

Effects of drought stress on seed yield and some biochemical traits of new faba bean lines (*Vicia faba* L.)

Hamid Esmaili Khanbehbin¹, Mohammad Reza Dadashi², Mohammad Taghi Feyzbakhsh^{3*}, Fatemeh Sheikh³, Ali Nakhzari Moghadam⁴

1. PhD Student of Crop Physiology, Department of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

2. Associate Professor, Department of Agriculture, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

3. Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

4. Associate Professor, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Received 2 January 2024; Revised 28 February 2024; Accepted 4 March 2024

Extended abstract

Introduction

Faba bean (*Vicia faba* L.) is a rich source of phosphorus, calcium, iron, and protein and is very effective in rotation, cropping patterns, and in maintaining the sustainability of agricultural systems and fixing atmospheric nitrogen through symbiosis. Achieving figures with high performance and a wide range of adaptation to drought stress and climatic changes is one of the most important breeding goals in Faba bean (*Vicia faba* L.). This study was conducted to evaluate the effects of drought stress on grain yield and some biochemical traits of new Faba bean lines.

Materials and methods

This experiment was carried out in the crop year of 2022-2023 in the form of a split-plot experiment in the form of randomized complete blocks design with 3 replications at the Gorgan Agricultural Research Station. In this study, 9 low tannin lines of *Vicia faba* (L.) along with two control cultivars Mehta (low tannin) and Shadan (high tannin) were compared and evaluated in two environments of drought stress (after flowering) and normal irrigation. The lines studied in this experiment were selected and cultivated from the superior lines of the preliminary faba bean experiments. Each experimental unit was in four lines with a distance of 60 cm, a length of 6 m and a plant distance on the row of 8 cm. In the normal irrigation environment (without stress), the time required for irrigation was based on weather conditions and the water requirement of the plant (sowing, before flowering, the beginning of flowering and seed filling) in four irrigation times so that the plant does not face drought stress, but in the drought stress environment, no irrigation was done from the beginning of flowering to the end of the growing season.

Results and discussion

The results of composite variance analysis (mean square) showed that the interaction between drought stress and variety on chlorophyll b, total chlorophyll, proline, soluble sugar, carotenoid, number of branches per plant and number of pods at a statistical level of 1% and on chlorophyll a and weight Seed dryness in the plant was significant at the five percent level. Comparison of the average interaction between drought stress and variety showed that Shadan variety and lines BPL4104, WRB1-3, FLIP03-07FB had the highest seed yield per hectare with 5100, 4950, 4750, 4633 kg respectively. Also, in the conditions of drought stress, FLIP03-07FB, WRB1-3 and Shadan varieties had the highest production

* Corresponding author: Mohammad Taghi Feyzbakhsh; E-Mail: feyz_54@yahoo.com

of 500, 473 and 437 kg of seed yield per hectare, respectively. In the normal environment, Shadan variety had the highest amount of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid at 1.53, 0.46, 0.2 and 0.58 mg g⁻¹ respectively, and the line FLIP03-07FB with 9.47 µmol ml⁻² had the most proline and line S2008,033 with the amount of 1.16 mg per gram had the most soluble sugar. The highest number of seeds per pod (3.28) was obtained in normal environment and the lowest number of seeds per pod (0.303) was obtained in drought stress environment. Identifying drought-resistant cultivars at the end of the season is one of the strategies for developing faba bean cultivation in the country. Drought stress during flowering and pod formation reduces the transport of photosynthetic materials, resulting in grain shrinkage, reduced grain weight, and reduced grain yield, while lack of stress during the flowering stage increases the length of the grain filling period, increases grain weight, and grain yield.

Conclusion

According to the results, it can be stated that drought stress in the flowering and seed filling stage caused a decrease in seed yield and an increase in carotenoid, proline and soluble sugar levels in all cultivars. Shadan variety and lines WRB1-3 and FLIP03-07FB had the highest seed yield in both environments. Therefore, the cultivation and development of two new lines are suggested after carrying out compatibility tests in different regions of the country and achieving the stability of seed yield.

Keywords: Carotenoid, Chlorophyll, Drought, Proline, Soluble sugar

اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی لاین‌های جدید باقلا

حمید اسمعیلی‌خان به‌بین^۱، محمدرضا داداشی^۲، محمدتقی فیض‌بخش^{۳*}، فاطمه شیخ^۴، علی نخ‌زری‌مقدم^۴

۱. دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی (فیزیولوژی گیاهان زراعی)، گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

۲. دانشیار گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان

۳. دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

۴. دانشیار و عضو هیئت‌علمی گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	به‌منظور ارزیابی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی لاین‌های جدید باقلا آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. در این بررسی ۹ لاین کم‌تانه باقلا به همراه دو رقم شاهد مهتا و شادان در دو محیط تنش خشکی و آبیاری نرمال مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر صفات کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، قند محلول، کاروتنوئید، تعداد شاخه در بوته و تعداد غلاف در سطح یک درصد و بر صفات کلروفیل a و وزن خشک دانه در بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد در محیط نرمال رقم شادان و لاین‌های BPL4104، WRB1-3 به ترتیب با ۵۱۰۰، ۴۹۵۰، ۴۷۵۰ کیلوگرم، بیشترین عملکرد دانه را در هکتار داشتند. همچنین در شرایط تنش خشکی لاین‌های FLIP03-07FB، WRB1-3 و رقم شادان به ترتیب به مقدار ۵۰۰، ۴۷۳ و ۴۳۷ کیلوگرم عملکرد دانه بیشتر را در هکتار داشتند. در محیط نرمال به ترتیب رقم شادان به میزان ۱/۵۳، ۰/۴۶ و ۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم برگرم بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید را داشتند و لاین FLIP03-07FB با ۹/۴۷ میکرومول بر میلی‌لیتر بیشترین پرولین و لاین S2008,033 به مقدار ۱۶/۱ میلی‌گرم برگرم بیشترین قند محلول را دارا بودند. بیشترین تعداد دانه در غلاف (۳/۲۸) در محیط نرمال و کمترین تعداد دانه در غلاف (۰/۳۰۳) در محیط تنش خشکی به‌دست آمد. تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه باعث کاهش عملکرد دانه و افزایش مقادیر کاروتنوئید، پرولین و قند محلول در همه ارقام گردید. لاین‌های WRB1-3 و FLIP03-07FB در دو محیط بیشترین عملکرد دانه را داشتند، بنابراین کشت و توسعه آنها پس از حصول پایداری عملکرد دانه پیشنهاد می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴	
تاریخ انتشار:	
تابستان ۱۴۰۴	
۲۸۳-۲۹۸ (۲): ۱۸	

مقدمه

آب به دلیل وظایف حیاتی و نقش بسیار مهمی که در رشد و نمو گیاه بر عهده دارد، مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید رشد و نمو گیاهان زراعی است (Mortazavi et al., 2016). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vendruscolo et al., 2007). تنش خشکی از طریق عوامل محدودکننده روزه‌ای (کاهش هدایت روزه‌ای)

باقلا (*Vicia faba* L.) دارای ارزش غذایی بالایی است (فسفر، کلسیم، آهن و حدود ۲۰-۲۵ درصد پروتئین) و در تناوب، الگوی کشت و سبب غذایی خانوار جایگاه ویژه‌ای دارد (Sheikh and Feyzbakhsh, 2019). کشت باقلا در حفظ پایداری نظام‌های کشاورزی و تثبیت زیستی نیتروژن جوی از طریق همزیستی بسیار کارآمد است (Tadele, 2019; Karkanis et al., 2018).

محلول، سبب بالا رفتن پتانسیل اسمزی و جذب آب می‌گردد. محققین دریافتند که نقش اصلی کاروتنوئید جلوگیری از آسیب اکسیداتیو است درواقع کارتنوئیدها از طریق فروکش کردن سریع وضعیت برانگیخته کلروفیل حفاظت نوری را انجام می‌دهند. در شرایط تنش مقدار کاروتنوئید کاهش و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهند ولی کاهش آن نسبت به کلروفیل کمتر است و کاهش محتوای کاروتنوئید ظاهراً به دلیل اکسید شدن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آنها است. کارتنوئیدها می‌توانند یکی از مواد تخفیف دهنده تنش خشکی و از طرفی باعث حفظ و تداوم بقای ساختار پیچیده کلروفیل و دستگاه فتوسنتز کننده باشند (Ziaei et al., 2016). گیاهان در تنش خشکی، با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی از طریق تولید بیشتر انواع مختلف مواد آلی مانند پرولین، بتائین و قندهای محلول، در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی با تنش مقابله می‌کنند (Ahmad and Sharma, 2010).

تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و تسریع پیری برگ، تولید ماده خشک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد را کاهش می‌دهد (Vendruscolo et al., 2007). تنش خشکی با تأثیر بر فتوسنتز گیاه باعث کاهش عملکرد دانه شد (Nakhzari Moghaddam et al., 2019). در آزمایشی که محققین ۱۰ رقم سویا را تحت تأثیر سه سطح تنش خشکی (آبیاری نرمال، تنش متوسط و تنش شدید) قرار دادند، دریافتند که تنش در مرحله گل‌دهی سبب ریزش گل، کاهش وزن دانه، تعداد دانه، تعداد غلاف، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی شد (Nawabpour et al., 2016). اشراقی نژاد و همکاران (Eshraqinejad et al., 2021) طی آزمایشی دریافتند تنش خشکی سبب کاهش و آبیاری سبب افزایش ارتفاع بوته شد درواقع کاهش پتانسیل آب بافت مرستمی در طول روز موجب نقصان پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود. محققین در آزمایشی، ۱۶ ژنوتیپ باقلا را تحت تأثیر محیط آبیاری نرمال و محیط تنش خشکی قرار دادند و دریافتند که آب‌وهوای مرطوب برای رشد باقلا مناسب و مهم‌ترین مرحله برای آبیاری در این گیاه هنگام گلدهی تا اواسط غلاف‌بندی است (Boshagh et al., 2018).

عملکرد دانه حبوبات به اجزای عملکرد آن از قبیل تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه بستگی دارد (Bakry et al., 2011). آبیاری بر تعداد

و غیر روزنه‌ای (کاهش یا سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها) فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد. زمانی که گیاهان در شرایط تنش قرار می‌گیرند جهت سازگاری با این شرایط تغییرات فیزیولوژیکی، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی در آنها به وجود می‌آید (Loreto and Centritto, 2008). در آزمایشی که تیمار تنش خشکی دارای سه سطح (آبیاری مطلوب، تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید) بود، با افزایش تنش خشکی شدید از مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید کاسته شد. کمبود خفیف آب باعث افزایش میزان کارتنوئیدها و کمبود شدید آب موجب کم شدن میزان کارتنوئیدها شد. تنش خشکی با کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث کاهش عملکرد دانه شد (Nakhzari Moghaddam et al., 2019). در آزمایشی که پنج رقم ماش تحت تأثیر سه سطح تنش خشکی (۴۰-، ۶۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی) قرار گرفت، نتایج برهمکنش تنش خشکی و رقم بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ماش معنی‌دار شد و با افزایش شدت تنش خشکی (از ۸۰ به ۴۰ درصد) میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) کاهش و سبب از بین رفتن ساختار سلولی و اخلاص در آنزیم‌های سلولی از جمله کلروفیل که عامل اصلی در فرایند فتوسنتز و در نتیجه کاهش آسیمیلات سازی است گردید (Ziaei et al., 2016). پرولین باعث سازگاری سلول با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌های موجود در سیتوزول و ساختارهای سلولی می‌شود؛ بنابراین پرولین سبب بقاء گیاه در شرایط تنش و تولید عملکرد مناسب خواهد شد تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت گرفتن تنش به مقدار آن افزوده شد و کمترین مقدار پرولین در شرایط مطلوب آبیاری به دست آمد (Boush et al., 2022; Sotoodeh et al., 2022). محققین طی آزمایشی ده ژنوتیپ باقلا را تحت تأثیر چهار سطح تنش خشکی (آبیاری نرمال، تنش خفیف، تنش متوسط و تنش شدید) قرار دادند و دریافتند با افزایش تنش خشکی از حالت (خفیف به شدید) میزان پرولین و قندهای محلول افزایش یافت (Siddiqui et al., 2015).

آبید و همکاران (Abid et al., 2017) یازده رقم باقلا را در سه سطح تنش خشکی (۹۰-، ۵۰-، ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که با افزایش تنش خشکی از ۹۰ به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی میزان قند محلول و پرولین افزایش یافت. تنش خشکی با افزایش قندهای

کشاورزی و منابع طبیعی گلستان انتخاب (جدول ۲) و در تاریخ (۲۵ آبان) کشت شد. هر واحد آزمایشی در چهار خط به فاصله ۶۰ سانتی‌متر به طول ۶ متر و فاصله بوته روی ردیف ۸ سانتی‌متر بود. در محیط نرمال (شرایط بدون تنش) در زمان لازم بر اساس شرایط آب‌وهوایی و نیاز آبی گیاه (کاشت، قبل از گلدهی، آغاز گلدهی و پر شدن دانه) در چهار نوبت آبیاری انجام شد تا گیاه با تنش خشکی مواجه نشود ولی در محیط تنش خشکی از مرحله شروع گلدهی (پانزدهم اسفند) تا پایان فصل رشد هیچ‌گونه آبیاری انجام نشد. اطراف تیمار تنش خشکی داربست چوبی تعبیه شد و با توجه به پیش‌بینی هواشناسی بلافاصله قبل از بارندگی نایلون روی داربست کشیده شد تا آب باران وارد محیط تنش خشکی نشود. کود پایه بر اساس آزمون خاک شامل سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود اوره (به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت (۲۵ آبان) به خاک اضافه شد (جدول ۱).

قبل از اجرای آزمایش به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش، از عمق‌های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها در آزمایشگاه خاک وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان تجزیه گردید (جدول ۱). بر اساس نتایج این آزمون، نوع بافت خاک سیلتی رسی لومی بود.

از زمان کاشت تا برداشت ضمن عملیات زراعی، یادداشت‌برداری‌های لازم در مراحل مختلف رشد و نمو انجام شد. عملیات زراعی کاشت، کنترل علف هرز و آفات در همه تیمارها یکسان انجام شد. جدول شماره (۳) پارامترهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی گرگان در طول فصل رشد، در طی سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ را نشان می‌دهد.

در مرحله گلدهی ۳۰ گرم برگ از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب گردید و سپس همین نمونه به آزمایشگاه دانشگاه کشاورزی گنبدکاوس ارسال و با دستگاه اسپکتروفتومتر (VIS/UV) و به روش اسپکتروفتومتری مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، قند محلول و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد.

شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه در سطح یک درصد و بر عملکرد ماده خشک دانه سویا در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (Mobini et al., 2016). محدودیت رطوبت (تنش خشکی) در زمان گل‌دهی، غلاف‌دهی و دانه‌بندی، منجر به کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه و کاهش وزن دانه و عدم تنش در مرحله گل‌دهی باعث افزایش طول دوره پر شدن دانه و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه و افزایش وزن دانه و عملکرد دانه می‌شود (Kumar et al., 2004). نتایج آزمایش حسنوند و همکاران (Hasanvand et al., 2014) بر روی دو رقم باقلا نشان داد که اثر متقابل تنش و رقم بر وزن دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و به‌طور عمده وزن دانه متأثر از اندازه مخزن و قدرت مخزن است در نتیجه مواجه‌شدن بوته‌ها در دوره پر شدن دانه با تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه شد. محققان طی تحقیقات بر روی گیاه نخود دریافتند کمترین عملکرد دانه در تنش خشکی در مرحله غلاف‌بندی و دانه-بندی حاصل شد. وجود شرایط رطوبتی مناسب در اول فصل (عدم تنش) و عدم برخورد به خشکی انتهای فصل منجر به افزایش تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته شد (Hashemi khabir et al., 2010).

با توجه به مطالب یادشده و افزایش اثرات خشک‌سالی بر روی تولید محصولات زراعی از جمله باقلا، پژوهش حاضر با هدف شناسایی لاین یا رقم مناسب باقلا تحت تنش خشکی در شرایط آب‌وهوایی گرگان انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان (عراقی محله) در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا شد. در این بررسی کرت‌های فرعی شامل، ۹ لاین کم تانن باقلا به همراه دو رقم شاهد مهتا (کم تانن) و شادان (دارای تانن) در دو شرایط مجزا، محیط تنش خشکی (قطع آبیاری بعد از مرحله گلدهی) و محیط آبیاری مطلوب به‌عنوان (کرت‌های اصلی) به‌صورت آزمایش اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار از نظر کمی و کیفی دانه مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. لاین‌های مورد بررسی در این آزمایش از لاین‌های برتر آزمایش‌های مقدماتی باقلا در مرکز تحقیقات و آموزش،

جدول ۱. مشخصات نمونه خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر)

Table 1. Characteristics of the soil sample at the test site (depth 0-20, 20-40 and 40-60 cm).

مشخصات خاک Soil characteristics		Sampling depth (cm)		
		0-20	20-40	40-60
EC	هدایت الکتریکی dS m ⁻¹	1.35	1.27	1.42
pH	اسیدیته	7.2	7.3	7.3
OC	کربن آلی %	1.5	1.1	0.6
Total Nitrogen	نیتروژن کل %	0.15	0.11	0.06
P	فسفر قابل جذب mg.kg ⁻¹	8.6	4.8	2
K	پتاسیم قابل جذب mg.kg ⁻¹	333	220	108
Clay	درصد رس %	28	30	34
Silt	درصد سیلت %	54	52	52
Sand	درصد شن %	18	18	14
Soil texture	بافت خاک	Silty clay loam سیلتی رسی لومی		

میزان قندهای محلول برگ با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز مشخص و برحسب میلی گرم بر گرم گزارش گردید. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دو ردیف حاشیه و یک متر از ابتدا و انتهای دو ردیف وسط حذف و عملکرد دانه تعیین شد و همچنین در این مرحله ۱۰ بوته به عنوان نمونه انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن خشک دانه در بوته اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.1 انجام و مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام و ترسیم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات موردبررسی نشان داد که اثرات تنش خشکی بر پرولین، قند محلول، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه در سطح آماری یک درصد و بر کلروفیل b، تعداد شاخه و تعداد غلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و اثرات تنش خشکی بر روی کلروفیل a، کلروفیل کل، کاروتنوئید و ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. اثرات رقم بر روی همه صفات موردبررسی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، قند محلول، کاروتنوئید، ارتفاع بوته، تعداد غلاف و عملکرد دانه) به جز تعداد شاخه و تعداد دانه در غلاف در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش تنش خشکی × رقم نیز بر روی همه صفات موردبررسی به جز ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۲. شجره ارقام و لاین‌های موردبررسی

Table 2. Pedigree of investigated cultivars and lines

شماره لاین Line number	شجره Pedigree	منشأ Origin
1	S2008-96	ایکادا
2	ILB1266*ZV1269-1509-39	ایکادا
3	S2008-034	ایکادا
4	BPL4104	ایکادا
5	WRB1-3	ایکادا
6	S2009-167	ایکادا
7	*S2008-033	ایکادا
8	FLIP03-07FB	ایکادا
9	WRB1-5	ایکادا
10	Mahta	ایران
11	Shadan	ایران

برای تعیین مقدار پرولین روش بتیس و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد. غلظت پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد برحسب میلی گرم برگ بافت تازه، تعیین شد. محتوای کلروفیل a, b و کاروتنوئید برگ نیز به روش لیچ‌تینت‌لر و بوسچ منن (Lichtenthaler and Buschmann, 2001) اندازه‌گیری شد. مقادیر جذب کلروفیل a، b و کاروتنوئید، به ترتیب در طول موج ۴۸۰، ۶۴۵، ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. محتوای قندهای محلول برگ بر اساس روش فنل اسیدسولفوریک تعیین شد (Irigoyen et al., 1992). نمونه‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد.

جدول ۳. میانگین دمای ماهانه حداقل، حداکثر و مجموع بارندگی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مقایسه با آمار ۲۰ ساله در گرگان (منبع: اداره کل هواشناسی استان گلستان، ایستگاه هواشناسی گرگان).

Table 3. Average monthly temperature of minimum, maximum and total rainfall in crop year 1402-1401 compared to 20-year statistics in Gorgan (source: General Department of Meteorology of Golestan Province - Gorgan Meteorological Station).

Month	ماه	مجموع بارندگی total rainfall (mm)	میانگین Average	میانگین حداکثر دما Average maximum Temperature (C°)	میانگین حداقل دما Average minimum temperature (C°)
		1401-1402	20 ساله	1401-1402	20 ساله
August	آبان	88.3	54.5	21.5	10.1
July	آذر	57.3	51.4	16.1	5.5
December	دی	21	45.5	12.9	3.1
November	بهمن	53.1	50.9	12.7	2.7
October	اسفند	18.2	56.1	20.7	4.7
March	فروردین	59.2	46.8	22.6	8.5
February	اردیبهشت	87.3	51.6	27.1	13.6
January	خرداد	63.6	22.2	24.4	18.4
Total	مجموع	448	379	--	--

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کلروفیل a در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که بیشترین عملکرد کلروفیل a (۱/۵۳) میلی‌گرم بر گرم) در محیط نرمال مربوط به رقم شادان و کمترین مقدار کلروفیل a متعلق به لاین S2008-033 و رقم مهتا بود. لاین‌های WRB1-3 و WRB1-5 به ترتیب با مقدار ۳۶/۱ و ۳۲/۱ میلی‌گرم بر گرم در مرتبه بعدی بیشترین مقدار کلروفیل a و در یک گروه آماری قرار داشتند. همچنین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a در محیط تنش (۱/۴۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به رقم شادان و لاین‌های WRB1-5 و S2008-033 به ترتیب با ۱/۴۲ و ۱/۴۲ میلی‌گرم بر گرم در مرتبه بعدی و در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار کلروفیل a (۰/۸۵) میلی‌گرم بر گرم) مربوط به رقم مهتا بود (جدول ۵). کلروفیل a رنگیزه مرکزی فتوسنتز و تأثیر شدت تنش خشکی بر روی آن بیشتر است. کاهش در مقدار کلروفیل به‌ویژه کلروفیل a با افزایش شدت تنش به علت تخریب بیشتر کلروفیل نسبت به سنتز آن است (Sarani et al, 2022). محققین کاهش محتوای کلروفیل را تحت تنش خشکی بررسی کردند و دریافتند با افزایش تنش خشکی از مقدار کلروفیل a کاسته شد (Majnoon Hosseini et al., 2021) نتایج تحقیقات کامروا و همکاران (Kamrava et al., 2017) نشان داد که

تنش خشکی موجب کاهش متغیرهای کلروفیل و محتوای کلروفیل a شد.

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کلروفیل b در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که در محیط نرمال بیشترین مقدار کلروفیل b (۰/۴۶ میلی‌گرم بر گرم) از رقم شادان و کمترین مقدار کلروفیل b (۰/۱۱ میلی‌گرم بر گرم) از رقم مهتا به دست آمد و لاین‌های BPL4104 و WRB1-5 به ترتیب با ۰/۳۷ و ۰/۳۶ میلی‌گرم بر گرم در رتبه بعدی قرار داشتند. همچنین مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که کمترین میزان کلروفیل b در محیط تنش خشکی (۰/۳۳) میلی‌گرم بر گرم) از رقم مهتا و بیشترین کلروفیل b (۰/۶۹) میلی‌گرم بر گرم) لاین S2008-033 بود و لاین‌های S2008-96 و WRB1-5 به ترتیب با ۰/۶۶ و ۰/۶۲ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی و در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۵). برخی محققین بیان کردند که اثر تنش خشکی و رقم بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی معنی‌دار است و با افزایش شدت تنش خشکی میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل b) به دلیل آسیب به کلروپلاست توسط گونه‌های فعال اکسیژن کاهش یافت (Majnoon Hosseini et al., 2021; Ziaei et al., 2016). نتایج تحقیق کامروا و همکاران (Kamrava

(et al., 2017) نشان داد تنش خشکی موجب کاهش کلروفیل b شد.

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کلروفیل کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که در محیط نرمال بیشترین کلروفیل کل (۲ میلی‌گرم بر گرم) در

رقم شادان و کمترین میزان کلروفیل کل (۰/۸۷ میلی‌گرم بر گرم) به لاین S2008-033 تعلق داشت. لاین‌های WRB1-5، WRB1-3 و BPL4104 به ترتیب با ۱/۶۸، ۱/۶۵ و ۱/۶۳ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. همچنین برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کلروفیل کل نشان داد که در محیط تنش خشکی بیشترین کلروفیل کل (۲/۱۱ میلی‌گرم بر گرم) به لاین S2008-033 و کمترین کلروفیل کل (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم) به رقم مهتا تعلق داشت. لاین‌های WRB1-5 و S2009-167 به ترتیب با (۲ و ۱/۹۲

جدول ۴. میانگین مربعات تأثیر محیط تنش خشکی، رقم و برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پرولین، قند محلول، کاروتنوئید، ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه

Table 4. The mean square effect of drought stress environment, cultivar and interaction of drought stress × cultivar on chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, proline, soluble sugar, carotenoids, plant height, number of branches, number of pods, number of seeds per pod and seed yield

S.O.V	نتایج تغییرات	df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	پرولین Proline	قند محلول soluble sugar	کاروتنوئید Carotenoid
replication	تکرار	2	0.266 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.281 ^{ns}	5.245 ^{ns}	1.902 ^{ns}	0.008 ^{ns}
Drought Stress (D)	تنش خشکی	1	0.261 ^{ns}	1.123*	2.46 ^{ns}	6535.16**	793.5**	0.156 ^{ns}
Error1	خطای ۱	2	0.281	0.047	0.473	21.53	1.086	0.015
Cultivar (C)	رقم	10	0.180**	0.031**	0.326**	194.84**	41.77**	0.021**
D × C	رقم × تنش خشکی	10	0.065*	0.040**	0.171**	179.33**	30.15**	0.013**
Error2	خطای ۲	40	0.025	0.004	0.025	3.418	1.045	0.001
CV%	ضریب تغییرات		13.07	14.4	9.71	11.76	5.95	6.67

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

S.O.V	نتایج تغییرات	df	ارتفاع بوته plant height	تعداد شاخه Number of branches	تعداد غلاف number of pods	دانه در غلاف Seeds in pods	عملکرد دانه Grain yield
replication	تکرار	2	69.78 ^{ns}	0.084 ^{ns}	17.55 ^{ns}	3.705 ^{ns}	627025.504 ^{ns}
Drought Stress (D)	تنش خشکی	1	4758 ^{ns}	20.3*	1000*	14694.4**	253851452.18**
Error1	خطای ۱	2	1081	0.875	18.5	4.15	845126.26
Cultivar (C)	رقم	10	256**	0.39 ^{ns}	16.57**	5.13 ^{ns}	531730.39**
D × C	رقم × تنش خشکی	10	54.82 ^{ns}	0.715**	9.072**	4.03 ^{ns}	412594.33*
Error2	خطای ۲	40	38.55	0.252	2.852	6.04	154425.04
CV%	ضریب تغییرات		7.28	14.99	17.16	13.68	16.63

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

پروکلین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر پروکلین در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که در محیط نرمال بیشترین مقدار پروکلین (۹/۴۷ میکرومول بر میلی‌لیتر) در لاین FLIP03-07FB و کمترین مقدار پروکلین (۲/۶۱ میکرومول بر میلی‌لیتر) به رقم مهتا تعلق داشت. لاین‌های S2008-034، ILB1266*zv1269 و BPL4104 به ترتیب با ۸/۵۷، ۸/۵ و ۶/۷۴ میکرومول بر میلی‌لیتر در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. همچنین برهمکنش

میلی‌گرم بر گرم) در مرتبه بعدی قرار داشتند (جدول ۵). مجنون حسینی و همکاران (Majnoon Hosseini et al., 2021) کاهش محتوای کلروفیل را تحت تنش خشکی در ژنوتیپ‌های لوبیا گزارش کردند و دریافتند با افزایش تنش خشکی از مقدار رنگیزه‌های کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل کاسته شد. ضیائی و همکاران (Ziaei et al., 2016) نیز بیان کردند که برهمکنش تنش خشکی و رقم بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ماش معنی‌دار شد و با افزایش شدت تنش خشکی میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل) کاهش یافت.

جدول ۵. مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری × رقم در دو محیط (نرمال و تنش خشکی) بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، پروکلین، قند محلول و کاروتنوئید.

Table 5. Comparison of the average interaction of irrigation × variety in two environments (normal and drought stress) on the traits of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, proline, soluble sugar and carotenoid.

محیط	ژنوتیپ (رقم)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
Environment	Genotype (cultivar)	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Carotenoids
mg g ⁻¹					
آبیاری نرمال Normal irrigation	s2008-96	1.1 ^{ef(bc)}	0.22 ^{ef(de)}	1.32 ^{defg(d)}	0.38 ^{bcd(c)}
	ilb1266*zv1269-1509-39	1.1 ^{ef(bc)}	0.28 ^{def(bcd)}	1.39 ^{bcddefg(cd)}	0.44 ^{abcd(c)}
	s2008-034	1.12 ^{ef(bc)}	0.26 ^{ef(de)}	1.38 ^{bcddefg(cd)}	0.43 ^{abcd(c)}
	BPL4104	1.26 ^{bcddef(abc)}	0.37 ^{abcddef(ab)}	1.63 ^{abcddef(bc)}	0.44 ^{abcd(c)}
	WRB1-3	1.36 ^{abcd(ab)}	0.28 ^{def(bcd)}	1.65 ^{abcddef(bc)}	0.45 ^{abcd(c)}
	S2009,167	1.19 ^{cdef(bc)}	0.25 ^{ef(cd)}	1.45 ^{abcddefg(bcd)}	0.38 ^{bcd(c)}
	S2008,033	0.72 ^{h(e)}	0.14 ^{f(e)}	0.87 ^{g(e)}	0.27 ^{d(d)}
	FLIP03-07FB	1.06 ^{fg(cd)}	0.31 ^{def(bcd)}	1.38 ^{cdefg(cd)}	0.44 ^{abcd(c)}
	WRB1-5	1.32 ^{abcde(abc)}	0.36 ^{bcddef(cd)}	1.68 ^{abcde(b)}	0.51 ^{abc(b)}
	Mahta	0.81 ^{h(de)}	0.11 ^{f(e)}	0.96 ^{fg(e)}	0.30 ^{d(d)}
	Shadan	1.53 ^{a(a)}	0.46 ^{abcde(a)}	2 ^{abc(a)}	0.58 ^{a(a)}
	s2008-96	1.17 ^{def(b)}	0.66 ^{ab(a)}	1.84 ^{abcde(ab)}	0.51 ^{abc(abc)}
	ilb1266*zv1269-1509-39	1.25 ^{bcddef(ab)}	0.45 ^{abcde(de)}	1.71 ^{abcde(b)}	0.45 ^{abcd(c)}
	s2008-034	1.2 ^{def(b)}	0.5 ^{abcde(cd)}	1.7 ^{abcde(b)}	0.51 ^{abc(abc)}
تنش خشکی (بعد از مرحله گلدهی) drought stress (after the flowering stage)	BPL4104	1.31 ^{abcddef(ab)}	0.59 ^{abcd(abc)}	1.9 ^{abcd(ab)}	0.56 ^{ab(ab)}
	WRB1-3	1.31 ^{abcddef(ab)}	0.59 ^{abcd(abc)}	1.9 ^{abcd(ab)}	0.53 ^{abc(abc)}
	S2009,167	1.3 ^{abcddef(ab)}	0.61 ^{abc(ab)}	1.92 ^{abcd(ab)}	0.57 ^{ab(ab)}
	S2008,033	1.42 ^{abc(ab)}	0.69 ^{a(a)}	2.11 ^{a(a)}	0.54 ^{abc(abc)}
	FLIP03-07FB	1.29 ^{abcddef(ab)}	0.53 ^{abcde(bcd)}	1.81 ^{abcde(ab)}	0.59 ^{a(a)}
	WRB1-5	1.42 ^{abc(ab)}	0.62 ^{abc(ab)}	2 ^{ab(a)}	0.56 ^{abc(abc)}
	Mahta	0.85 ^{gh(c)}	0.33 ^{cdef(f)}	1.18 ^{efg(c)}	0.37 ^{cd(d)}
	Shadan	1.46 ^{ab(a)}	0.37 ^{bcddef(ef)}	1.83 ^{abcde(ab)}	0.49 ^{abc(bc)}
LSD		0.26	0.33	0.68	0.18

Table 5. Continued

جدول ۵. ادامه

محیط Environment	ژنوتیپ (رقم) Genotype (cultivar)	پرولین Proline mmol. ml ⁻²	قند محلول Soluble sugar mg. g ⁻¹	تعداد شاخه Number of branches no.	تعداد غلاف number of pods	عملکرد Seed yield kg. ha ⁻¹
آبیاری نرمال Normal irrigation	s2008-96	3.71 ^{d(ef)}	11.75 ^{f(f)}	3.43 ^{defghi(cd)}	13 ^{bc(bcd)}	3733.3 ^{cde(cde)}
	ilb1266*zv1269-1509-39	8.5 ^{bcd(a)}	13.66 ^{def(d)}	3.83 ^{bcddef(bcd)}	11.53 ^{c(de)}	3666.6 ^{de(de)}
	s2008-034	8.57 ^{bcd(a)}	14.48 ^{def(bc)}	4 ^{bcd(abc)}	12 ^{bc(de)}	3433.3 ^{e(e)}
	BPL4104	6.74 ^{cd(b)}	15.5 ^{def(a)}	4.56 ^{ab(ab)}	16.57 ^{a(ab)}	4950 ^{ab(a)}
	WRB1-3	5.15 ^{cd(cd)}	13.77 ^{def(cd)}	4.86 ^{a(a)}	16 ^{a(abc)}	4750 ^{abc(ab)}
	S2009,167	2.96 ^{d(ef)}	14.74 ^{def(b)}	3.66 ^{cdefg(bcd)}	16.77 ^{a(ab)}	3900 ^{bcde(bcde)}
	S2008,033	4.12 ^{d(de)}	16.15 ^{cdef(a)}	3.9 ^{bcde(abcd)}	8.23 ^{d(e)}	4333.3 ^{abcde(abcde)}
	FLIP03-07FB	9.47 ^{bcd(a)}	14.21 ^{def(bcd)}	4.33 ^{abc(abc)}	17.20 ^{a(a)}	4633.3 ^{abcd(abc)}
	WRB1-5	6.6 ^{cd(b)}	11.22 ^{f(f)}	3.5 ^{cdefgh(cd)}	14.77 ^{ab(abcd)}	4483.3 ^{abcde(abcde)}
	Mahta	2.61 ^{d(f)}	12.82 ^{ef(e)}	2.93 ^{ghijk(d)}	12.67 ^{bc(cd)}	4583.3 ^{abcd(abcde)}
	Shadan	5.35 ^{cd(c)}	12.5 ^{f(e)}	3.9 ^{bcde(abcd)}	12.33 ^{bc(cd)}	5100 ^{a(a)}
	s2008-96	4.84 ^{d(e)}	21.68 ^{abcde(bc)}	2.66 ^{hijk(ab)}	4.76 ^{e(f)}	377.5 ^{f(cde)}
	ilb1266*zv1269-1509-39	40.12 ^{a(a)}	20.05 ^{abcde(fcd)}	2.43 ^{k(b)}	5 ^{e(ef)}	397.8 ^{f(bcd)}
	s2008-034	29.57 ^{ab(b)}	24.89 ^{abc(ab)}	2.6 ^{ijk(b)}	5 ^{e(ef)}	334.1 ^{f(de)}
تنش خشکی (بعد از مرحله گلدهی) drought stress (after the flowering stage)	BPL4104	22.5 ^{abcd(c)}	22.64 ^{abcd(bc)}	2.5 ^{ijk(b)}	7.33 ^{de(g)}	395.3 ^{f(bcd)}
	WRB1-3	30.4 ^{ab(b)}	25.44 ^{ab(ab)}	2.56 ^{jk(b)}	5.9 ^{de(bcdef)}	473.6 ^{f(ab)}
	S2009,167	26.96 ^{abc(b)}	28.4 ^{a(a)}	3.1 ^{efghijk(ab)}	5.23 ^{e(def)}	312.1 ^{f(e)}
	S2008,033	21.16 ^{abcd(c)}	16.11 ^{cdef(e)}	2.83 ^{ghijk(ab)}	5.56 ^{de(cdef)}	389.3 ^{f(cde)}
	FLIP03-07FB	22.4 ^{abcd(c)}	16.45 ^{bcdef(de)}	3 ^{fghijk(ab)}	7.23 ^{de(ab)}	500.1 ^{f(a)}
	WRB1-5	10.97 ^{bcd(d)}	14.04 ^{def(e)}	3.3 ^{defghij(a)}	6.66 ^{de(abc)}	412.5 ^{f(bcd)}
	Mahta	37.1 ^{a(a)}	15.53 ^{def(e)}	2.8 ^{hijk(ab)}	6.33 ^{de(abcde)}	390.5 ^{f(cde)}
	Shadan	36.69 ^{a(a)}	21.89 ^{abcd(bc)}	2.93 ^{ghijk(ab)}	6.4 ^{de(abcd)}	437.5 ^{f(abc)}
LSD		22.1	9.05	0.84	2.85	1060

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد. حروف داخل پرانتز مقایسه میانگین ها پس از برش دهی اثرات متقابل محیط تنش × رقم می‌باشد.

The numbers that have at least one letter in common in each column have no significant difference at the 5% level. The letters in parentheses are the comparison of the averages, the cross-section of the mutual effects of stress environment × figure.

ساختارهای سلولی می‌شود بنابراین پرولین سبب بقا گیاه در شرایط تنش و تولید عملکرد مناسب می‌شود (Boush et al., 2022). محققین بیان کردن با افزایش تنش خشکی مقدار پرولین افزایش و در شرایط نرمال آبیاری مقدار پرولین کاهش یافت (Sotoodeh et al., 2022; Nakhzari Moghaddam et al., 2019). نتایج تحقیقات نجاری و همکاران (Najari et al., 2023) و السید و همکاران (Elsayed et al., 2019) نشان داد که برهمکنش تنش خشکی و رقم بر پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود و گیاهان در شرایط تنش خشکی از طریق تجمع ترکیبات

تنش خشکی × رقم بر پرولین نشان داد که در محیط تنش خشکی بیشترین پرولین (۴۰/۱۲ میکرومول بر میلی‌لیتر) به لاین ILB1266*zv1269 و کمترین پرولین (۴/۸۴ میکرومول بر میلی‌لیتر) به لاین S2008-96 تعلق داشت. رقم مهتا، شادان و لاین WRB1-3 به ترتیب با ۳۶/۳۷، ۶۹/۱ و ۳۰/۴ میکرومول بر میلی‌لیتر) در مرتبه بعدی قرار داشتند (جدول ۵).

پرولین اسیدآمینه آزادی است که در پاسخ به تنش در سلول‌های گیاهی تجمع می‌یابد و باعث سازگاری سلول با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌های موجود در سیتوزول و

اسمزی ازجمله کربوهیدرات محلول و پرولین پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و تنظیم اسمزی انجام می‌شود.

قند محلول

نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر قند محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم در محیط نرمال نشان داد که بیشترین مقدار قند محلول (۱۶/۱۵ میلی‌گرم بر گرم) در لاین S2008-033 و کمترین مقدار قند محلول (۱۱/۲۲ میلی‌گرم بر گرم) به لاین WRB1-5 تعلق داشت. لاین‌های BPL4104، S2008-034 و S2009-167 به ترتیب با ۱۴/۷۴، ۱۴/۴۸، ۱۵/۵ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. همچنین برهمکنش تنش خشکی × رقم بر قند محلول نشان داد که در محیط تنش خشکی × رقم بر قند محلول (۲۸/۴ میلی‌گرم بر گرم) به لاین S2009-167 و کمترین قند محلول (۱۴/۰۴ میلی‌گرم بر گرم) به لاین WRB1-5 تعلق داشت. لاین‌های BPL4104 و S2008-034 به ترتیب با (۲۴/۲۵، ۸۹/۴۴ و ۲۲/۶۴ میلی‌گرم بر گرم) در مرتبه بعدی قرار داشتند. نتایج نشان داد که میانگین قند محلول در محیط خشکی بیشتر از محیط نرمال بود (جدول ۵). آبی و همکاران (Abid et al., 2017) لاین‌های مختلف باقلا را از نظر برخی صفات بیوشیمیایی بررسی کردند و دریافتند با افزایش تنش خشکی میزان قندهای محلول افزایش و با آبیاری میزان قند محلول کاهش یافت. برهمکنش تنش خشکی و رقم بر صفات قندهای محلول معنی‌دار شد. در رطوبت کافی، میزان قند محلول کاهش بیشتری داشت. افزایش غلظت قندهای محلول یک پاسخ معمول به شرایط تنش خشکی است، با تأمین رطوبت در آبیاری نرمال، پتانسیل اسمزی تنظیم است و پلی‌ساکاریدهای نامحلول به قندهای محلول تبدیل نمی‌شود. گیاهان با تجمع قندهای محلول (سوربیتول، بتائین، اسیدهای آلی، پرولین و گلیسین) پتانسیل آبی خود را کاهش می‌دهند (Taize and Zeiger, 2006).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم در محیط نرمال نشان داد که بیشترین مقدار کاروتنوئید

(۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم) در رقم شادان و کمترین مقدار کاروتنوئید (۰/۲۷ میلی‌گرم بر گرم) به لاین S2008-033 تعلق داشت. لاین‌های WRB1-5 و WRB1-3 به ترتیب با ۰/۵۱ و ۰/۴۵ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. همچنین برهمکنش تنش خشکی × رقم بر کاروتنوئید نشان داد که در محیط تنش خشکی بیشترین کاروتنوئید (۰/۵۹ میلی‌گرم بر گرم) به لاین FLIP03-07FB و کمترین کاروتنوئید (۰/۳۷ میلی‌گرم بر گرم) به رقم مهتا تعلق داشت. لاین‌های S2009-167، WRB1-5 و BPL4104 به ترتیب با (۰/۵۷، ۰/۵۶ و ۰/۵۶ میلی‌گرم بر گرم) در مرتبه بعدی قرار داشتند (جدول ۵). فاروق و همکاران (Farooq et al., 2009) بیان کردند که برهمکنش تنش خشکی و رقم بر کاروتنوئید در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و تنش خشکی با تولید گونه‌های فعال اکسیژن در تیلاکوئیدها باعث کاهش کاروتنوئید می‌گردد. ستوده و همکاران (Sotoodeh et al., 2022) و مددی و همکاران (Madadi and Fallah, 2018) نشان دادند که با افزایش تنش خشکی میزان رنگ‌دانه‌های کاروتنوئید (لیکوپن، بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها) کاهش پیدا کرد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین ارتفاع بوته در ارقام موردبررسی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۹۵/۷ سانتی‌متر) از لاین BPL4104 و کمترین ارتفاع بوته (۷۰/۳ سانتی‌متر) از لاین S2008-96 به‌دقت آمد (شکل ۱). حسنوند و همکاران (Hasanvand et al., 2014) بیان کردند که ارتفاع بوته تحت تأثیر رقم است. هرچند نتایج نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر برهمکنش آبیاری × رقم قرار نگرفت، ولی کاهش ارتفاع بوته در همه لاین‌ها مشاهده گردید. این احتمال وجود دارد که بوته حداکثر ارتفاع خود را تا قبل از گلدهی انجام داده و بعد از گلدهی آبیاری تأثیر چندانی بر ارتفاع گیاه نداشته است. محققین دریافتند که تنش خشکی سبب کاهش و آبیاری سبب افزایش ارتفاع بوته شد (Eshraqinejad et al., 2021).

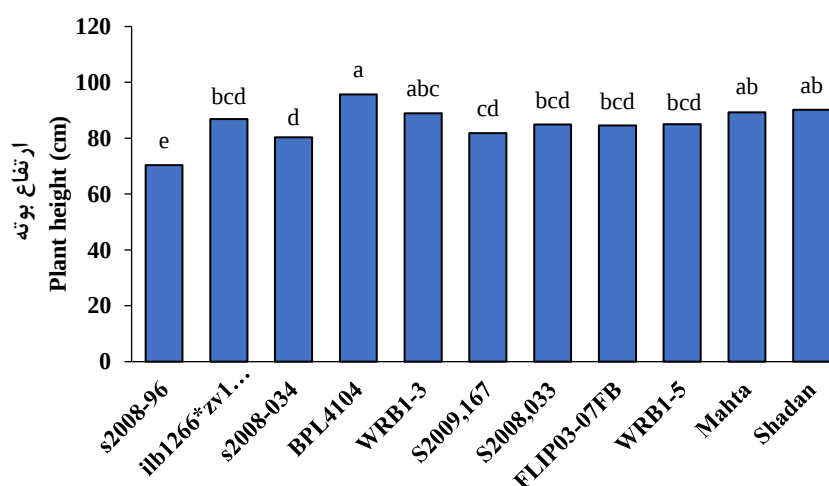
در بررسی لاین‌های مختلف باقلا تحت تأثیر تنش خشکی نیز، دریافتند با افزایش تنش خشکی، ارتفاع بوته و سطح برگ کاهش و با آبیاری ارتفاع بوته افزایش یافت (Siddiqui et al., 2015). تنش خشکی، سبب تقلیل بیشتر آماس سلولی،

برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که در محیط تنش خشکی لاین WRB1-5 بیشترین تعداد شاخه (۳/۳) و لاین ILB1266*ZV1269-1509-39 کمترین تعداد شاخه (۲/۴۳) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). جمالی و همکاران (Jamali et al., 2021) بیان کردند که آبیاری سبب افزایش و تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه جانبی شد. ضیایی و همکاران (Ziaei et al., 2016) نیز دریافتند که تعداد شاخه جانبی تحت تأثیر برهمکنش آبیاری × رقم معنی‌دار بود و آبیاری سبب افزایش و تنش خشکی سبب کاهش تعداد شاخه جانبی شد. همچنین تنش خشکی در اثر کاهش طول دوره رشد رویشی سبب کاهش تعداد شاخه و طول شاخه جانبی شد (Nawabpour et al., 2016).

کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها، کاهش تقسیم سلولی، کاهش فتوسنتز و در نهایت سبب کاهش ارتفاع بوته شد (Behrouzi et al., 2021).

تعداد شاخه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر تعداد شاخه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که در محیط نرمال لاین WRB1-3 بیشترین تعداد شاخه (۴/۸۶) و لاین‌های BPL4104 و FLIP03-07FB به ترتیب با ۴/۵۶ و ۴/۳۳ در مرتبه بعدی قرار گرفتند و کمترین تعداد شاخه (۲/۹۳) در محیط نرمال به رقم مهتا تعلق داشت.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر رقم بر ارتفاع بوته (اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است).

Fig. 1. Comparison of the average effect of variety on plant height (Numbers that have at least one letter in common in each column have no significant difference at the 0/05 level).

BPL4104 بود و لاین‌های FLIP03-07FB و WRB1-5 و ارقام شادان و مهتا در مرتبه بعدی قرار داشتند. افزایش تعداد غلاف در اثر آبیاری بین ارقام مختلف باقلا معنی‌دار بود و آبیاری سبب افزایش تعداد غلاف و وقوع تنش خشکی در اوایل نمو زایشی سبب کاهش تعداد غلاف گردید (Memari et al., 2021). کاهش تعداد غلاف در اثر تنش خشکی به واسطه تأثیر بر سنتز و توزیع مواد فتوسنتزی اتفاق می‌افتد. تنش سبب ریزش گل، غلاف و کاهش گل‌های بارور شد و در این حالت تعداد غلاف کاهش یافت (Ghaedi et al., 2020). تنش خشکی در مرحله گل‌دهی بیشترین کاهش تعداد غلاف را نشان داد و در مرحله رشد غلاف نیز، تعداد غلاف‌ها را

تعداد غلاف

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر تعداد غلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم بر روی تعداد غلاف نشان داد که بیشترین تعداد غلاف (۱۷/۲) در محیط نرمال مربوط به لاین FLIP03-07FB و کمترین تعداد غلاف (۸/۲۳) متعلق به لاین S2008-033 بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد لاین FLIP03-07FB نسبت به لاین‌های دیگر در شرایط آبیاری تعداد غلاف بیشتری تولید کرده و ریزش غلاف‌ها نیز در این لاین کمتر بوده است. در محیط تنش خشکی بیشترین غلاف (۷/۳۳) متعلق به لاین

به سبب ریزش گل‌ها و غلاف‌ها، منجر به کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. محققان طی تحقیقات دریافته‌اند که بیشترین کاهش تعداد دانه در زمان گلدهی است و دلیل کاهش آن عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای جنین و تکامل بذر است. در شرایط تنش خشکی، رشد زایشی به اتکای ذخایر برگ و ساقه انجام و عدم تشکیل دانه به دلیل ناکافی بودن مواد فتوسنتزی در زمان گرده‌افشانی، پر شدن دانه و یا پیش از آن است (Behrouzi et al., 2021; Piri et al., 2018). مقایسه میانگین اثر آبیاری بر ارقام لوبیا نشان داد که آبیاری سبب افزایش تعداد دانه در غلاف و تنش سبب کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. در شرایط تنش از میزان مواد فتوسنتزی کاسته شده در نتیجه منجر به عدم رشد بذر و کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود (Farooq et al., 2009).

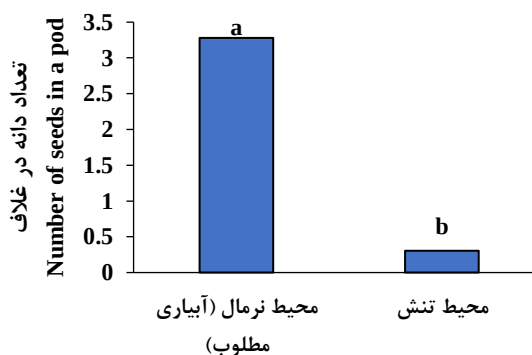
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که برهمکنش تنش خشکی × رقم بر عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). وزن دانه یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه باقلا محسوب می‌شود. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۵۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در محیط نرمال مربوط به رقم شادان و کمترین مقدار عملکرد دانه متعلق به لاین S2008-034 بود به نظر می‌رسد آبیاری سبب افزایش سبزینه گیاه در نتیجه افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌شود. لاین‌های BPL4104 و WRB1-3 به ترتیب با مقدار ۴۹۵۰ و ۴۷۵۰ کیلوگرم در هکتار در مرتبه بعدی بیشترین مقدار عملکرد دانه و در یک گروه آماری قرار داشتند. همچنین برهمکنش تنش خشکی × رقم نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در محیط تنش (۵۰۰/۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به لاین FLIP03-07FB و لاین WRB1-3 و رقم شادان به ترتیب با ۴۷۳/۶ و ۴۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار در مرتبه بعدی و در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار عملکرد دانه (۳۱۲/۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به لاین S2009-167 بود (جدول ۵). نتایج مطالعات نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد دانه و وزن خشک دانه نسبت به شرایط آبیاری نرمال گردید. تنش خشکی در زمان گل‌دهی و غلاف‌دهی موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن دانه، کاهش وزن دانه و کاهش عملکرد

تحت تأثیر قرار داد. تنش خشکی به سبب کاهش طول دوره رشد رویشی و ورود سریع به مرحله زایشی منجر به کاهش تعداد غلاف شد (Boshagh et al., 2018).

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی بر تعداد دانه در غلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف (۳/۲۸) به محیط نرمال تعلق داشت. تعداد دانه بیشتر در غلاف به دلیل تعداد غلاف بیشتر در محیط نرمال آبیاری (به دلیل ریزش کمتر گل و غلاف) بود و حداقل تعداد دانه در غلاف به تعداد (۰/۳۰۳) متعلق به محیط تنش خشکی بود. تنش خشکی سبب ریزش غلاف‌ها شده در نتیجه تعداد دانه نیز در بوته کاهش پیدا کرد (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه میانگین محیط تنش خشکی و محیط آبیاری نرمال بر تعداد دانه در غلاف. اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Fig. 2. Comparison of average drought stress environment and normal irrigation environment on number of seeds in pod (Numbers that have at least one letter in common in each column have no significant difference at the 0/05 level).

تنش خشکی در مرحله رشد غلاف، تعداد غلاف‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد در حالی که تنش در مراحل بعدی بر تعداد دانه در غلاف اثر دارد و سبب کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. تنش سبب کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد رویشی می‌شود و با عبور سریع از مرحله رویشی به زایشی، تعداد دانه در بوته کاهش و سبب کاهش عملکرد دانه شد (Nawabpour et al., 2016). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2018) بیان کردند که تنش خشکی در مراحل اولیه گلدهی، غلاف بندی (زایشی) و تشکیل اولیه بذر

دانه، کاهش وزن دانه و کاهش عملکرد دانه و عدم تنش در مرحله گل‌دهی باعث افزایش طول دوره پر شدن دانه، افزایش وزن دانه و عملکرد دانه می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیق رقم شادان و لاین‌های WRB1-3 و FLIP03-07FB در هر دو محیط بیشترین عملکرد دانه را داشتند بنابراین کشت و توسعه آن‌ها پس از انجام آزمایش‌های سازگاری در مناطق مختلف کشور و حصول از پایداری عملکرد دانه پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان و هم‌چنین مدیریت و کارکنان ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان برای فراهم کردن امکانات موردنیاز و همکاری در اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

دانه و عدم تنش در مرحله گل‌دهی باعث افزایش طول دوره پر شدن دانه و انتقال مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها (سرعت پر شدن دانه) و سبب افزایش وزن دانه و عملکرد دانه می‌شود (Kumar et al., 2004; Memari et al., 2021). کاهش وزن دانه در اثر بروز تنش خشکی به دلیل کمبود آب و مواد غذایی در مرحله پر شدن دانه‌ها منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Hasanvand et al., 2014; Hashemi khabir et al., 2010).

نتیجه‌گیری نهایی

تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد می‌گردد. شناسایی ارقام مقاوم به خشکی انتهای فصل یکی از راهکارهای توسعه کشت باقلا در کشور است. تنش خشکی در زمان گل‌دهی و غلاف‌دهی موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه چروک شدن

منابع

- Abid, G.H., Hessini, K., Aouida, M., Aroua, I., Baudoin, J.P., Yordan Muhovski, Y., Mergeai, G., Sassi, K.H., Machraoui, M., Souissi, F., Jebara, M., 2017. Agro-physiological and biochemical responses of faba bean (*Vicia faba* L. var. 'minor') genotypes to water deficit stress. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*. 21(2), 146-159. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13579>
- Ahmad, P., Sharma, S., 2010. Physiobiochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO_3 stress. *International Journal of Plant Production*. 4(2), 79- 86. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.685>
- Bakry, B.A., Elewa, T.A.E.L., Karamany, M.F., Zeidan, M.S., Tawfik, M.M., 2011. Effect of row spacing on yield and its components of some Faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. *World Journal of Agriculture Science*. 7(1), 68-72. <https://www.researchgate.net/publication/266566236>
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant and Soil*. 39, 205-208. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Behrouzi, D., Dayant, M., Majidi, A., Mirhadi, M.J., Shirkhani, A., 2021. Effect of deficit irrigation, fertilizers and vermicompost on forage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement*. 24(4), 1071-1084. [In Persian]. <http://doi.org/10.22059/jci.2021.328509.2594>
- Boshagh, B., Astraki, H., Pezashkipour, P., 2018. Evaluation of faba bean genotypes using drought tolerance indices and multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*. 10(27), 1-9. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.10.27.1>
- Boush, M., Banejad, M., Goldani, H.M., Metanat, M., 2022. Evaluation of the effect of different wastewater qualities on some biochemical and morphological traits of tomato plant under deficit irrigation. *Iranian Water Research Journal*. 15(4), 117-135. <https://doi.org/10.22034/IWRJ.2021.11172>
- Elsayed, A.I., Elhamahmy, M.A.M., Rafudeen, M., Mohamed, A.H., Omar, A.A., 2019. The impact of drought stress on antioxidant responses and accumulation of flavonolignans in milk thistle (*Silybum marianum* L Gaertn. *Plants* (Basel). 8(2), 611-625. <https://doi.org/10.3390/plants8120611>
- Eshraqinejad, M., Alavi Sini, S.M., Ayin, A., 2021. Examining and comparing the performance of grass sorghum genotypes under moisture stress conditions in the southern region of Kerman. *Environmental Stresses in*

- Crop Sciences. 15(1), 31-41. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2020.3860.1931>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(3), 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Ghaedi, R., Razmjoo, J., GholamiZali, A., 2020. Effect of irrigation regimes on yield, yield components and seed quality of different pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*. 11(2), 1-18. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jcpp.11.2.23942>
- Ghanbari, M., Mokhtas Bidgli, A., Talabi Sieh Saran, p., 2018. Investigating the effect of biofertilizers on the quantitative function and hormonal changes of soybean plant under irrigation. regime. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(3), 805-815. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1439.1315>
- Hasanvand, H., Siadat, S.A., Moraditelavat, M.R., Mussavi, S.H., 2014. Yield and some morphological characteristics of two faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars to different sowing dates in ahwaz region. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production Publication*. 25(2), 79-89. [In Persian]. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3814.html?lang=en
- Hashemi khabir, S., Hashemi khabir, S.H., Ayouzi, A., Rezadoost, S.H., Hashemi khabir, Z., 2010. The effect of drought stress during different developmental stages on nitrogen biofixation in chickpea genotypes. *Research in Agricultural Sciences*. 3(11), 82-67. [In Persian]. <https://www.sid.ir/paper/167907/en>
- Irigoyen, J., Einerich, D., Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*. 84(1), 55- 60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
- Jamali, S., Ansari, H., Zeynodin, S.M., 2021. Investigation of the effect of irrigation water quality and harvesting time on the yield and yield components of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Water and Soil Science*. 25(1), 231-241. <http://doi.org/10.47176/jwss.25.1.35826>
- Kamrava, S., Babaeian Jolodar, N., Bagheri, N., 2017. Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean genotypes. *Journal of Crop Breeding*. 9(23), 95-104. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.95>
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lepse, L., Fernandez, J.A., Vagen, I.M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E., Savvas, D., 2018. Faba bean cultivation, revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontier in Plant Science*. 9(2):1115. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01115>
- Kumar, J., Dhiman, N., Yadav, S.S., Berger, J., Turner, N.C., Singh, D., 2004. Moisture stress studies in different chickpea types. 4th International Crop Science Congress. New Dehli, India. 1(1), 229-232. [http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/1/229_kumar.htm](http://www.cropsscience.org.au/icsc2004/poster/1/1/229_kumar.htm)
- Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C., 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 4(3), 1-10. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Loreto, F., Centritto, M., 2008. Leaf carbon assimilation in a water-limited world. *Official Journal of the Societa Botanica Italiana*. 142(1), 154-161. <https://doi.org/10.1080/11263500701872937>
- Madadi, E., Fallah, S., 2018. The effect of proline and salicylic acid on the physiological parameters and yield of silage maize under different moisture regimes. *Journal of Crop Production and Processing*. 8(1), 15-28. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/jcpp.8.1.15>
- Majnoon Hosseini, N., Gholami, M.B., Jahansooz, M.R., Esmaeil, A., Rabieian, E., 2021. Effects of irrigation regime and plant density on some yield and ecological and physiological indications of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 52(3), 163-174 [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.314020.654776>
- Memari, M., Dadashi, M.R., Sheikh, F., Ajamnoruzi, H., 2021. Evaluation of drought stress tolerance in some faba bean genotypes

- using drought tolerance indices and biochemical compounds. *Journal of Crop Production and Processing*. 11(2), 121-139. [In Persian].
<https://doi.org/10.47176/jcpp.11.2.35911>
- Mobini, Z., Khodarahmpour, Z., Motamedi, M., 2016. Investigating the effect of different periods of irrigation on the yield and agronomic characteristics of fodder sorghum genotypes. *Journal of Physiology of Crop Plants*. 9(33), 119-135. [In Persian].
<https://www.sid.ir/paper/520258/fa>
- Mortazavi, S.M., Daneshian, J., Hamidi, A., Mir Hadi, S.M.J., 2016. Effect of drought level in parent plant of soybean (*Glycine max* L. Merrill) cultivars on seed germination and seedling field emergence. *Agricultural Science Research Journal in Dry Areas*. 1(2), 143-154. [In Persian].
<https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.02>
- Najari, Z., Nabizadeh, E., Azizi, H., Fotohi, K., 2023. Evaluation of different genotypes of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in terms of biochemical and antioxidant properties under normal conditions and water deficit conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 15(4), 1109-1126. [In Persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2021.4238.1994>
- Nakhzari Moghaddam, A., Samsami, A.N., Rahemi Karizaki, A., Gholinezhad, E., 2019. Effect of irrigation on physiological traits and seed yield of soybean under inoculation with mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 13(2), 413-423. [In Persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2019.2131.1531>
- Nawabpour, S., Hazarjaribi, A., Mazandarani, A., 2016. Investigating the effect of drought stress on important agricultural traits and the amount of protein and seed oil in soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 10(4), 491-503. [In Persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.1021>
- Piri, H., Ansari, H., Parsa, M., 2018. The interaction effect of salinity, drought and harvesting dates on yield, quality and efficiency of forage sorghum in subsurface drip irrigation (Case study: Sistan plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(1), 99-114.
<https://doi.org/10.22055/JISE.2018.13454>
- Sheikh, F., Feyzbakhsh, MT., 2019. Fababean, (*Vicia faba* L.) Planting, Cropping, Harvesting. Nashre, Amoozesh, Keshavarzi. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran. 94 pp. [In Persian].
- Siddiqui, M H., Al-Khaishany, M.Y., Al-Qutami, M.A., Al-Wahaibi, M.H., Grover, A., Ali, H. M., Al-Wahibi, M.S., Bukhari, N.A., 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 16(2), 102214-102227.
<https://doi.org/10.3390/ijms160510214>
- Sarani, M., Allahdou, M., Mehravaran, L., Piri, H., 2022. The effect of various irrigation methods on physiology and biochemical traits of milk thistle (*Silybum marianum*). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*. 4(1), 113-127. [In Persian].
<https://doi.org/10.22034/csrar.2022.322452.1175>
- Sotoodeh, A., Saki Nejad, T., Shokuhfar, A.R., Lak, S.H., Majaddam, M., 2022. Effect of foliar application of magnesium and potassium sulfate on morphological, biochemical and yield characteristics of maize (*Zea mays* L.) during water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 16(3), 307-324. [In Persian].
<https://doi.org/10.30495/JCEP.2022.1913625.1729>
- Tadele, S.M., 2019. Breeding achievements of faba bean (*Vicia faba* L.) and its impact in the livelihood of Ethiopian farmers. *International Journal of Agriculture and Biosciences* 8(5), 263-269.
<https://www.researchgate.net/publication/341867375>
- Taize, L., Zeiger, E., 2006. *Plant Physiology*, 4th ed: Sinauer Associates, Inc: Sunderland, MA, USA. pp: 1-523.
- Vendruscolo, A.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C.A., Molinari, H.B., 2007. Stress, induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*. 164(10), 1367-1376.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.05.001>
- Ziaei, S.M., Khazaei, H.R., Nizami, A., 2016. Investigating the effect of different levels of irrigation on morphophysiological and biochemical characteristics in five mung bean genotypes. *Journal of Crop Physiology*. 9(34), 5-21. [In Persian].
<https://www.sid.ir/FileServer/JF/26213963401>