Evaluation the effect of seed priming with zinc sulfate on photosynthesis and yield components, of two varieties cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress

Sara Raisi Bidkani [1], Mohammad Javad Zarea[2]*

Received: 02-10-2024
Revised: 25-11-2024
Accepted: 10-12-2024
Available Online: 00-00-0000

Cite this article:
Raisi Bidkani S., & Zarea, M. J. (2025). Evaluation the effect of seed priming with zinc sulfate on photosynthesis and yield components, of two varieties cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *?*(?), ……. (In Persian with English Abstract).
https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.90074.1100

Introduction

Cowpea is among the most important plants of the legume family, being a good source of protein, fiber, and essential nutrients. Cowpeas are also cost-effective and have high nutritional value. It has been shown that priming seeds with zinc can improve seedling vigor, growth, and overall plant performance. Priming seeds with $ZnSO_4$ has been found to increase plant tolerance to environmental stress such as drought and water deficiency. Overall, it has been well-documented that priming seeds with zinc can be a promising practice for improving crop productivity under environmental stresses. Considering the simplicity of this technique and the widespread use of priming seeds with nutrients, this experiment was conducted to investigate the effect of priming seeds with zinc sulfate on some physiological traits, improvement in drought tolerance, and seed yield of two cowpea varieties.

Materials and Methods

The present study was conducted to investigate the effect of seed priming with zinc sulfate on the plant growth and yield performance of two different varieties of cowpea (Vigna unguiculata L.) under two different soil water content conditions. The experiment was carried out as a pot experiment in 2022 at the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ilam University. Treatments were replicated four times. The three main factors included the irrigation level (irrigation at 70% or 50% of the field capacity), the cowpea genotype (local and Mashhad), and the priming of seeds with zinc sulfate (hydropriming, prime level 1, prime level 2). Seeds were primed in either 0.14% or 0.28% zinc solution. $ZnSO_4.7H_2O$ was used as the source of zinc. After surface sterilization, seeds were soaked in a solution with different concentrations of zinc sulfate (0.14% or 0.28%) for 5 hours at a ratio of 1:3 distilled seed to solution (w/v). 20 seeds were planted in each pot. Plants at the 4-5 leaf stage were subjected to well-watered and water-stressed conditions. At the 50% flowering stage, leaf samples were randomly taken from 5 plants in each pot, and various plant growth and physiological characteristics such as fresh and dry weight, plant height, leaf surface area and weight, as well as the rates of photosynthesis and transpiration, leaf relative humidity, and leakage rate were measured.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance of the present study showed that the effect of water deficiency o some growth, physiological and biochemical traits such as leaf area and weight, photosynthesis rate, transpiration intensity, electrolyte leakage, water ratio per thousand seed weight, and harvest index was significant. Treatments affected by seed priming with zinc showed better growth performance under stress conditions than control treatments (no priming). Additionally, the effect of the variety on traits such as photosynthesis rate, and harvest index was significant.. The highest leaf weight (7.10

1- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, respectively.

* Corresponding Author: mj.zarea@ilam.ac.ir

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

g) was observed in the irrigation treatment with 70% of field capacity (FC), Mashhad variety, and prime level 2, while the lowest leaf weight (2.11 g) was recorded in the irrigation treatment with 50% of crop capacity, local variety, and hydropriming. The Mashhad cultivar exhibited a higher photosynthesis rate (4.99 $\mu MolCO_2.m^{-2}.S^{-1}$) than the local cultivar (4.65 $\mu MolCO_2.m\text{-}2.S^{-1}$). The application of 70% FC led to a two-fold increase in the rate of photosynthesis (6.07 $\mu MolCO_2.m^{-2}.S^{-1}$) compared to irrigation with 50% of FC (3.56 $\mu MolCO_2.m^{-2}.S^{-1}$). The highest and lowest transpiration rates were observed under the conditions of no stress in the Mashhad cultivar (160.1 $mmolH_2O.m^{-2}.S^{-1}$) and under the conditions of stress in the local cultivar (0.72 $mmolH_2O.m^{-2}.S^{-1}$), respectively. In the condition of low irrigation, the lowest (46%) and highest (49%) percentage of electrolyte leakage were obtained in priming level 2 and hydropriming, respectively. Regarding the traits related to yield, the highest number of pods per plant (8.22) was obtained in the Mashhad variety under well-irrigation conditions (70% FC), and the lowest amount (5.56) was obtained in the local variety with 50% FC. Under well-watered conditions (70% FC), the Mashhad variety had an 18% superiority in the number of seeds per plant compared to the local variety. The highest amount of seed yield in the pot was obtained under well-watered conditions and priming with 0.28% zinc solution resulting in a 28% increase compared to 50% FC and hydroprime. The use of the Mashhad cultivar under well-watered conditions led to the production of the highest harvest index (53.85%), while applying water deficit reduced the harvest index to 39.71%.

Conclusion

Drought stress and water deficiency are the most significant constraints contributing to reduced bean yields in arid and semi-arid regions. The findings of the present study indicate that water deficit stress can significantly declined plant yield, but seed priming with zinc could mitigate the negative effects of water stress, particularly on the plant's physiological traits. Priming seeds with zinc resulted in improved photosynthesis and subsequently increased seed yield compared to control seeds

Keywords: transpiration; harvest index; micronutrients;electrolyte leakage

بررسی اثر پرایم بذر با سولفات‌روی، بر فتوسنتز و اجزای عملکرد دو رقم لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تنش کم‌آبی

سارا رئیسی بیدکانی[1]، محمد جواد زارع[2*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

چکیده

کمبود آب از عامل مهم محدود کننده تولید لوبیا می‌باشد، پرایم بذر با برخی عناصر ریزمغذی از جمله روی می‌تواند تا حدودی اثرات منفی کم‌آبی را تعدیل نماید. در همین راستا به منظور بررسی تاثیر پرایم بذر با سولفات‌روی بر دو رقم لوبیا چشم‌بلبلی تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. فاکتور اول میزان آبیاری (آبیاری در ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، فاکتور دوم رقم (محلی، مشهد) و فاکتور سوم پرایمینگ بذر با سولفات‌روی (پرایم با محلول ۰/۱۴٪ سولفات‌روی (سطح۱)، پرایم با محلول ۰/۲۸٪ سولفات‌روی (سطح۲) و شاهد) بود. نتایج نشان داد سرعت فتوسنتز گیاهانی که تحت آبیاری مطلوب قرار گرفته‌بودند در مقایسه با گیاهان در معرض کم‌آبی ۷۰ درصد افزایش یافت، که به‌طبع آن شاخص برداشت نیز، افزایش ۳۵ درصدی نشان داد. همچنین عملکرد دانه در گلدان، در شرایط تنش در رقم مشهد دارای برتری ۳۰/۳۱ درصدی نسبت به رقم محلی بود. میزان نشت الکترولیت در پرایم سطح ۲ و عدم تنش نسبت به شاهد (تنش و عدم پرایم با سولفات‌روی) کاهش ۵۳ درصدی نشان‌داد. بر اساس نتایج مشخص گردید پرایمینگ بذر علاوه بر افزایش در عملکرد لوبیا، می‌تواند نقش بسزایی جهت کاهش اثرات منفی کمبود آب ایفا کند.

واژه های کلیدی: تعرق؛ شاخص برداشت؛ عناصر ریزمغذی؛ نشت الکترولیت

مقدمه

حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتیین بعد از غلات، دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار می‌روند، حبوبات از منابع مهم پروتیین، فیبر و مواد مغذی هستند و نقش مهمی در رژیم غذایی انسان به ویژه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه دارند (Rezaei et al., 2022). بسیاری از افراد در اکثر کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران از

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: mj.zarea@ilam.ac.ir)

حبوباتی نظیر نخود عدس و لوبیا پروتیین مورد نیاز خود را تامین می‌کنند (Kakaei, 2024). دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد و بعضا تا ۳۵ درصد پروتیین هستند (Majnoon Hosseini et al., 2008). پروتیین این گیاه دارای اسیدآمینه لیزین فراوان است و می‌توان آن را به محصولات غذایی که بر پایه غلات تولید می‌شوند و دچار کمبود لیزین هستند، اضافه کرد تا بر کیفیت غذایی آن‌ها افزوده شود (Frota et al., 2017). لوبیا چشم‌بلبلی به طور وسیعی در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری آسیا، آفریقا و آمریکا کشت شده است (Boukar et al., 2019). بر اساس آمار فائو، آسیا بزرگترین تولید کننده حبوبات در جهان است، سطح زیرکشت، میزان تولید و عملکرد لوبیا در جهان به ترتیب ۳۰/۶۱ میلیون هکتار، ۲۶/۵۲ میلیون تن و ۸۶۶ کیلوگرم در هکتار و در ایران به ترتیب ۱۰۹۲۴۹ هکتار ،۲۰۴۱۹۲ تن و ۱۸۶۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2022).

بر اساس سناریو تغییرات آب و هوایی فعلی، افزایش دما و تغییر در شدت و نحوه پراکنش بارش منجر به افزایش تنش‌های مرتبط با خشکی و تغییرات دمایی می‌شود که سبب کاهش رشد و توسعه گیاهان می‌شود (Fracasso, Telo, Lanfranco, Bonfante, & Amaducci, 2020). ایران به‌دلیل قرار داشتن در کمربند خشک کره زمین، همواره با تنش‌های آبی مواجه بوده و در دهه‌های آینده، به‌طور متوسط کاهش ۳۵ درصدی بارندگی را تجربه خواهد کرد (Mansouri Daneshvar & Ebrahimi, 2019)، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی در کشور مطرح است و برای حصول عملکرد مناسب، گیاهان زراعی باید قادر به تحمل این دوره خشکی باشند، در حال حاضر نیز، تولید حبوبات در کشور بیشتر به صورت دیم بوده و تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد حبوبات می‌باشد (Barzegari, Emam, & Zamani, 2020). با توجه به وسعت نگران‌کننده مناطق خشک و نیمه‌خشک در ایران (۹۰ درصد کل مساحت کشور) و همچنین کاهش دسترسی به منابع، آب، نیاز به تمهیدات مناسبی برای استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی است، استفاده از رژیم‌های کم-آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به عنوان یک راهبرد مناسب در افزایش سطح زیرکشت و اصلاح الگوی کشت باشد (Amiri, Yadolahi, & Esmaeilzadeh, 2015).

کمبود آب باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد دانه لوبیا می‌شود و مقدار کاهش عملکرد بسته به زمان و شدت تنش و نیز ژنوتیپ متفاوت است (Munoz Perea et al., 2006). فرام و همکاران (Frahm et al., 2004) بیان داشتند که خشکی باعث کاهش عملکرد زیست توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه لوبیا می‌شود. بررسی واکنش عملکرد و اجزا عملکرد لوبیا به تنش خشکی نشان داده‌است که تنش خشکی باعث کاهش طول دوره رشد زایشی لوبیا می‌شود (Merwad, Desoky, & Rady, 2018). طبق مطالعات انجام گرفته تنش خشکی عملکرد دانه را ۸۰ ٪، تعداد غلاف در بوته را ۶۰ ٪، تعداد دانه در غلاف را ۲۶ ٪ و وزن صد دانه را ۱۳ ٪ کاهش می‌دهد (Kroner et al., 2017).

تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش ها نقش بسزایی دارد در این میان عنصر روی یکی از عناصر کم مصرف و ضروری در تغذیه گیاهی می‌باشد (Prasad, 1984). کمبود روی یکی از عوامل محدود کننده مهم در تولید بسیاری از محصولات کشاورزی به شمار می‌رود و حدود ۳۰ درصد خاک های جهان با این مشکل مواجه می‌باشند (Tandon, 1996). در ایران کمبود عنصر روی در خاک عمدتا ناشی از آهکی بودن خاک های زراعی، PH بالا، حضور بی-کربنات فراوان آب‌های آبیاری، مصرف فراوان و بیش از اندازه کودهای فسفاته و در نهایت عدم رواج مصرف کودهای محتوی روی است. بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زراعی ایران دارای کمبود روی هستند، که این کمبود می‌تواند تا ۵۰ درصد کاهش در تولید محصول را منجر شود (Malakoti & Tehrani, 2000). روی عمدتا در کانی‌های ZnS و $ZnCO_3$ در خاک یافت می‌شود. مقدار روی در خاک های سطحی کمتر از خاک زیرین است، روی قابل جذب خاک به صورت محلول و تبادلی یا پیوند یافته با مواد آلی است و عوامل متعددی در قابلیت جذب آن دخالت دارند (Cakmak, 2008). در استان ایلام، بلوکه شدن آهن و روی خاک بدلیل آهکی بودن و فقر شدید مواد آلی خاک‌ها و همچنین بیکربنات زیاد آب‌های موجود است، نتایج آزمایش چراغی تبار بر روی بیست نمونه از خاک زراعی مناطق مختلف استان ایلام نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه نه تنها از لحاظ مقدار روی قابل جذب بلکه از نظر مقدار کل روی نیز دچار مشکل هستند و ضرورت اقدامات مناسب برای تقویت این خاک‌ها و جلوگیری از کمبود روی در گیاهان در این منطقه حایز اهمیت است (Cheraghi Tabar, 2018). نقش این عنصر در رشد گیاهی و علیرغم نیاز کم گیاه به آن مورد تاکید بوده است، لوبیا حساسیت بالایی به کمبود روی دارد (Farooq et al., 2018). هریس و همکاران (Harris et al., 2008) پیشنهاد کردند که پرایمینگ بذور با عناصر غذایی یک روش جدید بوده که علاوه بر اثرات مثبت پرایمینگ بر جوانه زنی افزایش سطح عناصر غذایی طی دوره رشد را همراه دارد. مطالعات زیادی درباره تاثیرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پرایمینگ بذر بر روی دانه‌های مختلف حبوبات از جمله لوبیا چشم بلبلی (*Vigna radiate L.*)، نخود (*Cicer arietinum*) و عدس(*Lens culinaris*) انجام‌شده و نشان‌داده که تیمار پرایمینگ قادر به بهبود فرآیند جوانه زنی و ایجاد مقاومت در شرایط تنش است (Posmyk & Janas, 2007). خاک‌های زراعی در ایران به دلایل متعددی از جمله آهکی بودن، تنش خشکی و پایین بودن مقدار مواد آلی دچار کمبود شدید از نظر عناصر غذایی به ویژه عناصر کم مصرف نظیر روی، آهن، منگنز و بور هستند (Malakoti & Tehrani, 2000). گزارش شده که پرایم بذر با سولفات روی در گیاهان نخود موجب افزایش کمی و کیفی محصول شده‌است (Harris et al., 2008).

به طور کلی با توجه به قلیایی بودن خاک‌های زراعی و کاهش بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک که منجر به کاهش فراهمی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌شود، می‌توان با فن آوری‌های جدید از جمله پرایمینگ بذر با عناصر کم مصرف اعم از روی و سایر عناصر ریز مغذی در حل مشکل کمبود عناصر غذایی در گیاهان به خصوص گیاهان خانواده بقولات،

پیشقدم شد. هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر پرایمینگ بذر با محلول حاوی عنصر ریز مغذی روی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی، رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم رایج لوبیا چشم‌بلبلی در استان ایلام تحت شرایط کم‌آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر با سولفات‌روی تحت شرایط اعمال و عدم اعمال کم‌آبیاری بر دو رقم مختلف لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی ایلام با میانگین دمای روز و شب به ترتیب ۲۷ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد، طول دوره روشنایی ۱۰ تا ۱۲ ساعت و رطوبت نسبی حدود ۴۵ تا ۶۰ درصد اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملا تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. فاکتور اول میزان آبیاری (آبیاری در۷۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) (sabzi & tahmasbi, 2017)، فاکتور دوم رقم (رقم محلی، رقم مشهد) و فاکتور سوم پرایمینگ بذر (پرایم با محلول ۰/۱۴ و ۰/۲۸ درصد سولفات روی و شاهد) بود. تیمار هیدروپرایمینگ بذرها به عنوان شاهد در نظر گرفته شد برای تهیه محلول پرایم از سولفات‌روی هفت آبه ($ZnSO_4.7H_2O$) شرکت مرک (آلمان) استفاده شد.

جهت اعمال تیمار کم‌آبیاری ابتدا ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها تعیین و سپس بر مبنای ظرفیت زراعی خاک، تیمار تنش کم-آبی اعمال شد. برای تعین مقدار رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی، یک کیلوگرم خاک مزرعه (خاک مورد استفاده در آزمایش) در یک گلدان پلاستیکی زه‌کش‌دار ریخته‌شد و تا حد رطوبت اشباع آبیاری انجام گرفت و روی گلدان با فویل پوشیده شد. پس از گذشت ۱۲ساعت نمونه خاک تهیه، توزین و به مدت ۱۲ ساعت به آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس منتقل شد. در نهایت درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه از طریق معادله ۱ تعیین گردید:

$$FC\ (\%) = (FW-DW)/DW \times 100$$ معادله (۱)

در این معادله، FC: ظرفیت زراعی، FW: وزن خاک مرطوب و DW وزن خاک خشک است.

هر ۱۲ ساعت نمونه‌برداری صورت گرفت تا عدد به‌دست آمده از معادله بالا طی دو نمونه‌برداری متوالی ثابت شود. آن عدد به‌عنوان ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد (Gardner, 1968). ظرفیت زراعی در حد ۳۰ درصد بود که برای آبیاری مطلوب ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و برای تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ملاک آبیاری بود. بر اساس محاسبات انجام شده وزن هر گلدان برای هر دو تیمار (۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) محاسبه گردید (بر اساس ظرفیت زراعی و اعمال تیمار کم‌آبیاری، در شرایط شاهد آبیاری با ۱/۵ لیتر آب در شرایط کمبود آب، آبیاری با ۱ لیتر آب انجام شد) و به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها استفاده و آبیاری بر اساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به میزان رطوبت تعیین شده انجام

گرفت. آبیاری گلدان‌ها برای عدم تنش بر اساس حفظ ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار تنش خشکی معادل با حفظ ۵۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد.

جهت انجام آزمایش مربوط از خاک مزرعه استفاده شد که برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول شماره۱ آورده شده است.

جدول۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1- Some of the physical and chemical properties of the experimental soil

عمق خاک Sampling depth (cm)	وزن مخصوص ظاهری $\rho_b(g.cm^{-3})$	نیتروژن Nitrogen (%)	روی Zinc (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)	گوگرد Sulfur (ppm)	پتاسیم قابل تبادل Exchangeable potassium (ppm)	کربن آلی Organic Carbon (%)	اسیدیته Acidity (PH)
0-30	1.46	9	0.5	26	19	150	>0.5	7.98

بذور لوبیا دو رقم محلی و مشهد از جهاد کشاورزی شهرستان بدره واقع در استان ایلام تهیه شد. رقم مشهد از ارقام پر بازده در مناطق نیمه خشک با وزن صد دانه ۲۱ گرم و رقم محلی رقم غالب مورد استفاده در استان ایلام به ویژه مناطق گرمسیر از جمله دهلران و بدره با وزن صد دانه ۲۰/۵۹ گرم می‌باشد. قبل از انجام آزمایش بذرها ابتدا با اتانول ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم سه درصد به مدت ۳ دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده‌شدند (Davoudpour et al., 2020).

به منظور پرایم با محلول روی بذرها با نسبت وزنی ۱ به ۳ (به ازای هر یک گرم بذر سه میلی‌لیتر محلول پرایم) به مدت ۵ ساعت(بر اساس زمان‌های بدست آمده برای اتمام فاز ۲ جوانه زنی) در محلول پرایم خیسانده شدند(Harris et al., 2008) و سپس در محیط آزمایشگاه هوا خشک شدند. زمان خیساندن بذرها در محلول پرایم طی آزمایشی برای بدست آوردن مدت زمان و غلظت مناسب بدون اینکه تاثیر محدودکنندگی(سمیت عنصر) بر بذر داشته باشد و یا اینکه منجر به ظهور ریشه‌چه گردد انتخاب شده‌بود.

در پایان اقدام به کشت بذور به تعداد ۲۰ عدد دانه در هر گلدان گردید که پس از جوانه زنی به ۱۵ بوته تنک گردید. قطر هر گلدان ۲۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/ ۵ سانتی‌متر، که با حجم ۷ کیلوگرم از خاک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام پر شدند، عمق کشت بذر بین ۲ تا ۳ سانتی‌متر و تاریخ کشت بذر ۲۹ تیرماه ۱۴۰۲ بود.

اعمال تنش از مرحله ۳ تا ۴ برگی و پس از اطمینان از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها آغاز و تا پایان مرحله رسیدگی (زمانی که حدود ۸۰-۷۰ درصد غلاف‌های لوبیا چشم‌بلبلی به رنگ زرد درآمدند) ادامه پیدا نمود. در مرحله ۵۰ درصد گلدهی

برگ‌های ۵ بوته به طور تصادفی در هر تیمار جدا و اقدام به اندازه‌گیری صفات وزن تازه و خشک بوته، سطح و وزن برگ و همچنین سرعت فتوسنتز و تعرق، رطوبت نسبی برگ و میزان نشت‌یونی گردید.

جهت اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز و شدت تعرق، در هر بوته برگ قبل از آخر انتخاب شد و برگ درون اتاقک اندازه‌گیری دستگاه فتوسنتزمترقرار گرفت، به طوری که سطح فوقانی برگ به طرف بالا باشد تا نور کافی دریافت کند. در نهایت داده‌های اصلی شدت تعرق براساس میلی‌مول H_2O بر متر مربع بر ثانیه ($mM\ H_2O.m^{-2}.S^{-1}$) و سرعت فتوسنتز براساس میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه ($\mu M\ CO_2.m^{-2}.\ S^{-1}$) با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر مدل kR8700 با میانگین‌گیری از سه قراعت، گزارش گردید.

محتوای نسبی آب برگ (RWC[1]) به‌روش مارتینز و همکاران (Martinez, Silva, Ledent, & Pinto, 2007) از معادله ۲ محاسبه‌شد. بدین‌صورت که بعد از پایان اعمال تنش کم‌آبی، جهت اندازه‌گیری در ساعت ۱۰ صبح از برگ‌ها نمونه‌برداری انجام گرفت برگ‌های جدا شده از هر بوته به طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده‌شدند و به سرعت به آزمایشگاه منتقل و وزن‌تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها جهت محاسبه وزن آماس یافته در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و بدون نور غوطه‌ور شدند و پس از آن نمونه‌ها به سرعت و با دقت با کاغذ صافی خشک و وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن‌خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند و پس از توزین، میزان عددی داده های وزن در معادله ۲ قرار داده شد و میزان رطوبت نسبی برگ محاسبه شد.

$$RWC = (FW - DW)/ (TW - DW) \times 100$$ معادله (۲)

در این معادله RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تر برگ، DW : وزن خشک برگ و TW: وزن آماس برگ می‌باشد.

برای تعیین نشت الکترولیت که در واقع معرف میزان پایداری غشاست از روش سنجش میزان نشت یونی والنتوویک و همکاران (Valentovic et al., 2006) و معادله ۳ استفاده شد. و نشت الکترولیت به‌وسیله دستگاه EC متر مدل-HI) (98304قراعت شد.

$$EL = EC1/ EC2 \times 100$$ معادله (۳)

در این معادله: EL نشت یونی غشا، EC1: هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت و EC2: هدایت الکتریکی نمونه‌ها بعد از اتوکلاو است.

[1] Relative Water Content

به منظور اندازه‌گیری صفات کمی وزن و سطح برگ از هر گلدان تعداد ۵ بوته انتخاب و برداشت شد، سپس وزن بخش هوایی اندازه‌گیری شد و نمونه ها درون پاکت‌های کاغذی قرارگرفته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس درون آون گذاشته و بعد از خشک شدن توزین شدند.

برای اندازه‌گیری سطح برگ تمامی برگ‌ها در بوته جدا و بعد از شمارش و توزین برگ‌ها با استفاده از دستگاه AREA METER CL-203 سطح برگ آن‌ها اندازه‌گیری شد.

پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، هشت بوته از هر گلدان برداشت و اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه (گرم)، عملکرد دانه در گلدان و درصد شاخص برداشت (حاصل تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی) اندازه‌گیری شد.

جهت تجزیه واریانس داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده از نرم افزار SAS 9.2 استفاده شد و در صورت معنی دار شدن اثر تیمار نسبت به انجام آزمون مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار اقدام گردید.

نتایج

سطح و وزن برگ

جدول ۲ خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. صفات اندازه-گیری شده شامل سطح‌برگ و وزن برگ تحت تاثیر اعمال تیمارهای (اثرات ساده) تنش کم‌آبی، نوع رقم و پرایم با سولفات روی معنی‌دار گردید (جدول ۲)

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تاثیر رقم،پرایم بذر و تنش کم‌آبی بر برخی از صفات لوبیا چشم‌بلبلی

Table2- Analysis of variance results of the effect of cultivar, seed prime and water deficit stress on some characteristics of cowpea

میانگین مربعات (Mean Square)			
وزن خشک برگ Weight of leaf	سطح برگ Leaf Area	درجه آزادی df	منابع تغییر s.o.v
1.48^{**}	0.44^{ns}	3	بلوک (Block)
43.2^{**}	70.76^{**}	1	تنش‌خشکی(Stress)
12.3^{**}	1.287^{ns}	1	رقم (Cultivar)
22.3^{**}	168^{**}	2	پرایم (Prime)
2.7^{**}	0.111^{ns}	2	رقم×پرایم (Cultivar× Prime)
0.8^{ns}	0.235^{ns}	1	رقم× تنش خشکی (Cultivar×Stress)

پرایم× تنش‌خشکی (Prime× Stress)	2	3.293^{*}	3.78^{**}
پرایم×تنش تنش‌خشکی ×رقم (prime× Stress×Cultivar)	2	0.004^{ns}	0.2^{**}
خطا (Error)	14	0.642	0.28
ضریب تغییرات(%) CV	-	7.12	12

**، * و ns: به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی داری می باشد
**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل دوگانه رقم×پرایم فقط بر وزن برگ، اثر متقابل دوگانه پرایم×تنش بر سطح و وزن برگ و اثر سه گانه پرایم×تنش×رقم بر وزن برگ معنی‌دار گردید.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای تنش کم‌آبی، پرایمینگ بذر و رقم‌های مختلف لوبیا چشم‌بلبلی بر برخی صفات کمی

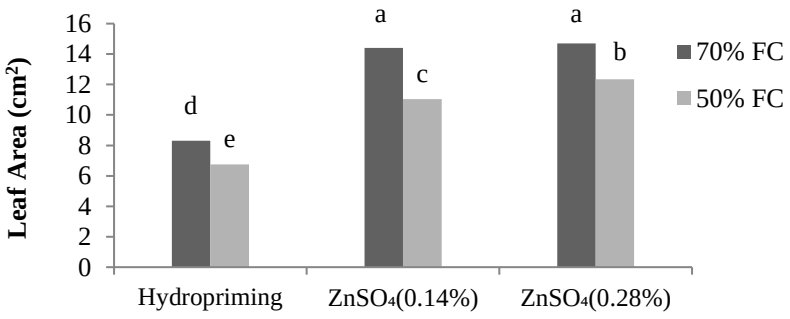
Table 3. . Means comparison of effects of water deficit stress, seed priming and different cultivars of cowpea on some quantity traits

تیمار treatment	سرعت فتوسنتز photosynthesis rate (µMolCO2.m-2.S-1)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن صد دانه 100 Grain weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
سطوح آبی‌اری Irrigation levels					
۷۰ درصد ظرفیت زراعی 70%Field Capacity	6.07**a**	8.87 **ns**	7.20 **ns**	11 **ns**	51.45 **ns**
۵۰ درصد ظرفیت زراعی 50%Field Capacity	3.56 **b**	5.66 **ns**	5.47 **ns**	10 **ns**	37.28 **ns**
رقم Cultivar					
مشهد Mashhad	4.99 **a**	6.99 **ns**	6.51 **ns**	12.1 **ns**	46.78 **ns**
محلی Indigenous	4.65 **b**	6.54 **ns**	6.16 **ns**	8.9 **ns**	41.95 **ns**
پرای‌می‌نگ بذر Seed Priming					
هیدروپرایم Hydro Priming	4.35 **c**	6.56 **b**	5.98 **c**	10.21 **c**	41.53 **c**
پرایم سطح۱ Priming1	4.73**b**	6.78 **a**	6.03 **b**	10.55 **b**	44.63 **b**
پرایم سطح ۲ Priming2	5.39 **a**	6.95 **a**	6.72 **a**	10.86 **a**	46.94 **a**

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند،فاقد اختالف معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability

بیشترین مقدار سطح برگ در بوته (۱۴/۷) در تیمار پرایم با محلول ۰/۲۸ درصد سولفات‌روی و آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد و کمترین میزان آن (۶/۷۵) در شرایط هیدروپرایمینگ و آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدست‌آمد (شکل ۱). در واقع پرایمینگ بذر و همچنین آبیاری مطلوب موجب افزایش ۱۱۷ درصدی نسبت به شرایط شاهد در سطح برگ شد، با توجه به حساسیت بالای لوبیا به کمبود روی و همچنین خشکی (Ehlers & Hall, 1997) و داده‌های آزمون خاک (جدول ۱)، خاک این منطقه با کمبود روی شدید (۰/۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک) مواجه بود، حد بحرانی روی در دامنه وسیعی از خاک‌های زیر کشت لوبیا در حدود ۱ تا ۱/۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک گزارش گردیده است (Sumner, 1999)، حد بحرانی، غلظتی از عنصر در خاک است که در مقادیر کمتر از آن احتمال پاسخ مثبت گیاه به مصرف عنصر زیاد می‌باشد از عوامل تأثیرگذار بر حدود بحرانی روی می‌توان به اسیدیته خاک، آهک، فسفر و ماده آلی، اشاره نمود، این عوامل در خاک مورد بررسی منجر به کاهش روی در خاک کمتر از حد بحرانی شده است، و استفاده از پرایمینگ بذر با سولفات روی توانسته این کمبود را جبران کند.

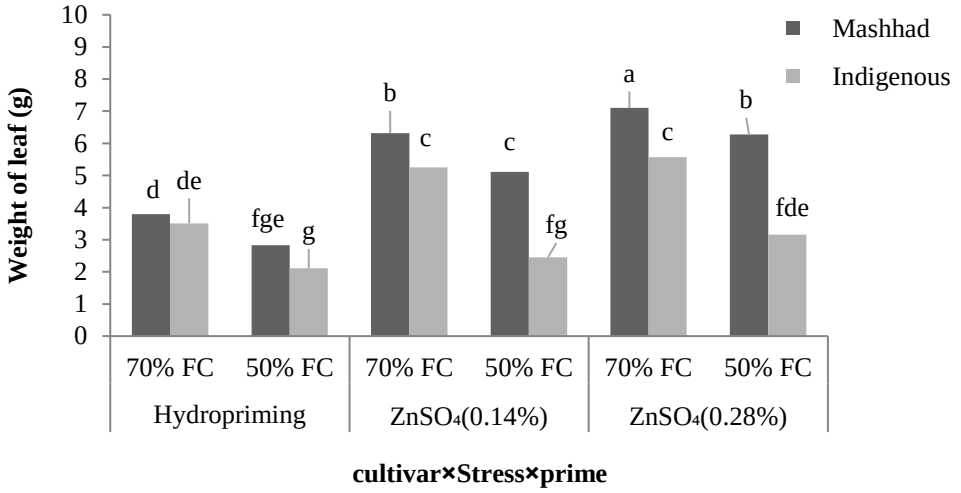


شکل۱_ اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر سطح برگ در بوته لوبیا چشم‌بلبلی
Fig 1_The interaction of water deficit stress & seed prime on the Leaf Area per plant in cowpea

در گیاهان با کمبود روی، ریز برگی به سبب عدم سنتز اکسین و متناوبا تجمع تریپتوفان و کاهش سنتز پروتیین و اسید آمینه اتفاق می‌افتد که این امر مرتبط با کاهش مقدار RNA و فعالیت بالای RNA آز در اثر کمبود روی است (Marschner, 1995). از اولین نشانه‌های کمبود آب کاهش تورژسانس سلول و کاهش بخش تعرق کننده گیاه می‌باشد که منجر به کند شدن سرعت جذب مواد غذایی می‌شود و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام هوایی برگ و ساقه کم شده و ارتفاع و حجم اندام هوایی کاهش می‌یابد.بر اساس گزارشات منتشر شده کاهش آب برگ منجر به کاهش فشار تورژسانس بافت برگ‌ها می‌شود و

برگ‌ها شروع به پژمرده شدن می‌کنند (Wahyudi & Syukur, 2021)، همچنین کاهش تقسیم سلولی و کاهش هدایت روزنه‌ای یا بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و رشد گیاه را به همراه دارد که این ها از عوامل ثانویه کاهش سطح برگ قلمداد می‌شود (Nohong & Nompo, 2015).

به طورکلی رقم مشهد دارای وزن برگ بیشتری نسبت به رقم محلی بود در شرایط مشابه پرایم سطح ۲ و آبیاری مطلوب رقم مشهد دارای برتری ۲۳ درصدی نسبت به رقم محلی بود(شکل۲). بیشترین وزن برگ (۷/۱۰ گرم) از اعمال تیمار آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم مشهد و پرایم سطح ۲ و کمترین وزن برگ (۲/۱۱ گرم) از اعمال تیمار آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، رقم محلی و هیدروپرایمینگ حاصل‌شد (شکل۲). همچنین در شرایط پرایمینگ بذر با عنصر روی وزن برگ در هر دو رقم به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافت، به طوری که پرایم سطح ۲ در رقم مشهد در شرایط آبیاری مطلوب، منجر به برتری ۶۵ درصدی نسبت به هیدروپرایمینگ(شاهد) شد، و رقم محلی در شرایط مشابه دارای برتری ۵۸ درصدی نسبت به هیدروپرایمینگ (شاهد) بود. استفاده از عنصر روی به عنوان پرایم توانست تا حد زیادی اثر منفی کمبود آب را جبران کند (شکل۲).



شکل۲- اثر متقابل رقم، تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر وزن برگ در بوته لوبیا چشم بلبلی

Fig 2_The interaction of water deficit stress & seed prime on the Weight of leaf per plant in cowpea

یکی از واکنش‌های گیاه در شرایط کمبود آب کوتاه کردن دوره رشد و تسریع رسیدگی می‌باشد، در برخورد با تنش خشکی گیاه میزان سطح و تعداد برگ‌های خود را کاهش می‌دهد و متعاقبا مواد فتوسنتزی نیز کاهش می‌یابد که در چنین شرایطی کاهش وزن خشک برگ گیاه به دور از انتظار نمی‌باشد. در این راستا محمدی البرزی و همکاران (alborzi et al., 2013) گزارش کردند زمانی که گیاه با خشکی مواجه می‌شود از شاخ و برگ خود که منابع اصلی تبخیر و تعرق در گیاه

هستند، می‌کاهد و همچنین روزنه‌ها نیمه بسته یا بسته می‌گردد که این موضوع موجب کاهش جذب کربن دی‌اکسید شده که این امر سبب کاهش مواد فتوسنتزی می‌گردد و به دنبال آن با کاهش مواد فتوسنتزی وزن خشک برگ و ساقه کاهش می‌یابد. گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش وزن خشک برگ در اثر استفاده از عنصر روی ارایه شده‌است. ابراهیمیان و بایبوردی (Ebrahimian & Bybordi, 2011) اظهار داشتند که کاربرد روی در گیاه آفتابگردان باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه شد که این بهبود در اندام‌های رویشی در نهایت منجر به بهبود صفات مربوط به عملکرد گردید. همچنین بروسکلی و میچارلد (Borowski & Michalek, 2011) اظهار داشتند که کاربرد دو عنصر روی و آهن میزان کلروفیل را در برگ‌های لوبیا افزایش می‌دهد، لذا با کاربرد این دو عنصر میزان تولید آسیمیلات‌ها افزایش یافته و در نتیجه آن وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه افزایش می‌یابد. همچنین گزارش شده در حضور عنصر روی همراه بذر سنتز هرمون‌ها از جمله اکسین افزایش می یابد (Cakmak, 2008). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش اکسین بذر همراه با میزان روی بالا باعث بهبود رشد و در نتیجه آن افزایش وزن خشک می‌شود.

صفات فیزیولوژیک

اثرات ساده تیمارها (تنش، رقم و پرایم) به جز تاثیر پرایم بر شدت تعرق که معنی‌دار نگردید بر سایر صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده شامل محتوای نسبی آب برگ، شدت تعرق، سرعت فتوسنتز و نشت الکترولیت معنی‌دار گردید (جدول۴).

جدول۴- نتایج تجزیه واریانس تاثیر رقم، پرایم روی و تنش کم‌آبی بر برخی از صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم بلبلی

Table4. Analysis of variance results of the effect of cultivar, zinc priming and water deficit stress on some Physiological characteristics of cowpea

میانگین مربعات (Mean Square)					
محتوای نسبی آب برگ Relative Water Content	نشت الکترولیت Electrical Leakage	شدت تعرق Transpiration rate	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	درجه آزادی df	منابع تغیر s.o.v
9.1^{ns}	11.2^{ns}	0.02^{ns}	0.03^{ns}	3	بلوک (Block)
440^{**}	4760^{**}	5.93^{**}	75.60^{**}	1	تنش‌خشکی(Stress)
30^{ns}	168^{**}	0.39^{**}	1.36^{**}	1	رقم (Cultivar)
3.6^{**}	139^{**}	0.041^{ns}	4.42^{**}	2	پرایم (Prime)
2.33^{ns}	1.93^{ns}	0.01^{ns}	0.012^{ns}	2	رقم×پرایم (Cultivar× Prime)
5.33^{ns}	0.33^{ns}	0.11^{**}	0.0006^{ns}	1	رقم×تنش‌خشکی (Cultivar×Stress)
105^{**}	27.52^{**}	0.029^{ns}	0.202^{ns}	2	پرایم×تنش‌خشکی (Prime× Stress)
17^{ns}	7.89^{ns}	0.007^{ns}	0.237^{ns}	2	پرایم×تنش‌خشکی ×رقم (prime×Stress×Cultivar)
8.27	3.58	0.01	0.11	14	خطا (Error)
5	5	10	7	-	ضریب تغییرات(%) CV

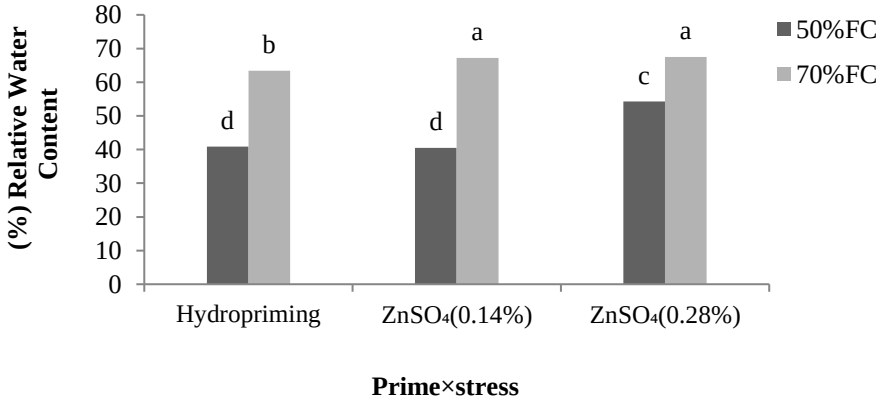
**، * و ns: به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی داری می باشد

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively.

رقم مشهد از سرعت فتوسنتز بالاتری نسبت به رقم محلی برخوردار بود به طوری که در شرایط مشابه سرعت فتوسنتز رقم مشهد دارای برتری ۷ درصدی نسبت به رقم محلی بود. اعمال کم‌آبیاری تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش ۷۰ درصدی سرعت فتوسنتز نسبت به آبیاری مطلوب شد. همچنین اعمال پرایم سطح دو موجب افزایش سرعت فتوسنتز تا ۲۳ درصد نسبت به شرایط شاهد گردید (جدول۳). سرعت فتوسنتز تحت تاثیر اثرات متقابل دو و سه گانه تیمارها قرار نگرفت کاهش فعالیت‌های بیوشیمیایی فتوسنتزی تحت تنش خشکی به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و درنتیجه کاهش مقدار گازکربنیک در کلروپلاست است (Lie & Wu 2008) . به نظر می‌رسد با کاهش سطح برگ از یک طرف و بسته شدن روزنه-ها ناشی از تنش خشکی و نیز کاهش فعالیت های پروتوپلاسمی و تثبیت گازکربنیک، شرایطی برای کاهش سنتز پروتیین و کلروفیل فراهم می‌شود که خود باعث تقلیل فرایند فتوسنتز می‌شود (Jaleel et al., 2009). گرچه بسته شدن روزنه‌ها از طریق کاهش اتلاف آب گیاه می‌تواند در تحمل به خشکی مؤثر باشد ولی بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی موجب افزایش دمای برگ و کاهش فتوسنتز می‌گردد (Singh et al., 2012). از طرفی میزان کلروفیل در گیاهان یکی از مهمترین عوامل حفظ ظرفیت فتوسنتزی به شمار می‌رود. همچنین عنصر روی در راه‌اندازی برخی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل

و نیز برخی از آنزیم های انتی اکسیدان مانند آسکوربات پروکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش اساسی دارد (Malakoti & Tehrani, 2000).

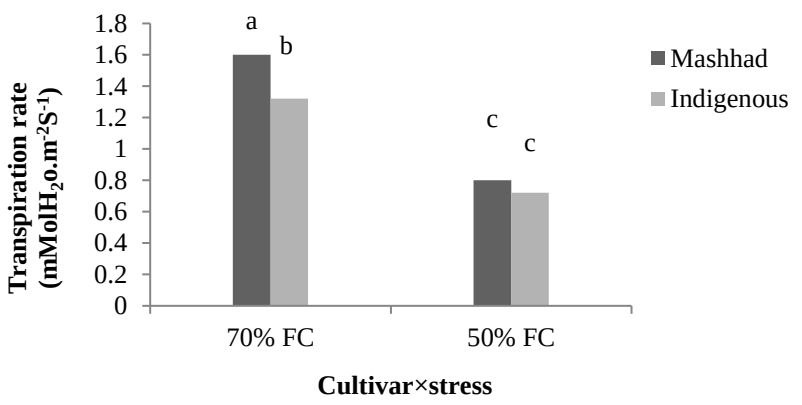
اثر متقابل رقم×تنش بر شدت تعرق و اثر متقابل پرایم×تنش بر نشت الکترولیت و محتوای نسبی آب معنی‌دار بود (جدول ۴). آبیاری مطلوب و پرایمینگ بذر با سولفات روی محتوای نسبی آب برگ را تا ۶۵ درصد نسبت به شرایط شاهد (اعمال تنش کم‌آبی و هیدروپرایمینگ) بهبود بخشید (شکل۳). محتوای نسبی آب بالاتر می‌تواند مسئول بقای هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تعرق و فتوسنتز بالاتر در تیمارها شود. عبدشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2015) در لوبیا، کاهش محتوای آب نسبی را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده بودند. به طور کلی بین محتوای نسبی آب برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد به طوری که با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش محتوای نسبی آب برگ هم کاهش خواهد یافت. عنصر روی نقش مهمی در میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد و از طریق کاهش تلفات آب برگ باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌شود (Weisany et al., 2011).



شکل۳ _ اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر محتوای نسبی آب برگ لوبیا چشم بلبلی
Fig 3_The interaction of water deficit stress & seed prime on Relative Water Content in cowpea

قنبری و همکاران (Ghanbarı & Rao, 2013) نیز کاهش محتوای پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه را در گیاهانی که با روی تیمار نشده بودند مشاهده نمودند، در صورت عدم مصرف عنصر روی یکپارچگی غشا کاهش یافته و محتوای آب برگ کاهش می‌یابد. در آزمایشی روی آفتابگردان نیز تیمارهایی که سولفات روی بیشتری دریافت کرده بودند از محتوای آب نسبی برگ بالاتری برخوردار بودند (Weisany et al., 2011).

شکل ۴ شدت تعرق برگ تحت تاثیر رقم و تنش کمبود آب را نشان می‌دهد. بیشترین میزان تعرق تحت شرایط آبیاری مطلوب در رقم مشهد مشاهده شد که نسبت به رقم محلی و شرایط کم‌آبیاری ۶۵ درصد بیشتر بود (شکل۴). گزارش شده که طی کمبود آب به علت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای، سرعت تبادل گازی کاهش یافته و سبب کاهش سرعت تعرق می‌شود (Tatrai et al., 2016). علاوه بر این تولید اسید آبسیزیک[1] در ریشه و ارسال آن به برگ‌ها، در اثر کاهش پتانسیل آماسی در برگ نیز به وجود می‌آید اسید آبسیزیک سبب بسته شدن روزنه‌ها به هنگام کم‌آبی می‌شود تا از تعرق جلوگیری کند، که بسته شدن روزنه‌ها از طریق اسید آبسیزیک تولید شده در خود برگ‌ها عمل می‌کند کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان مکانیسمی برای حفظ آب برگ و جلوگیری از هدر رفتن آن طی تعرق بیان شود (Zhu et al., 2002).

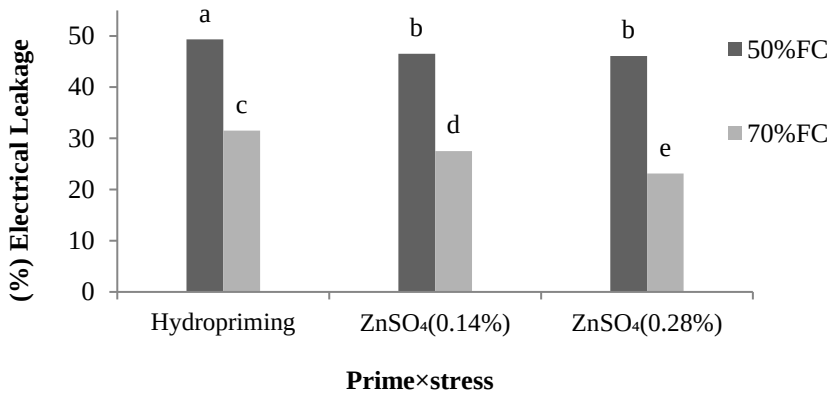


شکل ۴_ اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر شدت تعرق در گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig 4_The interaction of water deficit stress & cultivar on Transpiration rate in cowpea

کمترین (۴۶٪) و بیشترین (۴۹٪) درصد نشت الکترولیت تحت اعمال تنش، به ترتیب در پرایم سطح۲ و هیدروپرایمینگ حاصل گردید (شکل۵). همچنین اثر متقابل آبیاری مطلوب و پرایمینگ سطح ۲ توانست میزان نشت الکترولیت را نسبت به شرایط شاهد (کم آبیاری و هیدروپرامینگ) تا ۵۳ درصد کاهش دهد. مدت زمان و شدت تنشی که گیاه تحت تاثیر آن قرار می‌گیرد در میزان آسیبی که به غشای سلولی وارد می‌شود موثر است. تحت شرایط کمبود آب، غشای سلولی پایداری خود را از دست‌داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن به بیرون تراوش می‌کند، لذا پایداری غشا به وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن ارزیابی می‌شود (Munjonji et al., 2017).

[1] Abscisic acid



شکل ۵_ اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایم بذر بر درصد نشت الکترولیت در گیاه لوبیا چشم بلبلی
Fig 5_The interaction of water deficit stress & seed prime on Electrical Leakage in cowpea

نتایج نشان داد افزایش شدت و مدت زمانی که گیاه در معرض کمبود آب قرار دارد باعث ایجاد اختلال شدیدتر در فعالیت های زیستی غشای سلولی، کاهش سیالیت آن و غیرفعال‌سازی یا کاهش سرعت پمپ شدن یون‌های غشایی می‌شود، بنابراین بر میزان نشت یون‌ها نیز افزوده گردید. تنش خشکی تغییراتی را در فسفولیپیدهای غشا ایجاد می کند و اسیدهای چرب غیراشباع، افزایش می‌یابند. در تنش های شدید بعضی از قسمت‌های فسفولیپیدهای دو لایه ای غشا، حالت شش وجهی پیدا کرده و ساختار غشا به ساختار منفذ دار تبدیل می شود و نشت مواد رخ می‌دهد. به طورکلی تنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشای سلول در گیاهان مختلف می‌شود (Munjonji et al., 2017). صدمات غشایی از اکسیداسیون لیپیدهای غشایی در حضور رادیکال‌های آزاد حاصل می‌شود (Wahyudi & Syukur, 2021). بر این اساس تعادل بین رادیکال های آزاد تولیدی و دفاع در برابر این رادیکال های آزاد تعیین کننده بقای سیستم گیاهی می‌باشد. عناصر روی و آهن از طریق افزایش فعالیت سیستم‌های آنتی اکسیدانی گیاهان در تعدیل رادیکال‌های آزاد و اثرات تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (Zago & Oteiza, 2001). لذا بر این اساس به نظر می‌رسد کاربرد پرایمینگ سولفات روی با افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی (از طریق افزایش تولید آنزیم‌های حذف کننده رادیکال های آزاد) باعث گردید گیاه دیرتر با شرایط تنش مواجه گردد و در نتیجه درصد نشت کمتری داشته باشد.

عملکرد و اجزای عملکرد

مطابق جدول ۵ اثرات اصلی عامل‌های آزمایش (تنش، رقم و پرایم) بر صفات عملکرد و اجزا عملکرد (تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد دانه در گلدان) و نیز شاخص برداشت در سطح احتمال آماری یک

درصد معنی‌دار گردید. برهمکنش رقم × پرایم برهیچکدام از صفات ذکر شده معنی‌دار نشد (جدول ۵). اثر متقابل رقم×تنش به جز شاخص برداشت اثر معنی‌دار بر صفات عملکرد و اجزا عملکرد داشت (جدول ۵). از بین صفات اندازه گیری شده فقط دو صفت تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه تحت تاثیر معنی دار اثر متقابل پرایم و تنش قرار گرفتند. اثر سه گانه پرایم×تنش×رقم تاثیر معنی داری بر صفات اندازه‌گیری شده نداشت (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر رقم، پرایم روی و تنش‌کم‌آبی بر صفات مربوط به عملکرد لوبیا چشم بلبلی
Table 5. Analysis of variance results of the effect of cultivar, zinc priming and water deficit stress on yield characteristics of cowpea

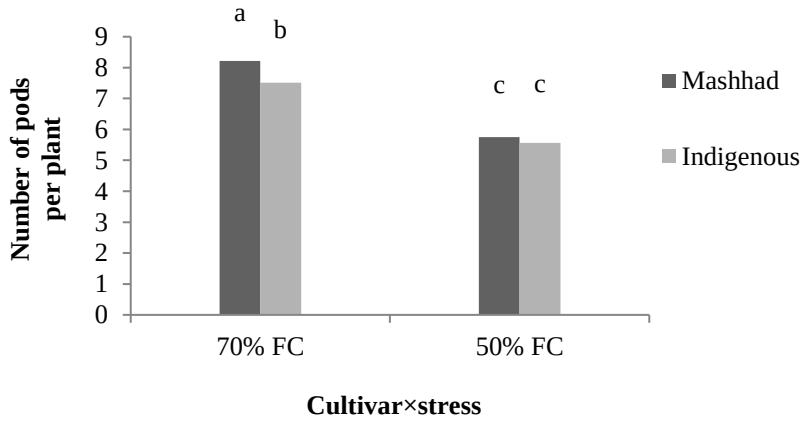
میانگین مربعات (Mean square)							
شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه در گلدان Grain yield in pot	وزن صد دانه 100 Grain weight	تعداد دانه در بوته Number of seeds per pod	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	درجه آزادی df	منابع تغی‌رات S.O.V
2.7^{ns}	23.1^{*}	0.09^{*}	58.4^{*}	0.9^{*}	0.02^{ns}	3	بلوک (Block)
2411^{**}	1191^{**}	12.30^{**}	8031^{**}	35.8^{**}	58.52^{**}	1	تنش‌خشکی(Stress)
279^{**}	3164^{**}	116.25^{**}	382.3^{**}	1.50^{**}	2.43^{**}	1	رقم (Cultivar)
118^{**}	123^{**}	1.72^{**}	237.8^{**}	2.18^{**}	0.58^{**}	2	پرایم (Prime)
2.62^{ns}	0.66^{ns}	0.026^{ns}	3.93^{ns}	0.02^{ns}	0.19^{ns}	2	رقم×پرایم (Cultivar× Prime)
0.01^{ns}	229^{**}	0.091^{*}	178.6^{**}	0.58^{*}	0.80^{**}	1	رقم× تنش‌خشکی (Cultivar×Stress)
1.40^{ns}	24.8^{**}	0.005^{ns}	52.7^{**}	0.22^{ns}	0.09^{ns}	2	پرایم× تنش‌خشکی (Prime× Stress)
0.65^{ns}	0.14^{ns}	0.004^{ns}	3.44^{ns}	0.01^{ns}	0.16^{ns}	2	پرایم× تنش‌خشکی ×رقم (prime× Stress×Cultivar)
2.64	3.31	0.016	8.70	0.10	0.06	14	خطا (Error)
3.66	7.65	1.2	6.71	5.12	3.77	-	ضریب تغییرات(%) CV

**، * و ns: به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی داری می باشد
**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant probability levels, respectively

طبق جدول مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول۳) پرایم سطح ۲ منجر به افزایش تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن صد دانه و شاخص برداشت نسبت به هیدرو پرایمینگ گردید. افزایش تعداد غلاف در بوته در اثر استفاده از روی اثبات شده، تغذیه گیاه با سولفات روی به دلیل افزایش ذخیره هیدروکربن دانه گرده، باعث افزایش طول عمر دانه گرده شده، در نتیجه منجر به افزایش تلقیح و تشکیل تعداد بیشتر دانه در غلاف می گردد، که در نهایت منجر به افزایش تمامی شاخص‌های مرتبط با اجزای عملکرد در لوبیا خواهد شد (Saeidi Aboueshaghi & Yadavi, 2015). همچنین بیان شده‌است که عنصر روی از طریق افزایش سطح برگ، وزن خشک و طول دوره گلدهی، باعث افزایش تعداد غلاف در گیاه می‌شود. عنصر روی

نقش مهمی در سنتز تریپتوفان (آمینو اسید لازم برای سنتز اکسین دارد که موجب افزایش ارتفاع و تعداد گـره در سـاقه می-شود. افزایش تعداد گره در ساقه، افزایش تعداد شاخه‌های جـانبی در ساقه و در نهایت تعداد غلاف در بوتـه را در پی دارد. از طرف دیگر این عنصر در ساختمان فسفو اینول پیرووات کربوکسـیلاز نیز نقش اساسی دارد و به این ترتیب در حضور عنصر روی توان فتوسنتزی و در نتیجه میزان کربوهیدرات‌های گیاه افزایش می‌یابد (Thalooth, Tawfik, & Mohamed, 2006). بنی عباسی و همکاران (baniabbasi et al., 2013) بیان داشتند با توجه به نقش اساسی عنصر روی در گیاه کـه به طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشد هماننـد اکسـین دخالـت دارد، بنابراین می‌تواند سلول‌های گیاهی بیشتر و در نتیجه مواد خشک بیشتری را تولید و در دانه به‌عنوان مخزن ذخیره نمایـد که موجب افزایش عملکرد بیش از حد انتظار می‌گردد. ایشان گزارش دادند عنصر روی در افزایش غلظت کلروفیل و افـزایش جذب نیتروژن و فسفر نقش داشته و از ایـن طریـق هـم باعـث افزایش عملکرد می‌شود.

بیشترین تعداد غلاف در بوته در رقم مشهد تحت شرایط آبیاری با۷۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که برتری۳۱ درصدی نسبت به رقم محلی و با اعمال آبیاری۵۰ درصد ظرفیت زراعی داشت (شکل۶).

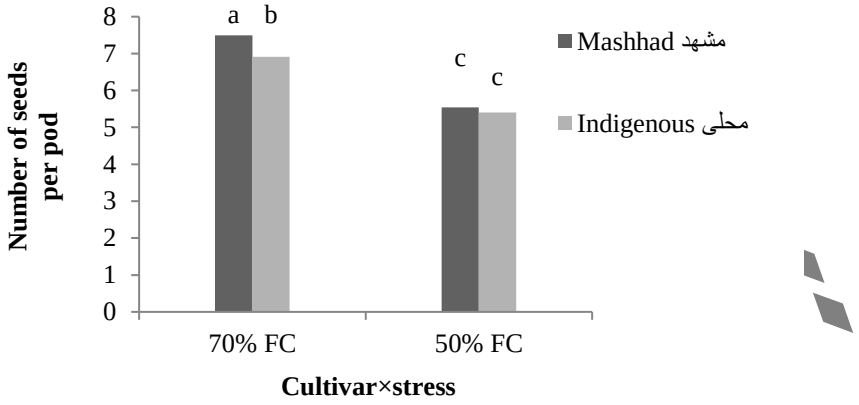


شکل ۶_ اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر تعداد غلاف در بوته در گیاه لوبیا چشم بلبلی
Fig 6_The interaction of water deficit stress & cultivar on number of pods per plant in cowpea

در واقع هنگام کمبود آب، تعداد زیادی از گل‌هایی که توانایی تبدیل شدن به غلاف را داشته‌اند، از بین رفته و تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابند. سایر تحقیقات نیز کاهش تعداد غلاف در بوته را تحت تنش خشکی ناشی از ریزش اندام‌های زایشی از جمله گل‌ها و نیام‌ها دانستند، پتانسیل و توانایی حبوبات در تشکیل جوانه‌های گل‌ها و غلاف‌ها بسیار بالاست، اما دستیابی به این پتانسیل مستلزم وجود شرایط محیطی مناسب است. در شرایط تنش رطوبتی به دلیل پسابیده شدن دانه‌های گرده و پژمردگی کلاله، رشد لوله‌های گرده متوقف می‌شود، تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد (Mazengo & Tryphone, 2019) همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ارقام لوبیا چشم‌بلبلی مورد بررسی برای تمامی صفات مربوط به عملکرد در دو

شرایط آبیاری مطلوب و آبیاری محدود اختلاف معنی‌داری وجود دارد و رقم مشهد دارای عملکرد بالاتری بود، که نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی در بین دو رقم مورد بررسی می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصله از نمودار ۷ تعداد دانه در غلاف رقم مشهد در شرایط آبیاری مطلوب دارای برتری ۱۱ درصدی نسبت به رقم محلی بود، که با کاهش آبیاری تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۳۸ درصد (تقریبا به صورت یکسان) از تعداد دانه در غلاف در هر دو رقم کاهش یافت (شکل۷).

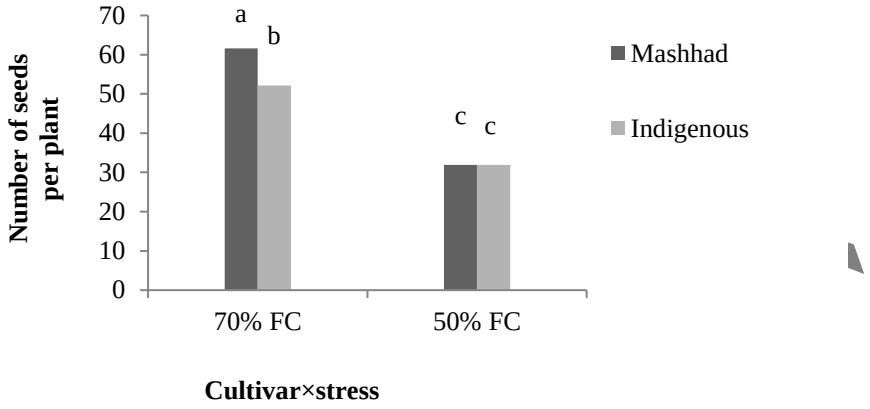


شکل ۷_ اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر تعداد دانه در غلاف گیاه لوبیا چشم بلبلی
Fig 7_The interaction of water deficit stress & Cultivar on Number of seeds per pod in cowpea

در واقع در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آبی گیاه، سرعت رشد گیاه به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد که به طبع کم شدن فتوسنتز تعداد دانه کاهش خواهد یافت. در مطالعه‌ای در بین عوامل مختلف ایجاد کننده تنش در نخود، تنش خشکی به تنهایی ۴۵ درصد کاهش عملکرد دانه در غلاف را موجب می‌شود (Amiri et al., 2015). طبق بررسی ژوو (Zhu, 2002) کمبود مواد قابل انتقال بر اثر تنش خشکی در مرحله رویشی و زایشی باعث سقط دانه در غلاف می‌شود. در هر گیاه زراعی، عملکرد دانه یا به عبارت بهتر عملکرد اقتصادی، نتیجه برایند همه فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از زمان سبز شدن تا بلوغ فیزیولوژیکی و تاثیرات متقابل این فرآیندها با محیط است، در شرایط کم‌آبی همه فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه تحت تاثیر قرار خواهند گرفت که در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد.

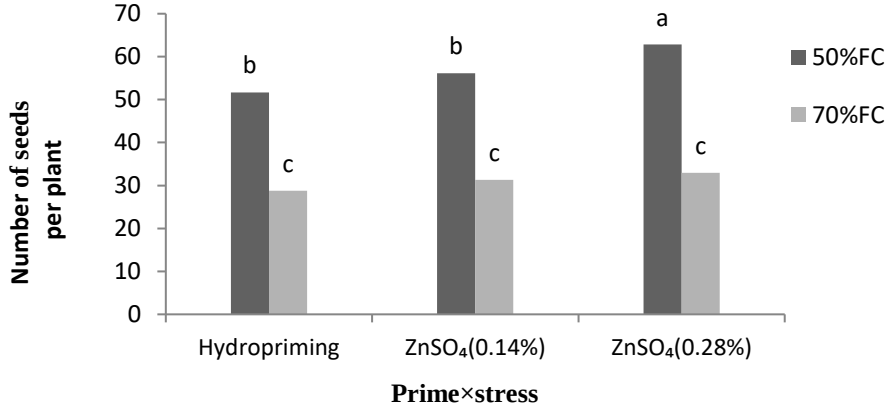
طبق نتایج حاصل از مقایسات میانگین در شکل ۸ تحت شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی رقم مشهد از برتری ۱۸ درصدی تعداد دانه در بوته نسبت به رقم محلی برخوردار بود که با کاهش آبیاری تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعداد دانه در بوته در رقم مشهد ۴۸ درصد و در رقم محلی ۴۰ درصد کاهش یافت (شکل۸). در شرایط تنش خشکی گیاه برای بقای خود تلاش می‌کند تا با افزایش طول ریشه به آب بیشتر و عمیق تر خاک دسترسی پیدا کند، بنابراین مواد

فتوسنتزی بیشتری به سمت ریشه رفته و صرف توسعه ریشه شده و وزن و تعداد دانه در بوته کاهش می‌یابد (Amiri et al., 2015). به دنبال کاهش تعداد دانه در غلاف در شرایط کم‌آبی که مربوط به اختلال در فرآیندهای بی‌وشی‌می‌ای‌ی و فتوسنتزی بود کاهش دانه در بوته بدی‌هی می‌باشد، و با کم شدن شدت تنش و آبی‌اری مطلوب با افزایش تولید کلروپلاست و می‌زان فتوسنتز سبب تولید محصول بی‌شتر و در نهایت افزایش عملکرد دانه و عملکرد زی‌ستی می‌گردد.



شکل ۸_ اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر تعداد دانه در بوته گیاه لوبیا چشم بلبلی
Fig 8_The interaction of water deficit stress & Cultivar on Number of seeds per plant in cowpea

بیشترین تعداد دانه در بوته (شکل۹) در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و پرایم سطح۲ حاصل شد که نسبت به آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و هیدروپرایمینگ افزایش ۵۵ درصدی مشاهده شد. در مطالعه‌ای روی لوبیا نیز مشاهده شد که کاربرد عنصر روی، باعث افزایش عملکرد دانه شده است (Wahyudi & Syukur, 2021). کاهش دسترسی به آب و برهم‌خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه متابولیسم گیاه را نیز تغییر می‌دهد. افزایش تعداد دانه در واکنش به مصرف عنصر روی می‌تواند به دلیل نقش این عنصر در تقسیمات سلولی و همچنین نقش کلیدی عنصر روی در تشکیل دانه، به دلیل تأثیر بر فرایندهای زایشی و ماده‌سازی باشد (Mohsin et al., 2014) به صورت کلی عنصر روی در تشکیل بیشتر میوه و دانه و فعال کردن آنزیم کربونیک آنهیدراز نقش اساسی دارد. بدیهی است که در حضور این عنصر سنتز کربوهیدرات‌ها در گیاه در سطح بالاتری صورت می‌گیرد و باعث افزایش عملکرد می‌گردد (Cakmak, 2008).

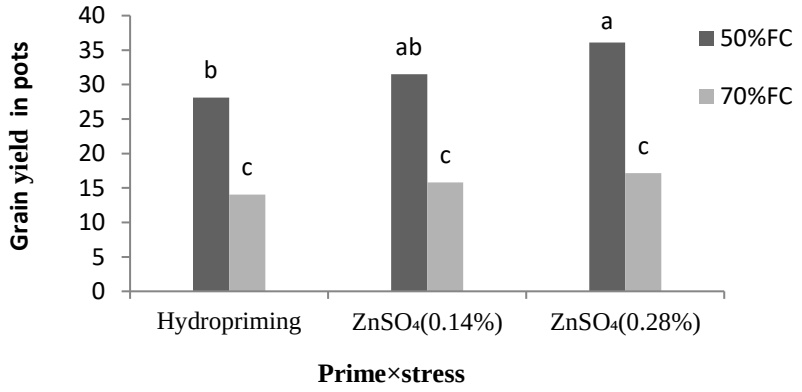


شکل ۹_اثر متقابل پرایم بذر و تنش کم‌آبی بر تعداد دانه در بوته گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig 9_The interaction of seed prime & water deficit stress on Number of seeds per plant in cowpea

بیشترین میزان عملکرد دانه در گلدان (شکل۱۰)، در شرایط ابیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و پرایم سطح۲ حاصل شد که نسبت به آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و هیدروپرایمینگ افزایش ۶۱ درصدی را منجر شد.

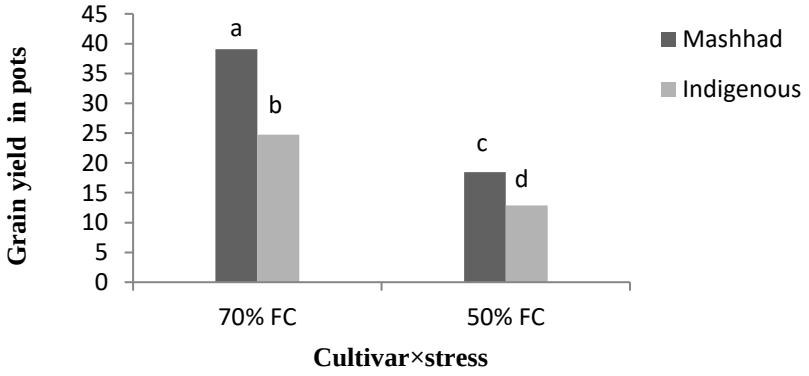
بر اثر کمبود آب رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد که منجر به اختلال در گلدهی، پر شدن دانه‌ها و در نتیجه عملکرد کمتر گیاه می‌شود. کمبود آب در مرحله گلدهی باعث افزایش سقط جنین در دانه گرده می‌شود و از طریـق افـزایش آبسزیک اسید و کـاهش شـدت فتوسنتز باعـث کاهش بـارگیری آسیمیلات‌ها شده که در نهایـت بـا ریزش گل‌ها و غلاف‌ها عملکرد دانه را کاهش می‌دهد(Zadehbagheri & Sharafzadeh, 2012). از طرفی پرایمینگ بذر با سولفات‌روی (پرایم سطح ۲) در شرایط کمبود آب توانست عملکرد دانه در گلدان را ۱۵ درصد افزایش دهد، با توجه به اینکه عنصر روی در گیاه بطور مستقیم در بیوسنتز مواد موثر بر رشد همانند اکسین دخالت دارد بنابراین در دسترس بودن عنصر روی موجب رشد و توسعه بیشتر گیاه و در نتیجه تولید ماده خشک بیشتر و ذخیره آن ها در دانه ها به عنوان مخزن می گردد، بنابراین فهمیدن این نکته ساده به نظر می رسد که کاربرد روی سبب افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش (۱۸ درصد) و عدم تنش (۲۲ درصد) گردید. همانطور که در نتایج قبلی مشاهده شد کمبود این عنصر با تاثیر بر فتوسنتز، تشکیل دانه و قدرت حیات آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد.



شکل۱۰_اثر متقابل پرایم بذر و تنش کم آبی بر عملکرد دانه در گلدان گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig 10_The interaction of seed prime & water deficit stress on Grain yield in pots in cowpea

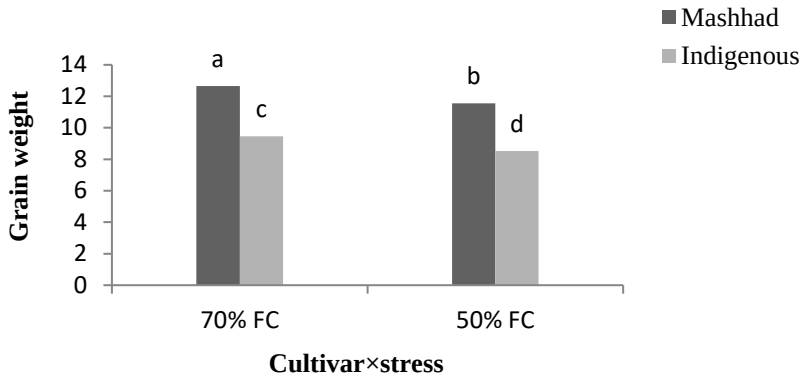
رقم مشهد در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین عملکرد دانه در گلدان را منجر شد که با کاهش میزان آبیاری به۵۰ درصد ظرفیت زراعی تا ۵۲/۷۷ درصد کاهش داشت (شکل۱۱). همچنین رقم مشهد نسبت به رقم محلی چه در شرایط کم‌آبیاری (برتری ۳۰/۳۱درصدی) و چه در شرایط آبیاری مطلوب (برتری۳۶/۷ درصدی) دارای عملکرد دانه بهتری نسبت به رقم محلی بود. که طبق سایر نتایج قبلی در فتوسنتز، نشت الکترولیت و تعداد دانه در گلدان این برتری دور از ذهن نمی‌باشد. با توجه به اینکه حفظ پتانسیل عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به عنوان یک معیار فیزیولوژیک مقاومت به تنش خشکی در نظرگرفت لذا به نظر می‌رسد که ارقام با درصد کاهش بالا و پایین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به ترتیب به عنوان ارقام حساس و مقاوم به تنش مطرح شوند (Ahmadi, Jodi, Tavakoli, & Ranjbar, 2009).



شکل ۱۱_اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر عملکرد دانه در گلدان گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig 11_The interaction of water deficit stress & Cultivar on Grain yield in pots in cowpea

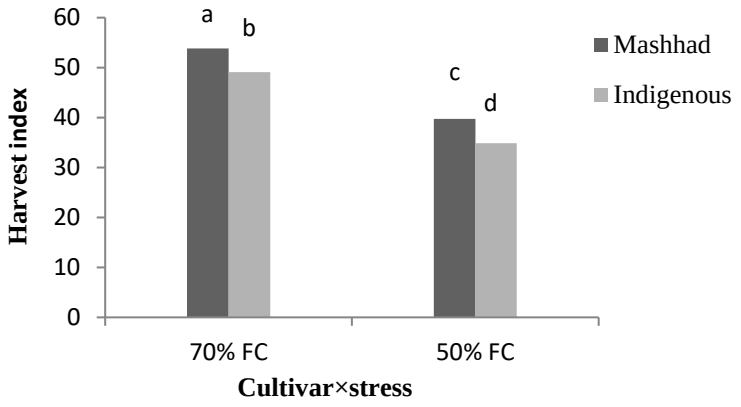
با توجه به شکل (۱۲) به صورت کلی رقم مشهد دارای وزن صد دانه بیشتری نسبت به رقم محلی می باشد که با کاهش میزان آب مصرفی وزن صد دانه در هر دو رقم کاهش داشت. بیشترین وزن صد دانه در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و رقم مشهد بدست آمد، که نسبت به رقم محلی در شرایط آبیاری مشابه دارای برتری ۲۵/۲۸ درصدی می باشد(شکل۱۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌های لوبیا چشم بلبلی مورد بررسی برای تمامی صفات مربوط به عملکرد در دو شرایط آبیاری مطلوب و کاهش آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود دارد که نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد. هانتر و همکاران (Hunter, Ferrante, Vernieri, & Reid, 2004)گزارش کردند که صفات مورفوفیزیولوژیکی که دارای توارث پذیری بالا هستند در افزایش عملکرد، مهم محسوب می‌شوند. مطالعه وزن صد دانه در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی نشان‌داد که تنوع برای این صفت در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی وجود داشت.



شکل۱۲_اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر وزن صد دانه گیاه لوبیا چشم بلبلی

Fig 12_ The interaction of water deficit stress & Cultivar on Grain weight in cowpea

استفاده از رقم مشهد در شرایط آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به تولید بیشترین شاخص برداشت (۵۳/۸۵ درصد) گردید در مقابل کمترین شاخص برداشت (۳۴/۸۵) مربوط به رقم محلی و اعمال کم‌آبی تا سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود در واقع رقم مشهد در شرایط آبیاری مطلوب دارای برتری ۳۵/۲۸ درصدی شاخص برداشت نسبت به رقم محلی و تنش خشکی بود (شکل۱۳)



شکل ۱۳_اثر متقابل تنش کم‌آبی و رقم بر شاخص برداشت گیاه لوبیا چشم بلبلی
Fig 13_The interaction of water deficit stress &Cultivar on Harvest index in cowpea

از آنجایی که پارامتر شاخص برداشت نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی را نشان می دهد، بنابراین کاهش شاخص برداشت در اثر کمبود آب ناشی از کاهش وزن صد دانه می‌باشد که در بررسی‌های قبلی نیز برتری وزن دانه رقم مشهد نسبت به رقم محلی مشاهده شد. طبق گزارش رامیرز و کلی (Ramirez & Kelly, 1998) تنش خشکی متوسط تا شدید می‌تواند بیوماس، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی، شاخص برداشت، عملکرد دانه و وزن دانه لوبیا را کاهش دهد. کاهش شاخص برداشت در اثر کمبود آب می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده و کاهش انتقال مجدد مواد فتوسنتز شده در مرحله پر شدن دانه‌ها باشدعلاوه بر تجمع ماده خشک، تسهیم مواد پرورده بین اندام‌های مختلف گیاه نیز مهم است. کمبود آب در طی رشد و گلدهی باعث می‌شود که بخش بیشتری از مواد فتوسنتز شده صرف ریشه‌ها شده تا آب بیشتری برای گیاه تأمین نماید، بنابراین در چنین شرایطی شاخص برداشت کاهش خواهد یافت (Amiri et al., 2015).

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد کمبود آب تا حد زیادی توانست عملکرد گیاه را کاهش دهد اما در این میان رقم مشهد دارای مقاومت بیشتری نسبت به رقم محلی بود و توانست چه در شرایط کاهش آب آبیاری چه در شرایط آبیاری مطلوب عملکرد بالاتری نسبت به رقم محلی نشان دهد، از طرفی پرایمینگ بذور با سولفات روی توانست تا حدی اثرات نامطلوب کمبود آب را تعدیل کند، پرایم سطح دو (پرایم با محلول ۰/۲۸ درصد سولفات روی) نسبت به شاهد و پرایم سطح ۱ توانست منجر به بیشترین میزان فتوسنتز، بیشترین میزان وزن صد دانه و همچنین شاخص برداشت شود. بنابراین استفاده از رقم مناسب تحت اعمال پرایم بذر با روی می تواند در کاهش اثرات کمبود آب ، افزایش تولید و بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه موثر باشد.

منابع:

Abdolshahi, R., Nazari, M., Safarian, A., Sadathossini, T., Salarpour, M., & Amiri, H. (2015). Integrated selection criteria for drought tolerance in wheat (Triticum aestivum L.) breeding programs using discriminant analysis. *Field Crops Research, 174*, 20-29.

Ahmadi, A., Jodi, M., Tavakoli, A., & Ranjbar, M. (2009). Investigation of yield and its related morphological traits responses in wheat genotypes under drought stress and irrigation conditions. *JWSS-Isfahan University of Technology, 12*(46), 155-165.

alborzi, M., Safikhani, F., MASOUD, S. J., Abbaszadeh, B., zadeh, a., & . (2013). The effect of drought stress on dry mather yield and essential oils of Anisum (Pimpinella anisum L.).

Amiri, A., Yadolahi, P., & Esmaeilzadeh, S. (2015). Effect of drought stress and chitosan and salicylic spray on morphological parameters of Carthamus tinctorius L. in Sistan. *Journal of Oil Plants Production, 2*(1), 43-56.

baniabbasi, Ghanbari, Zarmehri, Moosavi, S., Zabihi, H., & Seghateslami, M. (2013). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and zinc fertilizer on forage yield of maize under water deficit stress conditions. *Journal of Applied Science, Engineering and Technology, 3*(23), 3281-3290.

Barzegari, M., Emam, Y., & Zamani, A. (2020). Yield components and grain yield responses of four wheat cultivars to growth retardant Cycocel under terminal drought stress conditions. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing, 10*(3), 139-156.

Borowski, E., & Michalek, S. (2011). The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus, 10*(2).

Boukar, O., Togola, A., Chamarthi, S., Belko, N., Ishikawa, H., Suzuki, K., & Fatokun, C. (2019). Cowpea [Vigna unguiculata (L.) Walp.]. *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes: Volume 7*, 201.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and soil, 302*, 1-17.

Cheraghi Tabar, E. A. a. H. R. O. (2018). Distribution of Zinc Fractions in Some Calcareous Soils of Mahidasht

and Helilan plains of Kermanshah and Ilam Provinces. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 22*, 12.

Davoudpour, Y., Schmidt, M., Calabrese, F., Richnow, H. H., Musat, N., & Musat, N. (2020). High resolution microscopy to evaluate the efficiency of surface sterilization of Zea Mays seeds. *Plos one, 15*(11), e0242247.

Ebrahimian, E., & Bybordi, A. (2011). Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes.

Ehlers, J., & Hall, A. (1997). Cowpea (Vigna unguiculata L. walp.). *Field crops research, 53*(1-3), 187-204.

Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., . . . Siddique, K. H. (2018). Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research, 216*, 53-62.

Fracasso, A., Telo, L., Lanfranco, L., Bonfante, P., & Amaducci, S. (2020). Physiological beneficial effect of Rhizophagus intraradices inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. *Agronomy, 10*(1), 71.

Frahm, M. A., Rosas, J. C., Mayek-Pérez, N., López-Salinas, E., Acosta-Gallegos, J. A., & Kelly, J. D. (2004). Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica, 136*, 223-232.

Frota, K., Gonvalves, M., Lopes, L. A. R., Silva, I. C. V., Areas, J. A. G., & . (2017). Nutritional quality of the protein of Vigna unguiculata L. Walp and its protein isolate. *Revista Ciência Agronômica, 48*(5spe), 792-798.

Gardner, W. (1968). Availability and measurement of soil water.

Ghanbarı, A. A., & Rao, I. (2013). Effects of water stress on leaves and seeds of bean (Phaseolus vulgaris L.). *Turkish Journal of Field Crops, 18*(1), 73-77.

Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., Yunas, M., & Yunas, M. (2008). 'On-farm'seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. *Plant and soil, 306*, 3-10.

Hunter, D. A., Ferrante, A., Vernieri, P., & Reid, M. S. (2004). Role of abscisic acid in perianth senescence of daffodil (Narcissus pseudonarcissus "Dutch Master"). *Physiologia plantarum, 121*(2), 313-321.

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *Int. J. Agric. Biol, 11*(1), 100-105.

Kakaei, M. (2024). The Effect of Planting Density and Supplementary Irrigation on the Agricultural Traits of Lentil (Lens culinaris Medik.) in Dry Conditions. *Iranian Journal Pulses Research, 15*(2), 129-139.

Kroner, N., Kotlarski, S., Fischer, E., Lüthi, D., Zubler, E., & Schär, C. (2017). Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: theory and application to the European summer climate. *Climate Dynamics, 48*, 3425-3440.

Malakoti, M., & Tehrani, M. (2000). The role of micronutrients on yield and qualify increasing of crops: Tabiat Modares University Press.

Mansouri Daneshvar, M. R., & Ebrahimi, M. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research, 8*(1), 1-10.

Marschner, H. (1995). Nutrition of higher plants. *Nutrition of Higher Plants, 4*.

Martinez, J.-P., Silva, H., Ledent, J.-F., & Pinto, M. (2007). Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (Phaseolus vulgaris L.). *European journal of agronomy, 26*(1), 30-38.

Mazengo, K. D., & Tryphone, G. M. (2019). Response of common bean genotypes (Phaseolus vulgaris L.) to drought for growth and yield characteristics in the southern highlands of Tanzania. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 4*(3).

Merwad, A.-R. M., Desoky, E.-S. M., & Rady, M. M. (2018). Response of water deficit-stressed Vigna unguiculata performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae, 228*, 132-144.

Mohsin, Ahmad, A., Farooq, Muhammad, Ullah, S., & . (2014). Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, 24*(5).

Munjonji, Lawrence, Ayisi, K. K., Boeckx, P., Haesaert, G., & . (2017). Stomatal behavior of cowpea genotypes grown under varying moisture levels. *Sustainability, 10*(1), 12.

Munoz Perea, C. G., Terán, H., Allen, R. G., Wright, J. L., Westermann, D. T., & Singh, S. P. (2006). Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop science, 46*(5), 2111-2120.

Nohong, B., & Nompo, S. (2015). Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 14-22.

Posmyk, M., & Janas, K. (2007). Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in Vigna radiata L. seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum, 29*, 509-517.

Prasad, A. (1984). *Discovery and importance of zinc in human nutrition.* Paper presented at the Federation proceedings.

Ramirez, & Kelly. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica, 99*, 127-136.

Rezaei, H., Saadat, S., Mirkhani, R., Bagheri, Y. R., Esmaeelnejad, L., Nouri Hosseini, M., . . . Hamedi, F. (2022). The state of soil organic carbon in agricultural lands of Iran with different agroecological conditions. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 102*(16), 4623-4639.

sabzi, & tahmasbi. (2017). Effect of different levels of irrigation on grain yield and characteristics of bean genotypes. *environmental stresses crop sciences, 1*, 21-30.

Saeidi Aboueshaghi, R., & Yadavi, A. (2015). Effects of irrigation levels and foliar application with iron and zinc on quantitative and qualitative traits of red bean (Phaseolous vulgaris L. *Iranian Journal Pulses Research, 6*(1), 54-65.

Singh, H. P., Kaur, G., Batish, D. R., Kumar, R. K., Batish, D., & . (2012). Growth, photosynthetic activity and oxidative stress in wheat (Triticum aestivum) after exposure of lead to soil. *Journal of environmental biology, 33*(2), 265.

Sumner, M. E. (1999). *Handbook of soil science*: CRC press.

Tandon, P. (1996). Effect of zinc and iron supply on production potential of rice (Oryza sativa L.). *Journal of Agronomy and Crop Science, 176*(3), 213-216.

Tatrai, Z. A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2016). Morphological and physiological plant responses to drought stress in Thymus citriodorus. *International Journal of Agronomy, 2016*(1), 4165750.

Thalooth, A., Tawfik, M., & Mohamed, H. M. (2006). A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World Journal of Agricultural Sciences, 2*(1), 37-46.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., Gasparikova, O., Kolarovic, L., & . (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment, 52*(4), 184.

Wahyudi, A., & Syukur, M. (2021). Multi-location evaluation of yield component character and proximate analysis of cowpea grown in Lampung Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 22*(10).

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A., Ghassemi-Golezani, K., & Heidari. (2011). Physiological responses of soybean ('Glycine max'L.) To zinc application under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science, 5*(11), 1441-1447.

Wu, F., Bao, W., Li, F., & Wu, N. (2008). Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of Sophora davidii seedlings. *Photosynthetica, 46*, 40-48.

Zadehbagheri, M., & Sharafzadeh, S. (2012). Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean (Phaseolus vulgaris L.) genotype. *African Journal of Agricultural Research, 7*(42), 5661-5670.

Zago, M. P., & Oteiza, P. I. (2001). The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine, 31*(2), 266-274.

Zhu. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual review of plant biology, 53*(1), 247-273.

Zhu, Kimbal, B., Cheng, L., Kobayashi, K., Bindi, M., & . (2002). Responses of agricultural crops to free-air CO2enrichment. *YINGYONG SHENGTAI XUEBAO, 13*, 1323-1338.