Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
Phycological Society of Iran

Study of the effects of drought stress on seed yield and some biochemical traits of broad bean (*Vicia faba* L.) different genotypes

Fatemeh Sheikh[1*], MohammadTaghi Feizbakhsh[2], Ehlam Faghani[3]

[1] Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran, Email: sheikhfatemeh@yahoo.com
[2] Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran, Email: feyz_54@yahoo.com
[3] Cotton Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran, Email: faghani.e@yahoo.com

Article type:
Research article

Article history
Received:29.10.2022
Revised:19.12.2022
Accepted:25.12.2022
Published:22.06.2025

Keywords
Glycine Betaein
Grain
Legume
Phenol
Proline

Abstract

In this experiment, 21 different genotypes of broad beans were investigated to evaluate their grain yield, yield components, and biochemical compounds under drought stress conditions. The study was conducted using a randomized complete block design with three replications across two different environments: normal irrigation and drought stress during the 2015-2016 growing season at the Gorgan Agricultural Research Station. The analysis of variance results indicated that drought stress significantly affected all traits measured, including the number of pods per plant, the number of seeds per pod, seed yield, biological yield, total endosperm phenol, proline, protein, and glycine betaine. However, the weight of one hundred seeds was not significantly impacted by drought stress. The comparison of average yields indicated that the highest seed yield was achieved by the G-faba-65 and G-faba-67 genotypes, producing 6410.3 kg/hectare under normal conditions and 3193.8 kg/hectare under drought stress. The results indicated that under drought stress, the amounts of glycine betaine (44.87%), phenol (15.67%), and proline (7.69%) were higher compared to normal irrigation conditions. According to grain yield indicators, the number of seeds in the pod, and the level of proline, genotype G-faba-67 demonstrated greater resistance to drought stress compared to other genotypes.

Introduction: Grain legumes are among the most important protein sources in arid and semi-arid regions and play a crucial role in food security and agricultural sustainability. Faba bean (*Vicia faba* L.) is a valuable legume crop widely used for human consumption and animal feed; however, its productivity is highly constrained by drought stress, particularly during reproductive growth stages. Drought stress disrupts physiological and biochemical processes, leading to reduced growth and yield. Plants respond to water deficit by activating osmotic adjustment mechanisms and accumulating compatible solutes and antioxidant compounds such as proline, glycine betaine, phenolic compounds, and proteins. Considerable genetic variation exists among faba bean genotypes in drought tolerance, yet comprehensive evaluations under Iranian conditions

remain limited. This study aimed to identify drought-tolerant faba bean genotypes based on agronomic traits and biochemical responses under normal irrigation and drought stress conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted over two growing seasons at the Gorgan Agricultural Research Station using 21 faba bean genotypes arranged in a randomized complete block design with three replications under two environments: normal irrigation and drought stress. Drought stress was imposed from flowering until physiological maturity by withholding irrigation and preventing rainfall. Agronomic traits including yield components and biological yield were recorded. Biochemical traits such as proline, total phenolic content, glycine betaine, and protein were measured using standard laboratory protocols. Data were analyzed using analysis of variance, and mean comparisons were performed using the LSD test at the 5% probability level.

Results and Discussion: Drought stress significantly reduced yield components, grain yield, and biological yield, while increasing the accumulation of proline, glycine betaine, and total phenolic compounds. Genotypic differences were significant for most traits, indicating substantial genetic variability in drought response. Several genotypes maintained relatively higher grain yield under drought stress, which was associated with greater accumulation of osmoprotectants and antioxidant compounds. Increased levels of proline and glycine betaine under stress conditions suggested their key role in osmotic regulation and cellular protection. The reduction in protein content under drought stress indicated altered nitrogen metabolism, whereas enhanced phenolic content reflected an adaptive defense response.

Conclusion: Drought stress markedly affected agronomic and biochemical traits of faba bean genotypes; however, the magnitude of reduction varied among genotypes. Enhanced accumulation of proline, glycine betaine, and phenolic compounds contributed to improved drought tolerance and yield stability. Genotypes such as G-faba-67, G-faba-66, and G-faba-65 demonstrated superior performance under drought stress and can be considered promising candidates for cultivation in water-limited environments and for use in breeding programs aimed at improving drought tolerance.

Cite this article as: Sheikh, F., Feizbakhsh, M.T., Faghani, E. (2025). Study of the effects of drought stress on seed yield and some biochemical traits of broad bean (*Vicia faba* L.) different genotypes*Journal of Plant Environmental Physiology*, 78: 72-87.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
DOI: https://doi.org/10.71890/IPER.2025.984386

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف باقلا (*Vicia faba* L.)

فاطمه شیخ[۱*]، محمدتقی فیض بخش[۲]، الهام فغانی[۳]

[۱] بخش تحقیقات زراعی و باغی- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه:sheikhfatemeh@yahoo.com

[۲] بخش تحقیقات زراعی و باغی- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه:feyz_54@yahoo.com

[۳] مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه:faghani.e@yahoo.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۸/۰۷
تاریخ بازنگری:۱۴۰۱/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۰/۰۴
تاریخ چاپ:۱۴۰۴/۰۴/۰۱

واژه‌های کلیدی:
پرولین
حبوبات
دانه
فنل
گلایسین بتائین

چکیده

در این آزمایش ۲۱ ژنوتیپ مختلف باقلا از نظر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و ترکیبات بیوشیمیایی تحت تأثیر تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفتند. به همین منظور آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط آبیاری نرمال و تنش خشکی طی سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، تنش خشکی بر روی همه صفات مورد بررسی (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، فنل کل آندوسپرم، پرولین، پروتئین و گلایسین بتائین) به جز وزن صد دانه تاثیر معنی‌داری داشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین عملکرد دانه از ژنوتیپ‌های G-faba-65 و G-faba-67 به‌ترتیب در شرایط نرمال و تنش خشکی (۶۴۱۰/۳ و ۳۱۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. نتایج نشان داد، درشرایط تنش خشکی میزان گلایسین بتائین (۴۴/۸۷ درصد)، فنل ۱۵/۶۷ درصد) و پرولین(۷/۶۹ درصد) نسبت به شرایط آبیاری نرمال بیش‌تر بود. بر اساس شاخص‌های عملکرد دانه، تعداد دانه در غلاف و میزان پرولین ژنوتیپ G-faba-67 از لحاظ تحمل به خشکی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشت.

استناد: شیخ، فاطمه؛ فیض بخش، محمدتقی؛ فغانی، الهام. (۱۴۰۴). بررسی اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف باقلا (*Vicia faba* L.). *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۸: ۸۷-۷۲.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی گرگان
DOI: https://doi.org/10.71890/IPER.2025.984386
© نویسندگان.

مقدمه

لگوم‌های دانه‌ای از عمده‌ترین منابع پروتئینی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب شده و نقش عمده‌ای در اقتصاد این مناطق دارد (Tesfye et al., 2006). باقلا (Vicia Faba L.) یکی از حبوبات مهم است که در تغذیه انسان و دام وطیور بصورت سبز و خشک مصرف می‌شود (Sheikh,F and Feyzbakhsh, 2019). آب و هوای مرطوب برای رشد باقلا مناسب و مهمترین مرحله برای آبیاری در این گیاه هنگام گلدهی و اواسط غلاف‌بندی است (Boshagh et al., 2018).

تنش خشکی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل کاهنده عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود (Vendruscolo et al., 2007). شناخت اساس فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل به تنش خشکی و استفاده از آنها در بهبود تحمل به خشکی بسیار مهم است (Ashraf, 2010). گیاهان در تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، با ذخیره مواد تنظیم کننده اسمزی با تنش مقابله می‌کنند. تنظیم اسمزی از طریق تولید بیش‌تر انواع مختلف مواد آلی مانند پرولین، بتائین و قندهای محلول، در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی صورت می‌گیرد (Ahmad and Sharma, 2010). پرولین باعث سازگاری سلول با شرایط تنش و حفاظت از آنزیم‌های موجود در سیتوزول و ساختارهای سلولی می‌شود. آنزیم‌ها به دلیل ساختمان پروتئینی خود تحت اثر سازوکار حفاظتی پرولین قرار گرفته و محافظت می‌شوند. بنابراین پرولین سبب بقاء گیاه در شرایط تنش و تولید عملکرد مناسب خواهد شد (Ashraf and foolad, 2007). تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین می‌گردد و با شدت‌گرفتن تنش به مقدار آن افزوده می‌شود؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کمبود آب گیاه به‌منظور جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات تنظیم‌کنندهٔ اسمزی ازجمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (Boush et al., 2022).

گیاهان با تولید ترکیبات آنتی اکسیدانی نظیر ترکیبات فنلی و کارتنوئیدها از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولید شده در شرایط تنش محافظت کنند (Bettaieb et al., 2010). تجمع گلایسین بتائین (GB) به‌عنوان یک محلول سازگار در سلول‌های بسیاری از گونه‌های گیاهی در واکنش به آب کشیدگی موجب حفظ فشار آماس و حمایت از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و ساخت پروتئین می‌شود (Fariduddin et al., 2013). در میان بسیاری از ترکیبات آمونیومی چهارگانه شناخته شده در گیاهان، GB در واکنش به تنش خشکی بیش از سایر ترکیبات تجمع می‌یابد. غلظت GB در کلروپلاست بیش‌تر از سایر اندامک‌های سلولی است که نقش مهمی در تنظیم و حفاظت از غشای تیلاکوئیدها ایفا می‌کند، در نتیجه باعث افزایش کارایی فتوسنتزی می‌شود. معمولا گونه‌های متحمل به تنش خشکی نسبت به گونه‌های حساس GB بیش‌تری را در خود انباشته می‌کند (Murmu et al., 2017).

در شرایط تنش خشکی با کوتاه‌تر شدن فصل رشد ابتدا صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، قطر ساقه) و سپس اجزای عملکرد (تعداد دانه در غلاف، غلاف در بوته، طول غلاف، وزن صددانه) کاهش یافت که این امر در نهایت منجر به کاهش عملکرد ژنوتیپ‌های باقلا گردید. همچنین همبستگی بالایی بین اجزای عملکرد و عملکرد دانه وجود داشت و کاهش هر یک از اجزای عملکرد به کاهش عملکرد دانه منتهی شد (Memari, 2019). در بررسی Hossein Khani و همکاران (۲۰۱۸) نیز عملکرد دانه ماش با وقوع تنش خشکی کاهش یافت به‌طوری که در شرایط عدم تنش ۱۰٤/۸۹ و تنش خشکی ٦٤/٤٧ گرم در متر مربع بود. نتایج مطالعه

تاثیر تنش خشکی بر روی ژنوتیپ‌های نخود آبگوشتی نشان داد، تنش خشکی باعث کاهش ۴۳ درصدی عملکرد دانه نخود گردید، اما میانگین وزن صد دانه کم‌تر از سایر اجزای عملکرد تحت تأثیر شرایط محیطی و تنش خشکی قرار گرفت (Sio-Se Mardeh et al., 2014).

اثر چهار تیمار (آبیاری نرمال، تنش خشکی خفیف، تنش متوسط و شدید) بر ده ژنوتیپ باقلا در منطقه یمن بررسی شد، نتایج این بررسی نشان داد با شدت تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت برای ژنوتیپ Giza Blanka کم‌ترین میزان پرولین ۰/۹ و بیش‌ترین آن ۱/۴۳ میکروگرم بر گرم وزن‌تر بود (Siddiqui et al., 2015).

در غالب گیاهان زراعی با افزایش تنش خشکی میزان پرولین افزایش می‌یابد (Moharamnejad et al., 2016 ;Nasrollahzadeh et al., 2016). ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از نظر صفات بیوشیمیایی در شرایط آبیاری نرمال، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید در منطقه تونس بررسی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان پرولین و پروتئین افزایش می‌یابد (Abid et al., 2017).

تنوع ژنتیکی بالایی در خزانه ژنی باقلا کشور وجو دارد، تاکنون مطالعه جامعی در ارتباط با ارزیابی تحمل به تنش خشکی در باقلا در کشور صورت نگرفته است، با توجه بحران تنش خشکی ارزیابی ژنوتیپ‌های متنوع باقلا شرایط تنش خشکی ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش شناسایی ژنوتیپ‌های برتر باقلا به تنش خشکی از طریق میزان تجمع ترکیبات بیوشیمیایی و تحمل به خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶ -۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در ۵ کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا ۵ متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۴۵۰ میلی‌متر است. ۲۱ ژنوتیپ باقلا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط آبیاری نرمال و تنش خشکی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر واحد آزمایشی شامل ۴ خط کاشت با فاصله بین ردیف ۶۵ و فاصله بوته روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در تاریخ ۲۰ آبان کشت شدند.

در محیط آبیاری نرمال در مواقع لزوم براساس شرایط آب و هوایی و نیاز آبی گیاه (در زمان کاشت، قبل از گل‌دهی، آغاز گل‌دهی، و دوره پر شدن دانه) آبیاری انجام شد و گیاه با تنش خشکی مواجه نشد. اما در تنش خشکی از مرحله آغاز گل‌دهی تا پایان فصل رشد هیچ گونه آبیاری انجام نشد اطراف محیط تنش خشکی داربست فلزی تعبیه شد و با توجه به پیش‌بینی هواشناسی قبل از بارندگی نایلون روی داربست کشیده می‌شد، تا آب باران وارد محیط تنش خشکی نشود. عملیات داشت از قبیل وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها بسته به نیاز محصول در طول فصل زراعی انجام شد.

سنجش های بیوشیمیایی: برای تعیین مقدار پرولین روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از نمونه در ۱۰میلی‌متر اسیدسولفوسالیسیک سه درصد به وسیله هاون ساییده شد و عصاره حاصل در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد

به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس دو میلی‌متر از عصاره‌های صاف شده را به لوله‌های درب‌دار منتقل نموده و به همه لوله‌ها مقدار دو میلی‌متر معرف نین-یدرین و دو میلی‌متر اسیداستیک گلایسیال اضافه گردید. پس از بستن درب لوله‌ها، آنها به مدت یک ساعت در بن‌ماری و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از سرد شدن، به هریک از لوله‌ها مقدار چهار میلی‌متر تولوئن اضافه شد. غلظت پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد بر حسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه، تعیین شد.

برای تعیین پروتئین از روشLowry و همکاران (۱۹۵۱) استفاده شد. پس از افزودن هیدروکسیدسدیم دو نرمال به عصاره گیاهی تازه (استاندارد)، نمونه‌ها در حمام آب گرم (دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفته و پس از سرد شدن، کمپلکس (محلول کربنات سدیم Na_2CO_3 دو درصد، سولفات مس $CuSO_4$ یک درصد و سدیم پتاسیم تارتارات $C_4H_4kNao_6*4H_2O$ دو درصد)، و فولین خالص ($C_{10}H_5Nao_5S$) به آن اضافه شد و مخلوط حاصل پس از ۳۰ دقیقه ماندن در تاریکی و دمای اتاق در طول موج ۷۵۰ نانومتر قرائت شد.

فنل کل از روش فولن-سیوکالتو سنجیده شد. ابتدا نمونه‌ها در ۱۰ میلی‌متر اتانول ۸۰٪ به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده شد. به‌منظور همگن‌سازی نمونه‌ها به مقدار مناسب از الکل ۸۰٪ افزود شد. نمونه‌ها در ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. پس از جداسازی سوپرناتانت، توسط الکل ۸۰٪ به حجم ۱۰ میلی‌متر رسانده شد. سپس ۵۰ ماکرولیتر از محلول فوق برداشته شده ۲۵۰ ماکرولیتر فولن، ۵۰۰ ماکرولیتر آب مقطر و ۱/۲۵ میلی‌متر کربنات سدیم اشباع (با افزودن کربنات سدیم محلول آبی رنگ می‌شود). لوله‌ها به-مدت ٤٠ دقیقه ثابت نگه داشته شد و پس از جداسازی سوپرناتانت جذب آن‌ها در طول موج ۷۲۵ نانومتر خوانده شود. مقدار این ترکیبات برحسب میلی‌گرم در گرم وزن نمونه محاسبه شد.

برای تعیین گلایسین بتائین؛ ۰/۵ گرم پودر خشک را با ۲۰ میلی‌متر آب مقطر در لوله آزمایش ریخته و با شیکر به‌مدت ۲۵ دقیقه خوب تکان داده و پس از صاف کردن محلول با کاغذ صافی، تا مرحله بعد در فریزر قرار داده شد. پس از ذوب شدن یخ و جدا کردن ۱ میلی‌متر از محلول (نسبت ۱:۱) اسید سولفوریک ۲ نرمال افزوده شد. به مدت یک ساعت در آب یخ قرار داده شد. سپس به آن ۰/۸ لوگول (یدید یدین پتاسیم) افزوده شد. پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۰۰۰، ۱ میلی لیتر از فاز بالایی جدا کرده و به آن ۹ میلی‌متر ۱ و ۲ در کلرو اتان افزوده شد و به‌مدت ۲/۵ ساعت در محیط قرار داده شد. در نهایت جذب آن در ٣٦٥ نانومتر خوانده شد.

در پایان تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها و برش‌دهی فیزیکی اثرمتقابل با آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱: تجزیه واریانس داده‌ها برای برخی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های باقلا تحت تأثیر تنش خشکی و آبیاری نرمال.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن صددانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	فنل کل آندوسپرم	پروتئین	گلایسین بتائین
تنش (a)	۱	۳۵۵۶۷/۵۸**	۶۰/۳۱**	۱۵۵/۴۷^{ns}	۵۹۸۳۰۲۱۹۳/۶**	۴۹۳۷۷۳۰۱۰/۹**	۱۲۳۳۹۸۵/۶۷**	۰/۰۰۸**	۲۷۳۶/۵۳**
خطای (تنش ✱ بلوک)	۸	۵۲/۹۸	۰/۹۰	۶۹/۴۲	۱۱۲۰۱۹۴/۶	۱۰۱۵۸۵۵۵/۲	۱۳۶۶/۴۸	۰/۰۰۰۰۳	۴۳/۵۲
ژنوتیپ (b)	۲۰	۳۰/۰۴**	۰/۷۹^{ns}	۳۱۰۰/۹۷**	۲۰۲۷۷۱۸/۵**	۶۴۱۳۰۰۸/۶**	۹۳۵۴۳/۸۷**	۰/۰۰۰۴**	۸۵/۱۵**
تنش و ژنوتیپ (a*b)	۲۰	۱۳/۱۹^{ns}	۰/۵۱**	۹۱/۲۰^{ns}	۱۰۶۵۸۵۸/۶**	۳۴۹۰۰۱۵/۹^{ns}	۶۶۶۴۹/۳۲**	۰/۰۰۰۳**	۵۸/۰۰**
خطای ۲	۱۶۰	۱۱/۹۸	۰/۱۷	۹۲/۱۷	۳۹۴۵۷۹/۹	۲۶۲۶۸۵۸/۰	۱۶۱۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۲۴
ضریب تغییرات (درصد)		۲۶/۳۲	۱۲/۶۷	۷/۹۶	۱۷/۳۵	۲۱/۹۰	۳/۴۴	۱/۵۸	۳/۸۹

^{ns}، *، **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲: مقایسه میانگین (اثر ساده تنش) تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در ژنوتیپ‌های مختلف باقلا (*Vicia faba* L.)

تنش	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	فنل کل آندوسپرم (میلی گرم بر گرم ماده خشک)	پروتئین (میلی گرم بر گرم)	پروتئین (درصد)	گلایسین بتائین (ppm)
نرمال	۱۶/۹۰^{a}	۳/۷۷^{a}	۵۱۶۰/۳۸^{a}	۸۸۰۰/۳^{a}	۱۰۶۴^{b}	۰/۲۵^{b}	۱۷/۵^{a}	۱۹۹/۸^{b}
تنش خشکی	۹/۳۹^{b}	۲/۷۹^{b}	۲۰۷۸/۶۸^{b}	۶۰۰۰/۸^{b}	۱۲۶۹^{a}	۰/۲۶^{a}	۸/۲^{b}	۳۶۱/۷^{a}

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

جدول۳: مقایسه میانگین اثر ساده ژنوتیپ‌های باقلا برای تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صددانه.

ژنوتیپ	تعداد غلاف در بوته	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
G-faba-67	۱۱/۵۱efg	۱۳۲/۱۳cde	۸۰۷۳/۱abcd
G-faba-66	۱۳/۰۰bcdef	۱۱۹/۷۱fg	۸۳٤۰/۳abc
G-faba-75	۱۵/۱۹abc	۱۰۵/۲۹ijk	۷٤۰۷/٤bcde
G-faba-72	۱۱/۷۷efg	۱۰۳/۱۳ijk	٦۹۸۸/۳def
G-faba-65	۱۳/۲۰bcdef	۱۰۹/۱۲hi	۸٤٤۵/۷ab
G-faba-62	۱۳/۸٦abcde	۱۰۸/۰۵hi	۸٤۸۰/۱ab
G-faba-61	۱٤/۱۳abcde	۱۰٤/۹۸ijk	۷۵۱۱/۱abcde
G-faba-398	۱٤/۰۳abcde	۱۱۹/٦٤fg	۸۷۹۰/۲a
G-faba-411	۱۵/٦۱ab	۹۹/۸۸jk	٦۳۷۳/۳ef
G-faba-401	۱۲/۸۱cdef	۹۷/۳۷k	٦۰۳۷/۲f
G-faba-335	۱۳/۸۵abcd	۱۱۳/۸۹gh	۷۱۰۲/٤cdef
G-faba-293	۱۳/۷۳abcdef	۱۲۵/٤۳ef	۷۲۰٦/۳bcdef
G-faba-294	۱۲/۰٦defg	۱۲۸/۵۲e	۷۳۱٤/۲bcdef
G-faba-290	۱٦/۱۷a	۱۱٤/۹۸gh	۷۲۹۸/۵bcdef
G-faba-292	۱۲/۷٦cdef	۱۳۱/۷٦ed	٦٦٤۰/٦ef
G-faba-523	۱۲/۰۹defg	۱۳۸/۹۰bcd	۷٤۰۲/۷bcde
G-faba-524	۱۱/۰۰fg	۱٤۰/۷۰b	۷٤۸۹/٦bcde
G-faba-525	۱۱/٦٦efg	۱۳۹/۸۰bc	۷۱۹۰/٦bcdef
G-faba-520	۱۳/۲۵bcdef	۱٤۰/٤۰b	۷٤۷۹/٦bcde
G-faba-296	۱٤/٦۹abcd	۱۰۵/۵۵ij	٦۲۷۷/۵ef
G-faba-21	۹/۷۵g	۱۵۲/۱۳a	۷۵٦۲/۵abcde
LSD	۲/۷۹	۷/۷٤	۱۳۰٦/۷

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

جدول ٤: مقایسه میانگین اثرمتقابل ژنوتیپ*تنش خشکی ژنوتیپ‌های باقلا برای تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه.

ژنوتیپ	تعداد دانه در غلاف		عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	
	شرایط نرمال	تنش خشکی	شرایط نرمال	تنش خشکی
G-faba-67	۳/٦٥defg	۲/۸۰abc	٤۸۷٦/۷bcd	۳۱۹۳/۸a
G-faba-66	۳/٦۲defg	۲/٥۸abc	٥۸۷۳/۸ab	۲۷۳٤/٤۹abc
G-faba-75	۳/۳۷efg	۲/۸۱abc	٥۰۷۲/۳bcd	۲۷۰۸/۹abc
G-faba-72	۳/٥۰efg	۲/۹۱abc	٤۷۲۳/۲cd	۲۳۱۳/۱abcd
G-faba-65	۳/٦۰efg	۲/۹۷abc	٦٤۱۰/۳a	۳۱۳٦/۳ab
G-faba-62	۳/۸٦bcde	۳/۰ab	٥٥۷۳/۳abc	۲۷٥٤/۲abc
G-faba-61	۳/۳۰fg	۲/٥۳bc	٥۰۱۱/٤bcd	۲۱۸٥/٤bcd
G-faba-398	۳/٥۳efg	۲/۸۰abc	٥۰٥۱/۷bcd	۱۹٥٤/۷cd
G-faba-411	۳/۱۹g	۲/۸۳abc	٤٦۱۸/٦cd	۱۹۲۱/٤cd
G-faba-401	۳/٥۱efg	۲/۹۳abc	٤۲٥۱/۱d	۱۸۷۱/٤cd
G-faba-335	۳/۸۳cdef	۲/۷٥abc	٤۹٥٤/۹bcd	۱۸۱۲/۲cd
G-faba-293	۳/۸٦bcde	۲/۸٤abc	٥۰٥۷/٥bcd	۱٥۳۷/۷d
G-faba-294	۳/۷۳defg	۲/٥۸abc	٥٤٤۸/٦abc	۱۸۸۰/۹cd
G-faba-290	۳/٤۳efg	۲/۷۸abc	٥۱۲۱/٥bcd	۱۹۳٥/۱cd
G-faba-292	۳/٥٥efg	۲/۷۸abc	٥٤۱۱/٦abc	۱٦٥٥/۷d
G-faba-523	٤/۱٥bcd	۲/٦۲abc	٥۲۸۲/۰abcd	۱۹٤۰/۹cd
G-faba-524	٤/۳٦bc	۳/۰٥a	٤٦٤۷/٥cd	۱۸٤۷/۷cd
G-faba-525	٤/۳۸b	۲/۹۲abc	٥٤٦٦/۲abc	۱٤۰۷/۰d
G-faba-520	٤/۳٥bc	۲/۸۳abc	٥۱۷٦/۲bcd	۱۸٤۱/۱cd
G-faba-296	۳/٥۳efg	۲/٤۸c	٤۷۱۳/۷cd	۱٦۱۸/۰d
G-faba-21	٤/۹٤a	۲/۹۱abc	٥٦۲٥/٤abc	۱٤۰۲/۷d
LSD	۰/٥٤	۰/٥۰	۱۱٤۰	۱۰۰۳/٦

در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

ادامه جدول ٤. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش برای ترکیبات بیوشیمیایی فنل کل آندوسپرم و پرولین.

ژنوتیپ	فنل کل آندوسپرم (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)		پرولین (میلی‌گرم بر گرم)	
	آبیاری نرمال	محیط خشکی	آبیاری نرمال	محیط خشکی
G-faba-67	۹۱۳/۳۹jkl	۱۰۷۹/٤۷lm	۰/۲۵۰cd	۰/۲۹۰a
G-faba-66	۱٤۳۳/۷۵b	۱۳۲۰/۲۷ef	۰/۲۳۳f	۰/۲٦٦de
G-faba-75	۹٦۵/۰٦hij	۱۲۱٦/۰۱hij	۰/۲۵۰cd	۰/۲۵۳fgh
G-faba-72	۱۰۹۹/۷۷de	۱۱۵۳/۲۵jkl	۰/۲٤۰e	۰/۲٤٦h
G-faba-65	۱۰۷۲/۰۸ef	۱۵۱۱/۲۵a	۰/۲۳۳f	۰/۲۵٦fg
G-faba-62	۱۰٦۸/٤۰ef	۱۲۸۰/٦۰efg	۰/۲۵٦ab	۰/۲۵۰gh
G-faba-61	۸۸۰/۱۸kl	۱۱۳٤/۸۳kl	۰/۲٤٦d	۰/۲٦٦de
G-faba-398	۱۱٤۷/۷٤d	۱۱٦٤/۳۵jk	۰/۲۵٦ab	۰/۲٦٦de
G-faba-411	۱۳۸۲/۰۹b	۱٤٦٦/۹۷ab	۰/۲۵۰cd	۰/۲۵۳fgh
G-faba-401	۹۹٦/٤۳gh	۱۲٤۵/۵٤ghi	۰/۲۵۰cd	۰/۲٦۰ef
G-faba-335	۱۵٤٦/۳۱a	۱۱۲۵/٦۰kl	۰/۲۵۰cd	۰/۲۵٦fg
G-faba-293	۸٦۳/۵۷l	۱۲٤۳/٦۹ghi	۰/۲٤۰e	۰/۲۵٦fg
G-faba-294	۱۲۹۷/۲۰c	۱۳۰۰/۹۰efg	۰/۲۵۰cd	۰/۲۸۰bc
G-faba-290	۹۰۲/۳۲kl	۱۳۱۷/۵۰efg	۰/۲۵۰cd	۰/۲۸٦ab
G-faba-292	۹۸۱/٦۷ghi	۱۳٤۳/۳٤cde	۰/۲٦۰a	۰/۲٦۰ef
G-faba-523	۱۰۱٦/۷۳fgh	۱٤۰۰/۵٤bcd	۰/۲۵۰cd	۰/۲۸۰bc
G-faba-524	۱۰۳۳/۳۳fg	۱۳۳۰/٤۲def	۰/۲۵۰cd	۰/۲۸۳ab
G-faba-525	۸۷۸/۳۳l	۱۱۷۱/۷۳ijk	۰/۲۵۳bc	۰/۲٤٦h
G-faba-520	۹۳۵/۵٤ijk	۱۰۲۹/٦٤m	۰/۲٦۰a	۰/۲۸۳ab
G-faba-296	۹۸۱/٦۷ghi	۱٤۱۱/٦۱bc	۰/۲٤۰e	۰/۲۵۰gh
G-faba-21	۹٦۳/۲۱hij	۱۲٦۷/٦۸fgh	۰/۲۵۰cd	۰/۲۷۳cd
LSD	۵٦/۸٦	۷٤/۳۹	۰/۰۰۵	۰/٦۸

† در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

ادامه جدول ٤. مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و تنش برای ترکیبات بیوشیمیایی گلایسین بتائین و پروتئین.

ژنوتیپ	گلایسین بتائین (ppm)		پروتئین (درصد)	
	آبیاری نرمال	محیط خشکی	آبیاری نرمال	محیط خشکی
G-faba-67	۲۵۷/۷۳a	٤۲۳/۸۰c	۸/۹۸k	۷/۰۵ij
G-faba-66	۲۰۹/۱۹de	۵۱٦/۵٤a	۱۰/۷۱j	٦/۹۱j
G-faba-75	۱۸۵/٤۳gh	۳۳٦/۹٤hi	۹/۹۸j	٦/۹۰j
G-faba-72	۲۰۸/٤۲de	۳۵۷/۱۲g	۱۰/۳۳j	۷/۲۳hij
G-faba-65	۲۰۹/٤٤de	۳۵۲/۵۲gh	۱۲/۲۵i	۸/٦۱def
G-faba-62	۲۳۷/۸۱b	۳۸۵/۲۲ef	۱۲/۰٦i	۷/۷۳ghi
G-faba-61	۲٤۹/۸۱a	٤٤۵/٤۸b	۱۲/٦۱i	۷/۲۱hi
G-faba-398	۱۵۸/۳۵k	۳۰۵/۰۰lm	۱٤/٦۸h	۱۰/۲٦a
G-faba-411	۲۲٦/۳۱bc	۳۷۲/۹٦f	۱۲/۷۰i	۷/٦۵ghij
G-faba-401	۱۷۰/۸۷ij	۳۲٦/۷۱ijk	۱٦/۰۵g	۷/۵۰hij
G-faba-335	۱٦۸/۳۱ijk	۳۸۱/۹۰ef	۱۵/۸٦g	۷/٤۰hij
G-faba-293	۱۷۱/٦۳ij	۳۲۷/۹۹ij	۱۲/۸۰i	۷/۸۵fgh
G-faba-294	۲۲۷/۰۷bc	۳٤۹/٤۵gh	۱۸/۱۳f	۷/۸۱ghi
G-faba-290	۲۰۸/٤۲de	۳۱۸/۵٤jkl	۱۸/۷۰f	۸/۳۳efg
G-faba-292	۱٦۹/۰۸ijk	۲۹۸/۳۵m	۲۰/۰۵e	۸/۳۳ef
G-faba-523	۱۷۰/٦۱ij	۳۱۲/۱۵klm	۲۳/۹٦d	۹/۷۰ab
G-faba-524	۱٦۷/۵٤jk	۳۳۲/۳۳ij	۲۵/۸۰c	۹/٤۳bc
G-faba-525	۲۰٤/۰۸ef	۳۹۲/٦۳de	۲٦/٤۸c	۹/٤۳bc
G-faba-520	۲۱٦/۸۵cd	٤۰٦/۹٤d	۲٦/۳۳c	۹/۳۰bcd
G-faba-296	۱۷۹/۸۱hi	۳۲۵/۹۵ijk	۲۷/۹۸b	۸/٤۰efg
G-faba-21	۱۹٦/۱٦fg	۳۱۸/۷۹jkl	۳۰/۹۸a	۸/٦٦cde
LSD	۱۱/۷۷	۱۵/۷٦	۰/۸٦٤	۰/۷۸۲

† در هر ستون میانگین‌هایی که در یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت آماری معنی‌دار براساس LSD در سطح پنج درصد می‌باشد.

نتایج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر روی همه صفات مورد بررسی (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، فنل کل آندوسپرم، پرولین، پروتئین و گلایسین بتائین) به جز وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). اثرات ژنوتیپ‌های مورد بررسی نیز بر روی همه صفات مورد بررسی به جز تعداد دانه در غلاف اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر متقابل تنش خشکی × ژنوتیپ بر روی تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (جدول ۱).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G-faba-75، G-faba-62، G-faba-61، G-faba-411، G-faba-398، G-faba-335، G-faba-293، G-faba-290و G-faba-296 بیشترین تعداد غلاف در بوته و ژنوتیپ G-faba-21 با ۹/۷ عدد غلاف در بوته کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول ۲). میانگین تعداد غلاف در بوته در شرایط نرمال و خشکی به‌ترتیب برابر با ۱۶/۹۰ و ۹/۳۹ بود (جدول ۳). در محیط نرمال ژنوتیپ‌های G-faba-21 و G-faba-411 به‌ترتیب بیش‌ترین (٤/٩٤ عدد) و کم‌ترین (۳/۱۹ عدد)، و در محیط تنش خشکی ژنوتیپ‌های G-faba-524 و G-faba-296 به‌ترتیب بیش‌ترین (۳/۰۵) و کم‌ترین (۲/٤۸) تعداد دانه در غلاف را داشتند (جدول ٦). در شرایط نرمال عملکرد ژنوتیپ G-faba-65 برابر با ٦٤١٠/۳ بود و ژنوتیپ‌های G-faba-21، G-faba-525، G-faba-523، G-faba-292، G-faba-294، G-faba-62 و G-faba-66 به‌طور مشترک بالاترین عملکرد دانه را تولید نمودند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ G-faba-67 برابر با ۳۱۹۳/۸ بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد و ژنوتیپ‌های G-faba-66، G-faba-75، G-faba-72، G-faba-65، G-faba-62 و G-faba-62به‌طور مشترک بالاترین عملکرد دانه را تولید نمودند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ٦).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال بالاترین فنل کل آندوسپرم به ژنوتیپ G-faba-335 با ١٥٤٦/۳١ و کم‌ترین آن مربوط به ژنوتیپ G-faba-61 با ۸۸۰/۱۸ بود. در تنش خشکی ژنوتیپ G-faba-65 با ۱۵۱۱/۲ و ژنوتیپ G-faba-520 با ۱۰۲۹/٦٤ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فنل کل آندوسپرم را داشتند (جدول ۸).

واکنش ژنوتیپ‌ها از نظر تجمع پرولین در هر محیط متفاوت بود در محیط نرمال ژنوتیپ G-faba-520 با ۰/۲٦ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بالاترین و ژنوتیپ‌های G-faba-66 و G-faba-65 هر دو با ۰/۲۳۳ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک کم‌ترین میزان پرولین را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تولید کردند. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ G-faba-67 با ۰/۲۹ بالاترین و ژنوتیپ‌های G-faba-525 و G-faba-72 هر دو با ۰/۲٤٦ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک، کم‌ترین میزان پرولین را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تولید کردند (جدول ۲). در شرایط آبیاری نرمال دامنه تغییرات میزان پروتئین از ۳۰/۹۸ (G-faba-523) تا ۸/۹۸ (G-faba-411) متغیر بود. در تنش خشکی ژنوتیپ G-faba-398 با ۱۰/۲٦ بالاترین و ژنوتیپ‌های G-faba-66 و G-faba-75 با مقادیر مشابه (به‌ترتیب ٦/۹۱ و ٦/۹۰) کم‌ترین میزان پروتئین را داشتند (جدول ۹). میانگین پروتئین ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی کم‌تر (۸/۱۸) از شرایط آبیاری نرمال (۱۷/۵) بود.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در آبیاری نرمال ژنوتیپ‌های G-faba-67 و G-faba-61 به‌ترتیب با ۲۵۷/۷۳ و ۲۹٤/۸۱ به‌طور مشترک بالاترین میزان گلایسین بتائین را تولید کردند، در حالی که کم‌ترین میزان آن برابر با ۱۵۸/۳۵ بود که به ژنوتیپ G-faba-398 اختصاص یافت. در شرایط تنش خشکی بیش‌ترین (٥١٦/٥٤) و کم‌ترین (۲۹۸/۳۵) میزان گلایسین بتائین به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های G-faba-66 و G-faba-292 به‌دست آمد (جدول ۳). میانگین گلایسین بتائین ژنوتیپ‌ها در تنش خشکی بیش‌تر (۳٦۱/۷) از آبیاری نرمال (۱۹۹/٦۷) بود.

بحث

تنش خشکی منجر به کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و در نتیجه عملکرد دانه شد. تعداد غلاف در بوته مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر

عملکـرد دانـه بـه شـمار مـی‌رود (Mehraban et al., 2016). از طرفی ژنوتیپ‌ها در شـرایط آبیـاری نرمـال بالاترین مقادیر تعداد غلاف در بوته و تعـداد دانـه در غلاف را داشتند، بنابراین بالاتر بودن عملکرد دانـه در شرایط آبیاری نرمال دور از انتظار نبـود. وقـوع تـنش خشکی در پایان فصل رشـد سـبب کـاهش آب قابـل دسترس شده، قدرت انتقال مواد پرورده به دانه کاهش را کاهش داده و باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد (Moradi et al., 2008). عملکـرد بیولوژیـک نشـان-دهنده رشد رویشی گیاه می‌باشد. رابطه تنگاتنگی بـین رشد رویشـی (عملکـرد بیولوژیـک) و عملکـرد دانـه وجـود دارد، زیـرا بخشـی از مـواد ذخیـره‌شـده در اندام‌های گیاه طی مرحله انتقال مجدد (پرشـدن دانـه) به دانه‌ها اختصاص می‌یابد. هر چه عملکرد بیولوژیک بالاتر باشد، مواد پرورده بیشتری برای انتقال به دانه‌هـا وجـود خواهـد داشـت (Hashemi Khabir et al., 2011). Ahmadpour و همکـاران (۲۰۱۰) نیـز اظهـار داشتند، تنش خشکی با اثر منفی بـر تعـداد غـلاف در بوته و وزن دانه سبب کاهش عملکرد دانه ارقام سـویا شد. دامنه تغییرات عملکرد بیولوژیک در ژنوتیپ‌ها از ۸۷۹۰/۲ (G-faba-398) تـــا ٦٠٣٧/٢ (G-faba-401) متغیر بود (جدول ۵).

میانگین فنل کـل آندوسـپرم ژنوتیـپ‌هـا در تـنش خشکی ۱۲٦۲/٦۳و در آبیاری نرمال ۱۰٦٤/۷ بـود. در بررسی قربانلی و نیاکان (۱۳۸٤) گـزارش نمودنـد کـه گیاه در تنش خشکی به علت تضعیف سیستم ایمنـی، ترکیبات فنلی را افزایش داده تـا بتوانـد واکـنش‌هـای دفاعی مناسبی را در برابر حمله میکروارگانیسـم‌هـا در پیش گیرد. بنابراین می‌توان ژنوتیپ‌های با فنـل بـالاتر را جز گروه ژنوتیپ‌های متحمل به تنش طبقـه بنـدی کرد.

پرولین (Pro) نه تنها یک ماده تنظیم اسمزی مهـم اسـت، بلکـه نقـش مهمـی در تنظـیم مقاومـت تـنش غیرزیسـتی گیـاه دارد (Zuo et al, 2022) و پـرولین، آمینواسید ذخیره‌شده در سیتوپلاسـم سـلول بـوده کـه می‌تواند حلالیت پروتئین‌های مختلف را تحـت تـأثیر قرار دهد و از غیرطبیعی‌شدن آلبومین جلوگیری کنـد، در برخی گیاهان، مقدار چندین آمینواسید طی مراحـل اولیهٔ تنش خشکی افزایش مـی‌یابـد و بـا ادامـهٔ تـنش خشکی، آمینواسـید پـرولین بیشـتر تجمـع مـی‌یابـد و ذخیره می‌شـود (Hamidi moghadam et al., 2021). تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین مـی‌گـردد و میـزان آن بـا همزمـان بـا تشـدید تـنش افـزایش خواهدیافت. گیاه در شرایط تنش کمبود آب به منظور جـذب آب، از طریـق تجمـع ترکیبـات تنظـیم کننـدهٔ اسمزی ازجمله پـرولین و کربوهیـدرات‌هـای محلـول بـرگ، پتانسـیل اسـمزی خـود را کـاهش مـی‌دهـد و افـزایش غلظـت پـرولین در انـدام‌هـای گیـاه در اثـر ممانعت از تجزیهٔ پرولین برای جلـوگیری از ورود بـه چرخهٔ ساخت پروتئین یا افزایش تجزیهٔ پروتئین است و معمولا با کاهش رشـد همـراه اسـت (Bosh et al., 2022). نتـایج بـا یافتـه‌هـای Shargi et al., 2019 و Azadi et al., 2021 مطابقت دارد.

به‌طور کلی اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی پرولین بیشتری تولید کردند. همچنین محققان معتقدند ژنوتیپ‌هایی که پرولین بالاتری تولید می‌کنند به تـنش خشکی مقاوم‌تر هستند. در این بررسی مشـخص شـد بین ژنوتیپ‌ها از نظـر توانـایی تجمـع پـرولین تحـت شرایط تـنش بـا هـم اخـتلاف وجـود دارد و بـه‌نظـر می‌رسـد ژنوتیـپ‌هـای G-faba-67، G-faba-290، G-faba-294، G-faba-524 و G-faba-520 بـا سـازوکار بهتری باعث افزایش میزان تجمع پرولین شده و از این طریق تنظیم اسمزی مقاومت خود را نسـبت بـه تـنش خشکی افزایش دادند. بنابراین این احتمال وجود دارد کـه ژنوتیـپ‌هـای یـاد شـده (G-faba-67، G-faba-290، G-faba-294، G-faba-524، G-faba-520) بـه

دلیل این که در شرایط تنش خشکی میزان پرولین بالاتری تولید کرده‌اند، نسبت به تنش خشکی متحمل باشند. Nasrollahzadeh و همکاران (۲۰۱۶) طی آزمایشی به این نتیجه رسیدند که با افزایش درجه تحمل به خشکی در هیبریدهای ذرت توانایی تجمع اسید آمینه نیز افزایش خواهد یافت.

طبق این نتایج میزان پروتئین در تنش خشکی کاهش یافت که با نتایج Ghanbari و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت داشت. Ghorbanli و Niakan(۲۰۰۵) اظهار داشتند، کاهش پروتئین با افزایش ترکیبات فنلی همراه بوده و ترکیبات فنلی از طریق تأثیر بر ضریب هدایت روزنه‌ای موجب کاهش تعرق و افزایش مقاومت گیاه به خشکی خواهد شد. از طرفی نتایج بررسی میزان پروتئین در شرایط تنش خشکی در آفتابگردان و گندم نشان داد، با افزایش تنش خشکی میزان پروتئین افزایش خواهد یافت، دلیل این تناقض در میزان پروتئین در شرایط تنش می‌تواند ناشی از تفاوت در نوع گیاه، تیمارها و مراحل نمونه‌برداری باشد (Majdam, 2016; Hassanpour Lescokelayel et al., 2015).

گلایسین بتائین (GB) نقش مهمی در تنظیم و حفاظت از غشای تیلاکوئیدها ایفا می‌کند و معمولا گونه‌های متحمل به تنش خشکی نسبت به گونه‌های حساس GB بیش‌تری را در خود انباشته می‌کند (Murmu et al., 2017). بنابراین طبق نتایج آزمایش حاضر، ژنوتیپ‌های G-faba-66،G-faba-61، G-faba-67، G-faba-520 وG-faba-525 با مقادیر گلایسین بتائین بیشتر، ژنوتیپ متحمل به خشکی محسوب می‌شوند. به‌طورکلی GB از طریق حفظ تعادل اسمزی، پایداری ساختار ماکرومولکول‌ها و حفظ نفوذپذیری غشاء، محافظت از دستگاه فتوسنتزی و بهبود ظرفیت آن و همچنین تشدید فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، سلول‌های گیاهی را در برابر اثرات نامطلوب تنش‌های غیرزیستی به ویژه خشکی محافظت می‌کند (Dawood, 2016).

نتیجه‌گیری نهایی

این بررسی به منظور بررسی اثرات تنش خشکی بر ترکیبات بیوشیمیایی و صفات زراعی ژنوتیپ‌های باقلا انجام شد. به طور کلی در شرایط تنش خشکی میزان تجمع ترکیباتی از جمله گلایسین بتائین، فنل کل آندوسپرم، پرولین افزایش یافت. به نظر می‌رسد وجود این ترکیبات سبب تنظیم اسمزی و مقابله با تنش خشکی شده است زیرا ژنوتیپ G-faba-67، G-faba-66و G-faba-65 که به‌ترتیب دارای بیش‌ترین میزان پرولین، گلایسین بتائین و فنل کل آندوسپرم بودند عملکرد دانه مناسب و مطلوبی در شرایط تنش خشکی داشتند. همچنین تنش خشکی سبب کاهش صفات زراعی مورد بررسی نظیر تعداد غلاف در بوته، دانه در غلاف، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شد، اما درصد کاهش عملکرد برخی ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کم‌تر بود. با شناسایی و استفاده از ژنوتیپ‌هایی که کاهش کم‌تری نسبت به شرایط نرمال داشتند می‌توان در برنامه‌های اصلاحی و همچنین کاشت در مناطق خشک به عملکردهای بالاتر دست یافت.

تشکر و قدردانی

از همکاران محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان بابت مساعدت در اجرا و اتمام این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

References

Abid, GH., Hessini, K., Aouida, M., Aroua, I., Baudoin, J.P., Yordan Muhovski, Y., Mergeai,G., Sassi, KH., Machraoui, M., Souissi, F. and Jebara, M. (2017). Agro-physiological and biochemical responses of Faba bean (*Vicia faba* L. var. 'minor') genotypes to water deficit stress. Biotechnol. Agronomy Society Environment. 21(2): 146-159.

Ahmad, P. and Sharma, S. (2010). Physiobiochmical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO3 stress. International Journal of Plant Production. 4: 79- 86.

Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. Biotechnology Advances. 28: 169-183.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59: 206-216.

Bell. A.A. (1981). Biochemical mechanism of disease resistance. Annual Review Plant Physiology. 32: 21-81.

Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F. and Marzouk, B. (2010). Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. Acta Physiology Plant. 33:1103-1111. DOI:10.1007/s11738-010-0638.

Boush, M., M., Banejad, H., Goldani, M. and 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.

Dawood, M.G. (2016). Influence of osmoregulators on plant tolerance to water stress. Scientia Agriculturae. 13 (1): 42-58.

Fariduddin, Q., Varshney, P., Yusuf, M. and Ali, A. (2013). Dissecting the role of glycine betaine in plants under abiotic stress. Plant Stress. 7 (1): 8-18.

Ghorbanli, M. and Niakan, M., (2005). Effect of drought stress on soluble suger, protein, proline, phenolic compound contents and reductase enzyme activity in Gorgan3 soybean cultivar. Journal of Science Teacher Education (Tteacher Training University). 5 (2):538 – 550. (In Persian with English abstract). (In persian).

Hamidi Moghaddam. R., A. Sirousmehr., and Ghanbari, A. (2021). Effect of sodium selenate, titanium dioxide and organic growth regulator on some physiological traits, yield and percentage oil of safflower under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 12(4):1-18. DOI. 10.22108/ijpb.2020.120569.1189. (In Persian).

Hashemi Khabir, S.H., Aywazi, A., Rezadost, S., Hashemi Khabir, S.H., and Hashemi Khabir, Z. (2011). Effect of drought stress during different developmental stages on nitrogen fixation in chickpea genotypes. Research in Agricultural Sciences. 3 (11): 82-67. (In persian).

Hassanpour Lescokelaye1, k., Ahmadi, J., Daneshyan, J., and Hatami, S. (2015). Changes in Chlorophyll, Protein and Antioxidant Enzymes on Durum Wheat under Drought Stress. Journal of Crop Breeding . 7(15): 76-87. (In persian).

Hossein Khani, H., SadeghiPour, A. and Rashidi Asl, A. (2018). The study glycine betaine application effect on yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.) under water stress conditions. Production Research. 10 (1): 85-95. (In persian).

Majdam, M. (2016). Effect of drought stress on physiological characteristics and yield of sunflower seed at different levels of nitrogen. Crop Production. 9 (4): 121-136. (In persian).

Mehraban, A., Azizian Sharma, A. and Kamali Deljo, A. (2016). Investigation of drought stress on yield and quality of eight soybean (*Glycin max* L.) cultivars in Sistan region. Plant Environmental Physiology. 11 (43): 99-90. (In Persian).

Memari, M. (2019). Yield Comparison of different varieties of Faba bean under drought stress. Islamic Azad University, Gorgan Branch. 142 P.

Moharamnejad, S., Valizadeh, M., Sefalian, A., Shiri, M. and Asghari, A. (2016). Effect of water deficit stress on agronomic traits and Mn-SOD enzyme activity in maize. Cereal Research. 6 (4): 300-290. (In persian).

Moradi, A., Ahmadi, A. and Hosseinzadeh, A. (2008). Agro-physiological response of mung bean (*cultivar Parto*) to severe and mild drought stress at vegetative and reproductive growth

stages.Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 45: 659-671. (In persian).

Murmu, k., Murmu, S., Kundu, C.K. and Bera, P.S. (2017). Exogenous prolin and glysine betaine in plants under stress tolerance. International Journal of Current Microbiology and Applied Science. 6: 901-913.

Nasrollahzadeh, V., Shiri, M.R., Moharramnezhad, S., Yousefi, M. and Baghbani, F. (2016). Effect of drought stress on agronomic and biochemical properties of three maize hybrids (*Zea mays* L.). Crop Physiology. 8 (32): 60-45. (In persian).

Shargi, F., Khalilv, E. and Behrouzyar, M. (2019). Effect of Nano-TiO2 and Salicylic Acid Foliar Application on some Biochemical Traits of Corn 704 Single Cross under Water Regimes. Iranian Journal of Field Crops Research. 18(2):241-250.

Sio-Se Mardeh, A., Sadeghi, F., Kanouni, H., Bahramnejad, B. and Gholami, S. (2014). Effect of drought stress on physiological traits, grain yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences. 16(2): 91 -108. (In Persian).

Tesfye, K., Walke, S. and Tsubo, M. (2006). Radintion interception and radiation use efficiency of three gran legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. European Journal of Agronomy. 25:60-70.

Vendruscolo, A.C.G., Schuster, I., Pileggi, M., Scapim, C.A. and Molinari, H.B. (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. Journal of Plant Physiology. 164: 1367-1376.

Zuo, S.; Li, J.; Gu, W. and Wei, S. (2022). Exogenous Proline Alleviated Low Temperature Stress in Maize Embryos by Optimizing Seed Germination, Inner Proline Metabolism, Respiratory Metabolism and a Hormone Regulation Mechanism. Agriculture, 12:548.

Boshagh, B., Astraki, H. and Pezashkipour, P. (2018). Evaluation of Faba Bean Genotypes using Drought Tolerance Indices and Multivariate Statistical Methods. Journal of Crop Breeding, 10(2):1-9.

Siddiqui, M.H., Al-Khaishany, M.Y., Al-Qutami, M.A., Al-Whaibi., M.H., Grover, A., Ali, H.M., Al-Wahibi, M.S. and Bukhari, N.A. (2015). Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. International Journal of Molecular Sciences. 16:102214-102227.