۶
نترات 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

در این پژوهش صفات محتوای کلروفیل، کارتنوئیدها و میزان اسیدآمینو پرولین در طول فصل رشد برآورد گردید؛ نمونه‌گیری در مرحله گلدهی (۶۰ روز پس از کاشت) با برداشت پنج‌برگ جوان و کاملاً رشد یافته از قسمت‌های بالایی گیاه از هر واحد آزمایشی صورت گرفت. برای اندازه‌گیری پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی حاصل از برگ‌های نمونه‌برداری شده انتخاب گردید و به لوله‌های درب دار منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر شده به آن اضافه شد. سپس ۵ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به هر نمونه اضافه گردید و نمونه‌ها داخل حمام آب‌جوش (بن‌ماری) به مدت ۴۵ دقیقه قرار داده شدند؛ پس از خنک شدن نمونه‌ها، به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بنزن اضافه شد و به‌شدت تکان داده شد تا پرولین وارد فاز بنزن گردد. سپس میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت شد (پاکوئین و لچاژر^۱، ۱۹۹۷).

برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها به ترتیب از روش آرنون^۲ (۱۹۴۰) و گروس^۳ (۱۹۹۱) استفاده شد؛ بدین منظور یک گرم برگ خرد شده از نمونه‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی توزین و عملیات استخراج کلروفیل و کارتنوئیدها از بافت های گیاه، به‌وسیله استن ۸۰ درصد (مرک^۴) و کربنات منیزیم (سیگما^۵) در یک حمام یخی صورت گرفت. سپس میزان جذب نور محلول برای محتوای کلروفیل در طول‌موج‌های ۶۴۳ و ۶۴۵ نانومتر و برای محتوای کارتنوئیدها در طول‌موج ۴۸۰ نانومتر، به‌وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل SHIMADZO 54A) قرائت شد و نهایتاً میزان محتوای کلروفیل و کارتنوئیدها برآورد گردید که در شکل (۲) نشان داده شده است.

¹ Paquine & Lechasser

² Arnon

³ Groos

⁴ Merk

⁵ Sigma



شکل ۱. موقعیت مکانی انجام پژوهش



شکل ۲. بخشی از مراحل اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر

در مرحله رسیدگی (۱۰۰ روز پس از کاشت) نیز برای برآورد عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت، شش بوته در هر گلدان به صورت کف‌بر، برداشت و پارامترهای فوق اندازه‌گیری و محاسبه شد. پروتئین دانه نیز پس از تهیه نمونه از دانه‌های برداشت‌شده به روش برادفورد^۱ (۱۹۷۶) توسط دستگاه کجلدال و با استفاده از سرم آلبومین گاوی (BSA^۲) به‌عنوان استاندارد، محاسبه گردید. نهایتاً 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

محتوای کلروفیل

اثر متقابل تنش شوری و رقم برای محتوای کلروفیل معنی‌دار گردید که در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده گردید که محتوای کلروفیل با افزایش سطح تنش شوری در کلیه ارقام موردبررسی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در سطح شوری شاهد (S0) و سطح شوری (S3)، رقم غفار به ترتیب با میانگین‌های ۰/۰۹۴ و ۰/۰۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، بیشترین میزان محتوای کلروفیل را داشت ولی با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری نبود. در جدول (۳) مشاهده گردید که با افزایش سطح تنش شوری از S0 به S3، میزان محتوای کلروفیل در ارقام کوشا و تلاش به ترتیب با ۳۲/۱۸ و ۳۲/۹۶ درصد کاهش، کمترین میزان تأثیرپذیری از تنش شوری را در

^۱ Bradford

^۲ bovine serum albumin

مقایسه با سایر ارقام از خود نشان دادند؛ همچنین کمترین میزان محتوای کلروفیل نیز به میزان ۰/۰۵۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ، در سطح شوری S3 و به رقم صالح تعلق گرفت.

کاهش غلظت کلروفیل تحت تاثیر تنش شوری توسط سایر محققین (فیرا گوس و همکاران^۱، ۲۰۲۰، و محرم نژاد و ولیزاده، ۱۳۹۴) نیز گزارش شده است، به علت مشترک بودن مسیر بیوسنتزی کلروفیل و آلفا کتوفروول و اولویت گیاه در شرایط شور به سمت فعال کردن مسیر بیوسنتزی آنتی اکسیدان آلفا کتوفروول و همچنین به دلیل تغییر مسیر متابولیسم نیتروژن در ساخت ترکیب‌هایی نظیر پرولین، محتوای کلروفیل در گیاه کاهش می‌یابد (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴). محرم نژاد و ولیزاده (۱۳۹۴) نیز در تحقیقات خود در زمینه تغییرات میزان رنگدانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های لوبیاچیتی در شرایط شور، بیان نمودند که تنش شوری موجب کاهش میزان کلروفیل و میزان فتوسنتز گیاه می‌شود. بیان شده است که (بالاسوبرامانیام و همکاران^۲، ۲۰۲۳) تنش شوری در غلظت‌های پایین نمک منجر به کاهش نرخ فتوسنتز می‌گردد و با افزایش سطح تنش شوری، ساختارهای کلروپلاست آسیب جدی می‌بیند. نتایج پژوهش حاضر نیز با موارد فوق تطابق دارد؛ به نحوی که سطوح پایین تنش شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل گردید ولی با افزایش سطح تنش این میزان کاهش، شیب تندتری به خود گرفت و تأثیر بیشتری بر کاهش محتوای کلروفیل داشت. مطالعات زیادی در خصوص اثرات تنش شوری بر فتوسنتز و محتوای کلروفیل گیاهان مختلف از جمله لوبیا، ارزن، ذرت و باقلا (هنلیکوا و همکاران^۳، ۲۰۲۱، و حناچی و همکاران^۴، ۲۰۲۲) انجام شده است؛ همه این مطالعات موارد فوق را تأیید نموده و بیان کردند که در شرایط تنش شوری کاهش میزان کلروفیل به علت کاهش سنتز کلروفیل و همچنین تخریب کلروفیل ناشی از اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و یا آنزیم کلروفیلاز، موجب کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی و نهایتاً عملکرد گیاه می‌گردد (ژانگ و شی، ۲۰۱۳، و بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

جدول ۲. میانگین مربعات صفات مورد بررسی در آزمایش تأثیر شوری بر ارقام لوبیاچیتی

درجه آزادی	محتوای کلروفیل	کارتنوئیدها	غلظت پرولین	پروتئین دانه	عملکرد دانه بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
شوری	۰/۰۰۴۱۳**	۰/۰۱۸**	۱۳/۸۳**	۱/۲۲**	۷۰۱۰۲۴۴/۶۳**	۹۶۱۷۶۷۱/۴۵**	۲۹۸/۵۶۵**
خطای a	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۳۱	۱/۶۵	۳۷۵۵۲۰/۱۲	۳۹۸۹/۵۵	۰/۶۶۸
رقم	۰/۰۰۰۱۸۰**	۰/۰۰۰۸۹**	۰/۰۵۲**	۹/۹۳**	۲۰۵۱۵۳/۶۱**	۲۴۹۸۵۳/۵۳**	۹۸/۸۲۹**
شوری × رقم	۰/۰۰۰۰۵۹**	۰/۰۰۰۰۱۶**	۰/۰۳۶**	۰/۴۵**	۳۹۹۶۲۴/۰۳**	۲۳۹۶۷/۵۵**	۱۰/۹۶۲**
خطای b	۰/۰۰۰۰۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۳/۱۵	۶۰۵۲۴/۴۴	۳۰۷۴/۷۵	۰/۵۰۳
ظریب تغییرات	۳/۱۳	۳/۲۸	۴/۱۱	۲/۶۲	۲/۲۶	۲/۲	۲/۴۰

**،* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیر معنی‌دار را نشان می‌دهند.

کارتنوئیدها

کارتنوئیدها رنگیزه‌های غیر سبزی هستند که نقش ویژه‌ای در محافظت از کلروفیل موجود در برگ و افزایش فتوسنتز در برگ، ایفا می‌کنند. با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم، برای محتوای کارتنوئید در جدول (۲)، مشاهده گردید که با افزایش میزان شوری در کلیه ارقام مورد بررسی، میزان کارتنوئیدها نیز روند افزایشی داشت؛ بطوریکه بیشترین میزان کارتنوئید به میزان ۰/۳۸ میلی گرم بر گرم وزن تر، در سطح شوری S3 و در رقم کوشا مشاهده شد که با سایر تیمارها مطابق جدول (۳) دارای تفاوت معنی‌داری بود. کمترین میزان کارتنوئیدها نیز به میزان ۰/۲۶ میلی گرم بر گرم وزن تر، در سطح شاهد (S0) و مربوط به رقم غفار بود (جدول ۳). در این خصوص، با افزایش سطح تنش شوری از شاهد (S0) تا بالاترین سطح تنش شوری (S3)، بیشترین میزان درصد افزایش محتوای به میزان ۳۱/۰۳ درصد در رقم کوشا و کمترین

¹ Ferreira Goes et al

² Balasubramaniam et al

³ Hnilickova et al

⁴ Hannachi et al

درصد افزایش آن به میزان ۱۸/۵۲ درصد، مربوط به رقم تلاش بود. نتایج تحقیقات محرم نژاد و ولیزاده (۱۳۹۴) نیز با پژوهش حاضر تطابق دارد؛ آن‌ها اظهار کردند که تنش شوری (۴۰۰ میلی‌مولار NaCl) در گیاهچه‌های لوبیا قرمز سبب کاهش وزن تر و میزان کلروفیل برگ می‌شود؛ ولی موجب افزایش غلظت آنتوسیانین و کارتنوئیدها در گیاه می‌گردد. در خصوص افزایش کارتنوئیدها و پرولین نیز گزارش شده است که گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو از سیستم‌های غیرآنزیمی و آنزیمی بهره می‌برند؛ در این خصوص، کارتنوئیدها، آسکوربات‌ها و پرولین به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی، جهت مقابله با گونه‌ها اکسیژن فعال نقش کلیدی را ایفا می‌کنند (گاپتا و همکاران^۱، ۲۰۰۵، و ال هینایی و همکاران^۲، ۲۰۲۲). در پژوهش حاضر نیز میزان کارتنوئیدها در شرایط تنش شوری افزایش یافت و حداکثر میزان آن در بالاترین سطوح شوری و در ارقامی نظیر کوشا که در بالاترین سطح تنش شوری (S3)، عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام داشتند مشاهده گردید؛ که با تحقیقات صورت گرفته مبنی بر اثر کارتنوئیدها در خنثی‌سازی گونه‌های اکسیژن فعال دلالت دارد (بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳، و زهرا و همکاران^۳، ۲۰۲۲).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف شوری (S) و رقم بر برخی صفات موردبررسی در ارقام مختلف لوبیاچیتی

محتوای کلروفیل کارتنوئیدها	غلظت پرولین	پروتئین دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	سطوح شوری رقم	میلی‌گرم بر گرم	میکرومول بر گرم وزن تر	درصد	کیلوگرم در هکتار
کوشا	۰/۰۸۷ ^{ab}	۰/۲۹ ^{cd}	۰/۸۲ ^e	۲۲/۹ ^{ab}	۹۷۰۵ ^{ab}	۳۳۵۰ ^a	۳۵ ^a			
صالح	۰/۰۹۱ ^a	۰/۲۸ ^d	۰/۸۳ ^e	۲۱/۰۸ ^{ab}	۱۰۰۴۰ ^{ab}	۳۳۵۰ ^a	۳۳ ^{ab}			
غفار	۰/۰۹۴ ^a	۰/۲۶ ^{de}	۰/۸۲ ^e	۲۲/۱۱ ^a	۱۱۰۰۰ ^a	۳۴۵۰ ^a	۳۱ ^b			
تلاش	۰/۰۹۱ ^a	۰/۲۷ ^d	۰/۸۲ ^e	۲۲/۵۰ ^a	۱۰۸۰۰ ^a	۳۳۰۰ ^a	۳۱ ^b			
کوشا	۰/۰۷۷ ^c	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۰۵ ^{de}	۲۳/۲۳ ^d	۸۷۸۷ ^{bc}	۲۹۰۰ ^b	۳۳ ^{ab}			
صالح	۰/۰۸۰ ^{bc}	۰/۳۰ ^c	۱/۰۵ ^{de}	۲۱/۱۳ ^c	۹۵۰۰ ^{ab}	۲۸۵۰ ^{bc}	۳۰ ^{bc}			
غفار	۰/۰۸۲ ^b	۰/۲۹ ^{cd}	۱/۰۶ ^{de}	۲۱/۱۱ ^c	۹۳۱۰ ^{ab}	۲۷۰۰ ^{bc}	۲۹ ^c			
تلاش	۰/۰۸۲ ^b	۰/۲۸ ^d	۱/۰۴ ^{de}	۲۲/۳۵ ^a	۹۴۶۴ ^{ab}	۲۶۵۰ ^{bc}	۲۸ ^{cd}			
کوشا	۰/۰۶۲ ^{de}	۰/۳۶ ^{ab}	۱/۰۵ ^{ab}	۲۳/۷۴ ^a	۷۱۶۱ ^{cd}	۲۲۲۰ ^d	۳۱ ^b			
صالح	۰/۰۶۳ ^d	۰/۳۳ ^{bc}	۱/۰۴ ^b	۲۱/۶۱ ^b	۶۸۹۳ ^{de}	۱۹۳۰ ^{de}	۲۸ ^{cd}			
غفار	۰/۰۶۸ ^d	۰/۳۱ ^c	۱/۰۳ ^c	۲۱/۶۳ ^b	۶۴۶۴ ^{de}	۱۸۱۰ ^{de}	۲۸ ^{cd}			
تلاش	۰/۰۶۵ ^d	۰/۳۰ ^c	۱/۰۶ ^d	۲۲/۸۸ ^a	۶۶۹۲ ^e	۱۷۴۰ ^e	۲۶ ^d			
کوشا	۰/۰۵۹ ^{de}	۰/۳۸ ^a	۱/۰۹ ^a	۲۴/۲۷ ^a	۵۲۵۰ ^{ef}	۱۴۷۰ ^e	۲۹ ^d			
صالح	۰/۰۵۴ ^e	۰/۳۴ ^b	۱/۰۵ ^b	۲۲/۱۴ ^b	۳۹۶۲ ^f	۱۰۳۰ ^{ef}	۲۷ ^{de}			
غفار	۰/۰۶۲ ^{de}	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۰۴ ^b	۲۳/۰۰ ^b	۳۴۰۰ ^{fe}	۸۵۰ ^f	۲۵ ^e			
تلاش	۰/۰۶۱ ^{de}	۰/۳۲ ^{bc}	۱/۰۳ ^c	۲۳/۱۸ ^a	۲۷۲۰ ^e	۶۸۰ ^f	۲۵ ^e			

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد است.

¹ Gupta et al

² Al Hinai et al.

³ Zahra et al

غلظت پرولین

مطابق جدول (۲) با توجه به معنی دار شدن اثر متقابل تنش شوری و رقم در خصوص میزان پرولین؛ مشاهده گردید که در همه ارقام موردبررسی با افزایش سطح شوری، میزان پرولین نیز افزایش معنی داری داشت؛ در این خصوص، با افزایش شدت تنش از سطح شوری S0 به سطح شوری S3، بیشترین (۱۳۷/۸۰ درصد) و کمترین (۶۵/۸۵ درصد) میزان افزایش درصد پرولین به ترتیب به ارقام کوشا و تلاش تعلق گرفت که در جدول (۳) نشان داده شده است. میزان پرولین در سطح شوری شاهد (S0) در بین ارقام مورد آزمایش تفاوت معنی داری نداشت؛ در بالاترین سطح شوری (S3) نیز رقم کوشا با میانگین ۱/۹۵ میکروگرم بر گرم وزن تر، دارای بیشترین میزان پرولین و رقم تلاش با میانگین ۱/۳۶ میکروگرم بر گرم وزن تر، کمترین میزان پرولین را به خود اختصاص داد.

بالا بودن مقدار پرولین به عنوان یک نشانه فیزیولوژیکی در پاسخ گیاه به تنش شوری قلمداد می گردد (احمد و امر، ۲۰۱۱ و هنیلیکوا و همکاران^۱، ۲۰۲۱). گزارش شده است که تجمع املاح آلی سازگار مانند پرولین و قندهای محلول از رایج ترین پاسخها در گیاهان تحت تنش شوری است؛ در پژوهش حاضر نیز همانند پژوهش های اشاره شده، تنش شوری موجب افزایش محتوای پرولین گردید؛ که پرولین تولیدی به عنوان محافظ اسمزی عمل نموده و به تنظیم اسمزی درون سلولی و مقابله با گونه های اکسیژن فعال کمک می کند (هنلیکوا و همکاران، ۲۰۲۱).

پروتئین دانه

درصد پروتئین دانه حبوبات که یکی از مهم ترین معیارهای ارزیابی کمی و کیفی حبوبات قلمداد می گردد، نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. مطابق جدول (۲) با توجه به معنی دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم در خصوص صفت درصد پروتئین دانه، مشاهده گردید که بیشترین میزان پروتئین دانه به میزان ۲۳/۹۶ درصد، در سطح شوری S3 و مربوط به رقم کوشا و کمترین آن به میزان ۲۱/۰۸ درصد، در سطح شاهد و مربوط به رقم صالح بود که در جدول (۳) نیز نشان داده شده است. مطابق جدول (۳) میزان درصد پروتئین دانه با افزایش سطح تنش شوری در کلیه ارقام مورد ارزیابی دارای یک روند افزایشی بود؛ در این خصوص، بیشترین (۵/۹۸ درصد) و کمترین (۳/۰۲ درصد)، میزان افزایش درصد پروتئین دانه، با افزایش سطح تنش شوری از سطح شوری شاهد (S0) به سطح تنش شوری (S3)، به ترتیب مربوط به ارقام کوشا و تلاش بود.

با افزایش شدت تنش و کاهش دسترسی گیاه به آب، همانند شرایط تنش خشکی میزان پروتئین دانه افزایش می یابد؛ که این امر ناشی از تغییرات فرایندهای فیزیولوژیک گیاه در جهت افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش و جلوگیری از کاهش بیشتر عملکرد است (شاهرخیان و همکاران، ۱۴۰۰، و گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴). عمادی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در مطالعه ارقام مختلف لوبیا تحت تنش خشکی، افزایش میزان درصد پروتئین را در شرایط تنش گزارش دادند که علت این میزان افزایش پروتئین دانه در شرایط تنش را به طور عمده به کاهش نسبت نشاسته به پروتئین در دانه به واسطه کاهش فتوسنتز خالص نسبت دادند (شاهرخیان و همکاران، ۱۴۰۰).

عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج برهمکنش تنش شوری و رقم برای عملکرد بیولوژیک (جدول ۳) مشاهده گردید که در سطح شاهد (S0) رقم غفار با میانگین ۱۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و رقم تلاش در سطح شوری S3، با میانگین ۲۷۲۰ کیلوگرم در هکتار کمترین رتبه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). حفظ میزان بالای عملکرد بیولوژیک به عنوان سطح فتوسنتز کننده مطلوب در شرایط تنش شوری، بیانگر سازگاری بهتر گیاه با شرایط تنش و نهایتاً حصول عملکرد بالاتر است؛ در این خصوص در بالاترین سطح تنش شوری (S3)، رقم

¹ Hnilickova et al

کوشا با کمترین میزان درصد کاهش عملکرد بیولوژیک (۴۶ درصد)، نسب به سطح شاهد و با میانگین ۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، به طور معنی-داری دارای بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک نسبت به سایر ارقام مورد بررسی بود که در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج سایر محققین نیز (پرنده و همکاران، ۱۳۹۳، و دست‌نشان و سبک‌دست، ۱۳۹۸) مؤید کاهش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا تحت شرایط تنش شوری است؛ که با نتایج حاضر تطابق دارد. آن‌ها بیان نمودند که بروز تنش، موجب بسته شدن روزنه‌ها، تخریب کلروفیل، کاهش فتوسنتز و به دنبال آن کاهش رشد و نمو گیاه تحت تنش می‌گردد (گل‌دانی و همکاران، ۲۰۱۲، و افضل و همکاران^۱، ۲۰۲۲). مقدار کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش مؤثری در توان فتوسنتزی گیاهان دارند و به همین دلیل مستقیماً بر میزان و سرعت فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند. از آنجایی که تنش شوری موجب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان تحت تنش شوری می‌گردد؛ ظرفیت گیاه برای فتوسنتز و تولید را کاهش داده و از این طریق موجب کاهش زیست‌توده تولیدی می‌شود (عطا و همکاران^۲، ۲۰۲۳، و همکاران^۳، ۲۰۲۳).

عملکرد دانه

با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش رقم و تنش شوری برای عملکرد دانه مشاهده گردید که بیشترین مقدار عملکرد دانه برای همه ارقام مورد ارزیابی مربوط به سطح شوری شاهد (S0) بود؛ در این خصوص بیشترین میانگین عملکرد دانه به میزان ۳۴۵۰ کیلوگرم در هکتار، در سطح شوری شاهد (S0) و به رقم غفار اختصاص یافت که در جدول (۳) نشان داده شده است. عملکرد دانه در کلیه ارقام مورد ارزیابی با افزایش سطح شوری کاهش یافت. میزان درصد کاهش عملکرد دانه از هر سطح تنش شوری نسبت به سطح قبل، در تمامی ارقام متفاوت بود؛ بطوریکه بیشترین درصدهای کاهش عملکرد دانه، در همه ارقام مورد ارزیابی در افزایش سطح تنش شوری از S2 به S3 مشاهده گردید. در سطح شوری S3، رقم کوشا با ۵۶/۱۲ درصد کاهش نسبت به سطح شوری شاهد، دارای کمترین میزان درصد کاهش عملکرد بود و رقم تلاش با ۷۹/۳۹ درصد کاهش نسبت به سطح شوری شاهد، بیشترین میزان کاهش عملکرد را به نام خود ثبت نمود که در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده گردید که رقم کوشا در تعدیل اثرات تنش شوری، موفق‌تر از سایر ارقام عمل نموده و در بالاترین سطح شوری (S3) با میانگین عملکرد دانه ۱۴۷۰ کیلوگرم در هکتار، به طور معنی‌داری، بیشترین عملکرد دانه را به نام خود ثبت نمود؛ در مقابل رقم تلاش با میانگین عملکرد دانه ۶۸۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ضعیفی از خود به نمایش گذاشت.

تنش شوری در گیاه، از طریق ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه در فرایند پر شدن دانه و علاوه بر آن تأثیر در کاهش انتقال مواد پرورده ناشی از شرایط ثانویه خشکی موجب سقط گل‌ها و دانه‌های تازه تشکیل شده در غلاف و به دنبال آن موجب کاهش عملکرد دانه در لوبیا می‌گردد (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴، و گل‌دانی و همکاران، ۲۰۱۲). تنش شوری با کاهش هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن کاهش آسیمیلایون دی‌اکسید کربن و سرعت فتوسنتز دو، منجر به کاهش توان فتوسنتزی و نهایتاً کاهش عملکرد در گیاهان تحت تنش شوری می‌گردد (عطا و همکاران، ۲۰۲۳، و توگاتوروپ و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر جنبه‌های رشد گیاه که مورد بحث قرار گرفت، تنش شوری با کاهش کارایی دستگاه فتوسنتزی از یک سو و هزینه‌های تحمیلی جهت مقابله با اثرات سوء تنش و ایجاد سازگاری‌های متابولیک از سوی دیگر، منجر به کاهش در عملکرد گیاه می‌گردد (عطا و همکاران^۴، ۲۰۲۳، و توگاتوروپ و همکاران، ۲۰۲۳).

شاخص برداشت

شاخص برداشت که بیانگر سهم عملکرد اقتصادی از زیست‌توده تولیدی و نمایانگر نحوه تسهیم شیره پرورده بین اندام گیاهی است نیز در همه ارقام مورد ارزیابی، تحت تأثیر سطوح مختلف تنش شوری قرار گرفت. با توجه به جدول (۲) با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش تنش شوری و رقم برای شاخص برداشت مشاهده گردید که بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۵ درصد) در سطح شوری شاهد (S0)، در رقم کوشا و

¹ Afzal et al

² Atta et al

³ Togatorop et al

⁴ Atta et al

کمترین میزان شاخص برداشت (۲۵ درصد) در سطح شوری S3، به طور مشترک در ارقام تلاش و غفار مشاهده گردید. مطابق جدول (۳) میزان شاخص برداشت با افزایش سطوح تنش شوری در کلیه ارقام مورد ارزیابی، یکروند نزولی را نشان داد؛ به طوری که با افزایش سطح تنش شوری از S0 به S3، رقم کوشا با تسهیم بهتر مواد تولیدی دستگاه فتوستتزی به نفع عملکرد دانه، با میانگین ۱۷/۱۴ درصد، دارای کمترین میزان درصد کاهش شاخص برداشت و ارقام غفار و تلاش با میانگین ۱۹/۳۵ درصد، دارای بیشترین درصد کاهش شاخص برداشت نسبت به سایر ارقام مورد ارزیابی بودند.

سایر محققان نیز (استووا و کایماکانوا، ۲۰۰۸، و گلعدانی و همکاران، ۲۰۱۲) کاهش شاخص برداشت را در شرایط تنش شوری در لوبیا و سایر گیاهان زراعی گزارش داده‌اند و بیان نمودند که علاوه بر تجمع ماده خشک تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های مختلف گیاه نیز در مقاومت گیاه به تنش و عملکرد قابل برداشت حائز اهمیت است. اولویت تخصیص شیره پرورده در شرایط تنش به لحاظ بالا نگه‌داشتن تولید حائز اهمیت است؛ از این رو در پژوهش حاضر ارقامی نظیر کوشا، با داشتن عملکرد بیولوژیک بیشتر در شرایط تنش شوری و تسهیم درصد بالاتری از آن در تولید عملکرد دانه، دارای بیشترین شاخص برداشت در شرایط تنش شوری بودند (بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳، و زهرا و همکاران، ۲۰۲۲). تنش‌های محیطی نظیر تنش خشکی و شوری، موجب اثرات بازدارنده بر فرایندهای مرتبط با رشد و نمو گیاه تحت تنش شده که موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین کاهش شاخص برداشت می‌گردد؛ که با کاهش سطح فتوستتزی کننده و انتقال مجدد مواد فتوستتزی شده در مرحله پر شدن دانه‌ها ارتباط دارد (ژانگ و شی، ۲۰۱۳ و عطا و همکاران، ۲۰۲۳). داشتن شاخص برداشت بالا در شرایط تنش‌های محیطی نظیر تنش شوری و خشکی معیار مناسبی جهت گزینش ارقام متحمل به تنش قلمداد می‌گردد (بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

بحث

شوری به‌عنوان یکی از مشکلات عمده تهدیدکننده کشاورزی در سطح بین‌المللی و به‌ویژه در عرض‌های پایین جغرافیایی مطرح است. یکی از دلایل از بین رفتن بسیاری از زمین‌ها تنش شوری است. نیاز اعلام‌شده برای افزایش تولید غذا به همراه مشکل شور شدن زمین‌ها و نیز با توجه به این حقیقت که بشر در آینده نمی‌تواند زمین‌های کشاورزی را رها نماید و به سراغ زمین‌های جدید برود، همه نشانه‌های خوبی برای تغییر اولویت‌های تحقیقاتی کشاورزی در سال‌های آینده می‌باشند.

افزایش غلظت نمک‌ها در محیط رشد ریشه به میزان بیش از آستانه تحمل گیاه، منجر به کاهش کیفیت و کمیت محصولات می‌گردد (ژانگ و شی، ۲۰۱۳). مهم‌ترین واکنش گیاه به شوری خاک، کاهش رشد است که می‌تواند به دلیل اختلال در جذب آب و املاح، بسته شدن جزئی یا کلی روزه‌ها و کاهش کارایی فتوستتزی باشد (رزاقی و همکاران^۱، ۲۰۱۱، و زهرا و همکاران، ۲۰۲۲)؛ همچنین تنش شوری سبب تخریب سیستم متابولیسمی و بی‌نظمی غشایی شده و با افزایش لیگنین و ضخامت دیواره سلولی، قابلیت ارتجاعی آن را کاهش داده و منجر به کاهش تقسیم و گسترش سلولی و در نهایت افت رشد، توسعه و درصد بقای گیاهان و نهایتاً کاهش عملکرد گیاه تحت تنش می‌گردد. (گاپتا و هانگ، ۲۰۱۴، و بالاسوبرامانیام و همکاران، ۲۰۲۳).

در پژوهش حاضر نیز تنش شوری از طرق مختلف با محدود کردن رشد و نمو گیاه موجب کاهش عملکرد گردید. با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده گردید که در کلیه ارقام مورد بررسی، شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل و افزایش پرولین و کارتنوئیدها گردید. بیان شده است که با مواجهه گیاهان با انواع تنش، نظیر تنش شوری و خشکی، تنش اکسیداتیو القاء می‌گردد و میزان گونه‌های اکسیژن فعال از قبیل سوپر اکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) افزایش پیدا می‌کند. میل ترکیبی بالای گونه‌ها اکسیژن فعال با مولکول‌های زیستی سلول سبب اکسید

¹ Razzaghi et al

شدن چربی‌ها، تغییر ساختمان پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن کلروفیل و تخریب اسیدهای نوکلئیک می‌گردد (ال هینایی و همکاران^۱، ۲۰۲۲، و احمد و امر، ۲۰۱۱).

با توجه به نتایج جدول (۳) مشاهده گردید که هر سه صفت عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه نیز با اعمال تنش شوری و افزایش شدت تنش روند کاهشی داشتند. با توجه به نقش کارتنوئیدها در حفاظت از رنگ‌دانه‌های سبز یا همان کلروفیل؛ افزایش محتوای کارتنوئید در شرایط تنش، موجب کاهش اثرات تنش بر گیاهان و کمک به کاهش آسیب به رنگ‌دانه‌های سبز فتوسنتزی و کاهش اثرات سوء تنش می‌شود (زهرا و همکاران، ۲۰۲۲). در این خصوص رقم کوشا با کمترین میزان درصد کاهش در صفات محتوای کلروفیل، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و بر خورداری از میزان مناسبی از پروتئین و کارتنوئیدها نسبت به سایر ارقام مورد آزمایش؛ موفق‌تر عمل نمود و نهایتاً موفق به حصول بیشترین عملکرد دانه (۱۴۷۰ کیلوگرم در هکتار) در سطح شوری S3، گردید.

با توجه به اهمیت آب آبیاری در تولید محصولات کشاورزی و همچنین محدودیت ناشی از اقلیم خشک ایران و خشک‌سالی‌های اخیر در تأمین منابع آب؛ روی آوردن به منابع آب نامتعارف، نظیر آب‌های شور و قلیا در کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر وجود اراضی شور، لب‌شور و در شرف شور شدن در سرتاسر ایران، اهمیت پرداختن به بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری و گزینش ارقام متحمل به تنش شوری را دوچندان می‌کند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر همه صفات موردبررسی تحت تأثیر شوری قرار گرفت؛ افزایش سطح شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد دانه در کلیه ارقام موردبررسی گردید. ارقام موردبررسی در شرایط تنش شوری با بالا نگاه‌داشتن سطح کارتنوئیدها، افزایش میزان پروتئین و پروتئین دانه نسبت به شاهد موجب تعدیل اثرات سوء تنش شوری شدند. در کلیه سطوح شوری مورد بررسی، شاهد کاهش عملکرد قابل‌برداشت در ارقام موردبررسی بودیم؛ اما درصد کاهش عملکرد در سطح شوری S1، در کلیه ارقام مورد ارزیابی کمتر از درصد کاهش عملکرد در سایر سطوح شوری بود؛ لذا کشت ارقام مورد ارزیابی لوبیا در این تحقیق تا سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌تواند عملکرد دانه قابل‌قبولی به همراه داشته باشد. در این پژوهش، رقم کوشا عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام در تعدیل شرایط تنش شوری داشت و درصد کاهش عملکرد کمتری را از خود نشان داد؛ از این رو می‌تواند به‌عنوان گزینه مناسبی برای کشت در شرایط شوری تا ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر، قلمداد گردد. در نهایت، با توجه به واکنش متفاوت ارقام نسبت به تنش شوری از یک‌سو و حساسیت لوبیا به شرایط شوری و همچنین تنش خشکی ناشی از آن؛ لازم است جهت توصیه ارقام مناسب کشت در شرایط شور، تحقیقات بیشتری روی ارقام متفاوت و در شرایط متنوع آب و هوایی ایران صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

در پایان از مدیریت دانشگاه پیام نور مرکز گندمان (استان چهارمحال و بختیاری) برای در اختیار گذاشتن گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه، کمال تشکر را دارم.

منابع

پرنده، سارا، زمانی، غلامرضا، سیاری، محمد حسن، و قادری، محمد قادر. (۱۳۹۳). ارزیابی اثر سیلیسیم بر صفات فیزیولوژی، کیفی و کمی لوبیا در تنش شوری. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، ۵(۲)، ۷۰-۵۷. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47004>

¹ Al Hinai et al.

- دست‌نشان، شکوفه، و سبکدست، منیژه. (۱۳۹۸). ارزیابی میزان تحمل برخی ژنوتیپ‌های لوبیا به شوری. مجله پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۱۱ (۳۲)، ۱۹۷-۱۸۴. <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.32.184>
- شاهرخیان، زهره، نوری امام زاده، محمد رضا، دانش شهرکی، عبدالرزاق، طباطبایی، سید حسن، و شاه‌نظری، علی. (۱۴۰۰). تاثیر کاربرد آب شور در مراحل رشد رویشی و زایشی بر عملکرد و بهره‌وری آب در گیاه لوبیا قرمز. مجله پژوهش آب ایران، ۱۵ (۴)، ۴۳-۵۶. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2021.11181>
- عمادی، نوید ا...، بلوچی، حمیدرضا، و جهانبین، شاهرخ. (۱۳۹۱). تولید گیاهان زراعی. اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات ریخت‌شناسی لوبیا چیتی رقم S.O.C.۱۶ در منطقه یاسوج، مجله الکترونیک، ۱۷(۲)، ۱-۱۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.2.1.2>
- محرم‌نژاد، سجاده، و ولیزاده، مصطفی. (۱۳۹۴). تغییرات میزان رنگ‌دانه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌های لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش شوری. نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱(۳۳)، ۱۶۶-۱۵۳. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/956540>
- مجنون حسینی، ناصر. (۱۳۹۴). زراعت و تولید حبوبات (حبوبات در ایران). انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران، ایران. <https://www.gisoom.com/book/11132693/>

References

- Afzal, M., Alghamdi, S. S., Migdadi, H. H., El-Harty, E., & Al-Faifi, S. A. (2022). Agronomical and Physiological Responses of Faba Bean Genotypes to Salt Stress. *Agriculture*, 12 (235), 1-13. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020235>
- 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>
- Al Hinai, M. S., Ullah, A., Al-Rajhi, R. S., & Farooq, M. (2022). Proline accumulation, ion homeostasis and antioxidant defence system alleviate salt stress and protect carbon assimilation in bread wheat genotypes of Omani origin. *Environ. Experimental Botany*, 193, 104687. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104687>
- Arnon, D. I. (1940). Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase. *Journal Plant Physiology*, 45, 100-114. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D. J., Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, U. C., & Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Front. Plant Science*, 14, 1241736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. *Plants*, 12, 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 38, 248-252. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Dast-neshan, Sh., & Sabokdast, m. (2018). Evaluation of tolerance of some bean genotypes to salinity. *Crop breeding research journal*, 11 (32), 184-197. <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.32.184> [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>
- Emadi, N., Balouchi, H. R., & Jahanbin, Sh. (2012). Effect of drought stress and plant density on yield, yield components and some morphological characters of pinto bean (cv.C.O.S16) in Yasouj region. *Journal of Crop Production*, 5 (2), 1-17. <https://doi.org/10.1001.1.2008739.1391.5.2.1.2> [In Persian]
- Ghassemi-Golezani, K., Nikpour-Rashidabad, N., & Zehtab-Salmasi, S. (2012). Effect of salinity on yield and yield components of pinto bean cultivars. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2 (2), 47-51. https://www.researchgate.net/publication/235798272_Effect_of_salinity_on_yield_and_yield_components_of_pinto_bean_cultivars
- Gross J. (1991). *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*. Van Nostrand Reinhold. USA. PP 1-37. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-2033-7>
- 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>
- Gupta, K. J., Stoimenova, M., & Kaiser, W. M. (2005). In higher plants, only root mitochondria, but not leaf mitochondria reduce nitrite to NO. *in vitro and in situ*. *Journal Experimental Botany*, 56, 2601–2609. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri252>
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I., & Van Labeke, M.C. (2022). Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('Bonica') and one sensitive ('Black beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*, 11(5), 590. <https://doi.org/10.3390/plants11050590>
- Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P., & Hnilicka, F. (2021). Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10, 845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plant without soil. *California Agricultural Experiment Station*, 347, 1-32. <https://openlibrary.org/books/OL25240089M>
- Majnoon-Hosseini, N. (2014). *Cultivation and production of legumes (legumes in Iran)*. Jahad University Press, Tehran, Iran. <https://www.gisoom.com/book/11132693/> [In Persian]
- Moharramnejad, S., & Valizadeh, M. (2014). Changes in the amount of pigment and activity of antioxidant enzymes in pinto bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.) under salt stress. *Ecophysiology scientific research journal of agricultural plants*, 1 (33), 166-153. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/956540> [In Persian]
- Paquine, R., & Lechasser, P. (1997). Observations sur une methode dosage la libre. 145-160. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Parande, S., Zamani, Gh., Sayari, M. H., & Qadiri, M. Q. (2013). Evaluating the effect of silicon on the physiological, qualitative and quantitative traits of beans under salinity stress. *Journal of Iranian Legume Research*, 5 (2), 57-70. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47004> [In Persian]
- Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E., & Andersen, M. N. (2011). Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 348–360. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00473.x>

- Shahrokhian, Z., Nouri Imamzadeh, M. R., Danesh-Shahraki, A., Tabatabai, S. H., & Shah-Nazari, A. (2020). The effect of saline water application in the vegetative and reproductive stages on yield and water efficiency in red bean plant. *Iranian Water Research Journal*, 15 (4), 56-43. <https://doi.org/10.22034/iwrj.2021.11181> [In Persian]
- Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. J., & Zeinali, E. (2006). Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Research*, 99 (1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.004>
- Stoeva, N., & Kaymakanova, M. (2008). Effect of salt stress on the growth and photosynthesis rate of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 9(3), 385-391. <https://hrcak.srce.hr/35369>
- Togatorop, E. R., Sari, D. N., & Handayani, S. (2023). Effect of different salinity stress on seedling growth in long bean (*Vigna sinensis* L.) genotypes. *International Journal of Agricultural Technology* 19(4), 1919-1928. [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v19_n4_2023_July/37_IJAT_19\(4\)_2023_Togatorop,%20E.%20R.\(52\).pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v19_n4_2023_July/37_IJAT_19(4)_2023_Togatorop,%20E.%20R.(52).pdf)
- Zahra, N., Al Hinai, M. S., Hafeez, M.B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K.H., & Farooq, M. (2022). Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology Biochemistry*, 178, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003>
- 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>