



The Effect of Ascorbic Acid Foliar Application on Grain Yield and Some Biochemical Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa wild*) under Water Stress Conditions

Seyyed Fatemeh Mousavi Sardou¹ | Isa Khammari²✉ | Seyyed Mohsen Mousavi Nick³ | Ali Akbar Maghsoudi⁴ | Maryam Allahdou⁵

1. Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: mfateme604@pnu.ac.ir
2. Corresponding Author, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: Ikhammari@uoz.ac.ir
3. Agronomy Department, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: moussavinnik@uoz.ac.ir
4. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. Email: maghsoudi.aa@uk.ac.ir
5. Plant Breeding and Biotechnology Department, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. Email: Maryam.allahdou@uoz.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 November 2022

Received in revised form: 07 March 2023

Accepted: 02 February 2023

Published online: April 28, 2023

Keywords:

Antioxidant, carotenoid, chlorophyll, drought stress, flavonoid, phenol.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of ascorbic acid on seed yield and some biochemical characteristics of quinoa plant under drought stress, the experiment was implemented in the form of split plots based on randomized complete blocks design with three replications in 2019 and 2019 at the station Research, agriculture and natural resources center of Kerman. The main factor included three levels of irrigation treatment (irrigation until the full ripening stage (control), irrigation until the beginning of the flowering stage, and irrigation until the beginning of the pulp stage) and the secondary factor included two levels of ascorbic acid foliar spraying (0 and 2 mM). Year and its interactions with both factors had no significant effect on all traits. The effect of irrigation factor, ascorbic acid and their interaction on all traits were significant except for the effect of irrigation factor on carotenoids content and interaction effect on grain yield and carbohydrate content. drought stress (irrigation until the beginning of the flowering stage and irrigation until the beginning of the pulp stage) caused a decrease in grain yield, the content of photosynthetic pigments, leaf protein, relative water content and an increase in carbohydrate and proline content. The seed yield under the conditions of irrigation until the beginning of the flowering stage and irrigation until the beginning of the pulp stage was reduced by 40.5% and 18.7%, respectively, compared to the control conditions. Regardless of the lack of significant difference between irrigation and ascorbic acid foliar treatments in trait of seed yield, foliar application with ascorbic acid led to the improvement of biochemical traits and seed yield in all three irrigation treatments. Seed yield increased by 22.7% with ascorbic acid foliar spraying. Since foliar spraying with ascorbic acid has improved grain yield, it is suggested to use this substance to compensate for the damage caused to quinoa plant as a result of drought stress.

Cite this article: Mousavi Sardou, S.F., Khammari, I., Mousavi Nik, S.M., Maghsoudi-Moud, A., & Allahdou, M. (2023). The effect of ascorbic acid foliar application on grain yield and some physiological traits of quinoa under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(2), 205-215. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.351119.654955.





تأثیر محلول پاشی آسکوربیک اسید بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa wild*) تحت شرایط تنش کم آبی

سید فاطمه موسوی ساردو^۱ | عیسی خمیری^۲ | سید محسن موسوی نیک^۳ | علی اکبر مقصودی^۴ | مریم اله دوه^۵

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: mfateme604@pnu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: Ikhammari@uoz.ac.ir
۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: moussavinnik@uoz.ac.ir
۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: maghsoudi.aa@uk.ac.ir
۵. گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران. رایانامه: Maryam.allahdou@uoz.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

به منظور بررسی اثر آسکوربیک اسید بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گیاه کینوا تحت شرایط تنش کم آبی آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در ایستگاه مرکز تحقیقات و کشاورزی و منابع طبیعی کرمان اجرا شد. عامل اصلی شامل سه سطح تیمار آبیاری (آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل (شاهد)، آبیاری تا شروع مرحله گلدهی و آبیاری تا شروع مرحله خمیری) و عامل فرعی شامل دو سطح محلول پاشی آسکوربیک اسید (صفر و ۲ میلی مولار) بود. سال و اثرات متقابل آن با هر دو عامل روی کلیه صفات تاثیر معنی داری نداشت. اثر عامل آبیاری و آسکوربیک اسید و اثر متقابل آن‌ها بر کلیه صفات غیر از اثر عامل آبیاری بر محتوای کاروتنوئیدها و اثر متقابل بر عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات معنی دار بود. تنش کم آبی (آبیاری تا شروع مرحله گلدهی و آبیاری تا شروع مرحله خمیری) سبب کاهش عملکرد دانه، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین برگ، محتوای نسبی آب و افزایش محتوای کربوهیدرات و پرولین شد. عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تا شروع مرحله گلدهی و آبیاری تا شروع مرحله خمیری نسبت به شرایط کنترل به ترتیب ۴۰/۵ و ۱۸/۷ درصد کاهش داشت. صرف نظر از عدم اختلاف معنی دار بین تیمارهای آبیاری و محلول پاشی آسکوربیک اسید در صفت عملکرد دانه، محلول پاشی با آسکوربیک اسید منجر به بهبود صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه در هر سه تیمار آبیاری شد. عملکرد دانه با محلول پاشی آسکوربیک اسید ۲۲/۷ درصد افزایش نشان داد. از آنجایی که محلول پاشی با آسکوربیک اسید سبب بهبود عملکرد دانه شده است، استفاده از این ماده برای جبران آسیب‌های وارده در نتیجه تنش خشکی به گیاه کینوا پیشنهاد می‌شود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

کلیدواژه‌ها:

آنتی اکسیدان،
تنش خشکی،
فلاونوئید،
فنل،
کاروتنوئیدها،
کلروفیل.

استناد: موسوی ساردو، س.ف، خمیری، ع.، موسوی نیک، س.م.، مقصودی مود، ع.ا.، و اله دوه، م. (۱۴۰۲). تاثیر محلول پاشی آسکوربیک اسید بر عملکرد دانه و برخی صفات فیزیولوژیک کینوا تحت شرایط تنش کم آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۲)، ۲۰۵-۲۱۵.

DOI: 10.22059/ijfcs.2023.351119.654955



۱. مقدمه

گیاهان در طبیعت به طور مداوم در معرض تنش‌های زنده و غیر زنده متعددی قرار دارند. باتوجه به اثرات زیان‌آور این تنش‌ها، عملکرد گیاهان در حال کاهش است. بنابراین، به‌حداقل رساندن این تلفات یکی از دغدغه‌های اصلی است. در میان تنش‌های زنده و غیر زنده که گیاهان با آن مواجه می‌شوند، تنش خشکی یکی از نامطلوب‌ترین عواملی است که روی رشد و عملکرد گیاه تأثیر گذاشته و تهدیدی جدی برای تولید پایدار محصول در شرایط تغییر اقلیم به شمار می‌رود (El-Bially *et al.*, 2018). مطالعات متعددی کاهش رشد و عملکرد گیاه کینوا را تحت شرایط تنش خشکی نشان داده است (Aziz *et al.*, 2018; Elewa *et al.*, 2017b; El-Shamy *et al.*, 2022). کاهش پارامترهای رشدی و عملکرد دانه گیاهان تحت شرایط تنش کم آبی در سایر گیاهان مانند کنجد (Ghotbzadeh Kermani *et al.*, 2019) و لوبیا (Gaafar *et al.*, 2020) نیز مشاهده شده است.

از میان چندین گیاه زراعی شناخته‌شده به‌دلیل سهم قابل توجهی که در امنیت غذایی دارند، کینوا (*Chenopodium quinoa* Wild.) یکی از مهم‌ترین گیاهان است. کینوا گیاه دانه‌ای آلوتراپلوئید اقتصادی مهم می‌باشد که یکساله است و به عنوان یک محصول شبه غلات علفی در نظر گرفته می‌شود. باتوجه به اهمیت آن برای امنیت غذایی، سازمان خواربار و کشاورزی ایالات متحده (FAO) سال ۲۰۱۳ را به عنوان سال بین‌المللی کینوا (IYQ2013) اعلام کرد. کینوا یک گیاه حیاتی به‌دلیل اهمیت تغذیه‌ای زیاد و مقاومت بالا در برابر تنش‌های غیر زنده است (Bascunan-Godoy *et al.*, 2016). دانه‌های آن دارای محتوای بالایی از اسیدهای چرب، ویتامین‌ها، مواد معدنی، فلاونوئیدها، فیبرهای غذایی و پلی‌فنول‌ها هستند (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010).

تنش‌های محیطی مختلف منجر به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود که سبب آسیب اکسیداتیو، پراکسیداسیون پلاسمالما، جهش DNA، دنا توره‌شدن پروتئین و در نهایت مرگ سلولی می‌شود (Sharma *et al.*, 2012). گیاهان برای مقابله با اثرات زیان‌آور ROS سیستم‌های دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی را به کار می‌برند. سیستم دفاعی غیر آنزیمی شامل مولکول‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربیک اسید، کاروتنوئیدها، گلوکاتیون، پرولین و α -توکوفرول‌ها می‌باشد. این سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی برای کنترل آبشارهای اکسیداسیون کنترل نشده بسیار کارآمد هستند و سلول‌های گیاهی را در برابر آسیب‌های اکسیداتیو با حذف ROS حفاظت می‌کنند (Gill & Tuteja, 2010). پرولین به تثبیت ساختارهای درون سلولی (به عنوان مثال، غشاها و پروتئین‌ها)، از بین بردن رادیکال‌های آزاد و بافر پتانسیل سلولی در شرایط تنش کمک می‌کند. همچنین به عنوان یک آنتی-اکسیدان و مهارکننده گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) عمل می‌کند (Ghosh *et al.*, 2021). محققان متعددی در گیاه کینوا و سایر گیاهان گزارش کرده‌اند که تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تجمع پرولین و کربوهیدرات را افزایش داده که نشان-دهنده پاسخ گیاهان به تنش اکسیداتیو است (Askari & Ehsanzadeh, 2015; Khazaei *et al.*, 2020; Gholami *et al.*, 2021).

برای بهبود تحمل گیاه به تنش خشکی در طول چند دهه اخیر، به موازات اصلاح سنتی و تکنیک‌های بیوتکنولوژی، استراتژی‌های متعددی برای بهبود عملکرد گیاه در محیط‌های تنش خشکی پیشنهاد شده است. این تکنیک‌ها شامل تیمار قبل از کاشت بذر یا محلول پاشی با آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها و ترکیب‌های محافظت‌کننده اسمزی مانند گلیاسین بتائین، پرولین، آسکوربیک اسید یا ترهالوز است (Elewa *et al.*, 2017). آسکوربیک اسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان، یک کوفاکتور آنزیمی و یک پیش‌ساز برای سنتز اگزالات و تارتارات عمل می‌کند (Rigano *et al.*, 2017). آسکوربیک اسید اساساً به عنوان کاهش‌دهنده عمل می‌کند و بسیاری از انواع رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برد (Ahmad *et al.*, 2010). ویتامین‌ها تأثیر مطلوبی بر افزایش تقسیم سلولی و سنتز هورمون‌های گیاهی نظیر سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها دارند (Abdelhamid *et al.*, 2013). آسکوربیک اسید تحمل به تنش کم آبی را از طریق فرایندهای فیزیولوژی و بیوشیمیایی در گیاهان بهبود می‌بخشد (Gaafar *et al.*, 2020).

با مطالعه آفتابگردان تحت شرایط تنش کم آبی گزارش شد که محتوای کلروفیل برگ و مقادیر عملکرد دانه در گیاهان تیمار شده با آسکوربیک اسید در مقایسه با گیاهان تیمار نشده افزایش نشان داد که نقش مثبت آسکوربیک اسید را در کاهش اثرات نامطلوب تنش کم آبی آشکار کرد (El-Bially *et al.*, 2018). در مطالعه دیگری بهبود محتوای پرولین، کلروفیل، کاروتنوئید و

کربوهیدرات‌های محلول در گیاه فلفل با محلول پاشی آسکوربیک‌اسید مشاهده شد (Khazaei et al., 2020). در گیاه کینوا نیز بهبود رشد گیاه و فعالیت آنزیم‌ها و مولکول‌های آنتی‌اکسیدان با محلول پاشی آسکوربیک‌اسید به دست آمد (Aziz et al., 2018). این تحقیق به منظور بررسی تاثیر محلول پاشی آسکوربیک‌اسید بر عملکرد دانه و برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه کینوا تحت شرایط تنش کمبود آب انجام شد.

۰۲ روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق در ایستگاه مرکز تحقیقات و کشاورزی و منابع طبیعی کرمان واقع در ۲۲ کیلومتری جنوب شهر کرمان با موقعیت جغرافیایی ۵۷ درجه، ۴ دقیقه و ۵۵ ثانیه طول شرقی و ۳۰ درجه، ۱۷ دقیقه و ۲۱ ثانیه عرض شمالی و ارتفاع ۱۸۳۰ متر از سطح دریا روی گیاه کینوا انجام شد. این ناحیه آب و هوای خشک و نیمه‌معتدل داشته و متوسط بارندگی سالیانه آن در حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال‌های پرباران است. میانگین بارندگی در ماه‌های مربوط به سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در جدول ۱ آمده است. حداقل و حداکثر متوسط دمای سالیانه آن به ترتیب ۱۴- و ۴۰+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بافت خاکی مزرعه شنی لومی و pH خاک نیز معادل ۷/۷ بود (جدول ۲).

آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. عامل اصلی شامل سه سطح تیمار آبیاری شامل: آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل (شاهد)، آبیاری تا شروع مرحله گلدهی و آبیاری تا شروع مرحله خمیری و عامل فرعی شامل دو سطح محلول پاشی آسکوربیک‌اسید (صفر و ۲ میلی‌مولار) بود. عرض و طول کرت‌ها ۲/۴ در ۳ متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها سه متر و هر کرت فرعی شامل ۴ ردیف کاشت بود. فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در هر خط کاشت ۱۰ سانتی‌متر بود. آبیاری قبل از کاشت و بعد از سبز شدن هفته‌ای یک‌بار تا شروع مرحله گلدهی برای شرایط تنش شدید انجام شد. در شرایط تنش ملایم آبیاری تا مرحله خمیری نرم ادامه داشته و سپس قطع شد. برای شرایط نرمال نیز آبیاری تا رسیدگی فیزیولوژیکی ادامه داشت. برای کاشت ابتدا خاک مزرعه تسطیح و شخم به عمق ۳۰ سانتی‌متر با گاوآهن قلمی انجام شد. میزان کود مصرفی نیز بسته به آزمایش خاک تعیین شد. به دلیل بیماری بوته‌میری قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش ضدعفونی شدند.

جدول ۱. میانگین بارندگی در ماه‌های مربوط به سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در شهرستان کرمان (بر حسب میلی‌متر)

2020		2021	
Month	Rainfall (mm)	Month	Rainfall (mm)
June	1.5	June	0
July	0	July	0
August	0	August	0
September	0	September	0
October	26.5	October	25.5
November	19.6	November	0

جدول ۲. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر)

Soil characteristics	Results of soil analysis	
	2020	2021
Soil Pattern	Sandy Loam	Sandy Loam
Sand (%)	69	71
Clay (%)	13	12
Silt (%)	18	17
pH	7.7	7.9
EC (dS.m ⁻¹)	1.98	1.91

عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ مردادماه و در عمق یک سانتی‌متری با دست انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز نیز صورت گرفت، چون در هفته اول کشت که رشد گیاه کینوا به کندی صورت می‌گیرد، مبارزه با علف‌های هرز ضروری است. محلول پاشی آسکوربیک-اسید در دو مرحله یک‌بار در مرحله شروع گلدهی و بار دوم ۲ هفته پس از محلول پاشی نوبت اول با استفاده از سم‌پاش دستی در

غروب آفتاب انجام شد. عملیات برداشت پس از زرد شدن بوته‌ها و رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ ۲۵ آبان ماه به صورت دستی انجام و عملکرد دانه (گرم در متر مربع) برای هر واحد آزمایشی محاسبه شد.

۱-۲. صفات مورد بررسی

۱-۱-۲. **عملکرد دانه:** برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، کل بوته‌های هر واحد آزمایشی به غیر از حاشیه پس از رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شده و بر حسب گرم در متر مربع بیان شد.

۲-۱-۲. **میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها:** ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نیم گرم ماده گیاهی پودر شده اضافه و با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. فاز بالایی به بالن شیشه‌ای منتقل و مقداری از آن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کاروتنوئیدها مقدار جذب قرائت شد.

در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

$$a \text{ کلروفیل} = [(12.7 \times A_{663}) - (2.69 \times A_{645})] \times V / 1000 \times W \quad (1)$$

$$b \text{ کلروفیل} = [(22.9 \times A_{645}) - (4.69 \times A_{663})] \times V / 1000 \times W \quad (2)$$

$$\text{کاروتنوئید} = \{ [1000(A_{470}) - 1.8(\text{chl}a) - 85.02(\text{chl}b)] / 198 \} \times V / 1000 \times W \quad (3)$$

در این روابط A میزان جذب در طول موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد بر حسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ بر حسب گرم می‌باشد (Lichtenthaler & Wellburn, 1985).

۳-۱-۲. **محتوای پرولین:** اندازه‌گیری میزان پرولین برگ با استفاده از روش Bate *et al.* (1973) به شرح زیر انجام شد: ۰/۰۵ گرم از بافت برگ در ۵ میلی‌لیتر محلول اسیدسولفوسالیسیلیک ۳ درصد ساییده شده و محلول با کاغذ صاف شد. سپس ۳ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده با ۲ میلی‌لیتر محلول اسیدناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از آن لوله‌ها به حمام یخ منتقل شدند. بعد از آن به لوله‌ها ۶ میلی‌لیتر تولوئن اضافه کرده و لوله‌ها به خوبی تکان داده شدند و بعد از حدود ۲۰ ثانیه دو فاز مجزا تشکیل شد. از فاز بالایی برای اندازه‌گیری میزان پرولین در طول موج ۵۲۹ نانومتر استفاده شد. میزان پرولین استخراجی بر اساس میکرومول در گرم وزن تر از جدول استاندارد استخراج شد. ۱-۲-۲. **محتوای پروتئین برگ:** برای اندازه‌گیری محتوای پروتئین برگ ابتدا معرف برادفورد آماده شد. سپس به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی مقدار ۵ میلی‌لیتر از معرف برادفورد افزوده شد. پس از دو دقیقه، میزان جذب آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد. بر اساس مقایسه با منحنی استاندارد، غلظت پروتئین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Bradford, 1976).

۵-۱-۲. **محتوای کربوهیدرات:** برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به ۰/۲ گرم بافت تازه نمونه اضافه شده و سپس نمونه‌ها در حمام آب گرم به مدت یک ساعت با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن به یک میلی‌لیتر از محلول به دست آمده یک میلی‌لیتر فنل ۰/۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد اضافه شد و جذب آن در طول موج ۴۸۳ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس منحنی استاندارد گلوکز به دست آمد (Keles & Oncle, 2004).

۶-۱-۲. **محتوای نسبی آب برگ:** نیم گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته بوته هر کرت آزمایشی برداشت شده و وزن آن با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم به دست آمد (FW). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون آب مقطر شناور شده و در تاریکی و دمای اتاق نگهداری شدند و بعد از آن با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد تا وزن در هنگام

تورژسانس (TW) به دست آید. پس از آن برگ‌ها در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته تا وزن خشک (DW) حساب شود. RWC از طریق معادله زیر محاسبه شد (Ritchi & Nguyen, 1990).

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

۲-۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا داده‌ها در نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۸ از نظر نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت، بدین صورت که ابتدا تست نرمالیتی داده‌ها با استفاده از روش کولموگراف اسمیرنوف انجام و پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، خطاها از نظر نرمال بودن بررسی شدند. همگنی خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت نیز بررسی شد. سپس تجزیه واریانس مرکب کلیه صفات و آزمون مقایسه میانگین به روش LSD در سطح پنج درصد با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد (SAS 2010).

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که سال و اثر متقابل آن با هر دو عامل تیمار آبیاری و آسکوربیک اسید روی کلیه صفات اندازه‌گیری شده تاثیر معنی‌داری نداشت. بنابراین عکس‌العمل صفات در دو سال زراعی متفاوت نبوده است. اثر تیمار آبیاری روی کلیه صفات به غیر از محتوای کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. اثر عامل آسکوربیک اسید روی کلیه صفات معنی‌دار بود. اثر متقابل این دو عامل نیز روی کلیه صفات به استثنای عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات معنی‌دار بود که نشان‌دهنده این است که واکنش تیمارهای آبیاری برای این صفات به سطوح مختلف عامل آسکوربیک اسید متفاوت بوده است.

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی گیاه کینوا تحت سه تیمار آبیاری (A) و دو سطح آسکوربیک اسید (B) در دو سال (Y).

S.O.V	d.f.	Mean Squares									
		Seed yield	Chl-a	Chl-b	Carotenoids	Leaf Protein	Carbohydrate	Proline	Phenol	Flavonoid	RWC
Y	1	3.14 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.266 ^{ns}
Rep. (Y)	4	106.3	0.009	0.020	0.008	0.003	0.187	0.008	0.024	0.015	20.33
A	2	26317 ^{**}	3.052 ^{**}	0.203 ^{**}	0.020 ^{ns}	0.234 ^{**}	2.287 ^{**}	22.7 ^{**}	11.490 ^{**}	0.515 ^{**}	857.3 ^{**}
Y × A	2	1.996 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.065 ^{ns}	0.024 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.489 ^{ns}
Rep. × A (Y)	8	113.0	0.007	0.021	0.017	0.003	0.066	0.005	0.011	0.008	27.5
B	1	20356 ^{**}	2.119 ^{**}	0.212 ^{**}	0.246 ^{**}	0.293 ^{**}	0.516 ^{**}	8.353 ^{**}	0.595 ^{**}	1.738 ^{**}	447.8 ^{**}
A × B	2	379.2 ^{ns}	0.634 ^{**}	0.365 ^{**}	0.340 ^{**}	0.127 ^{**}	0.0007 ^{ns}	0.892 ^{**}	0.261 [*]	0.196 ^{**}	114.2 ^{**}
Y × B	1	2.333 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.048 ^{ns}
Y × A × B	2	2.894 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.119 ^{ns}
Error	12	109.6	0.006	0.021	0.008	0.001	0.020	0.018	0.048	0.009	12.45

ns: غیر معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

مقایسه میانگین عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات در تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که متناسب با تنش خشکی مقادیر عملکرد دانه کاهش و محتوای کربوهیدرات افزایش داشتند (جدول ۴). عملکرد دانه ۱۸/۷ و ۴۰/۵ درصد به ترتیب در شرایط تنش ملایم (آبیاری تا شروع مرحله خمیری) و تنش شدید (آبیاری تا شروع مرحله گلدهی) نسبت به شرایط غیر تنش (آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل) کاهش نشان دادند.

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات گیاه کینوا در تیمارهای مختلف آبیاری.

Irrigation treatments	Seed yield (g m ⁻²)	Carbohydrate (mg g ⁻¹ FW)
Irrigation to the full maturity stage	230.9 ^a ±14.17	2.968 ^c ±0.124
Irrigation to the flowering stage	137.3 ^c ±9.73	3.823 ^a ±0.121
Irrigation to the dough development stage	187.8 ^b ±8.05	3.243 ^b ±0.061

برای هر صفت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

مطابق با نتایج این تحقیق، (Elewa et al., 2017b)، (Aziz et al., 2018) و (El-Shamy et al., 2022) کاهش پارامترهای رشدی، عملکرد دانه و اجزای آن را در گیاه کینوا تحت تنش خشکی مشاهده کردند. سایر محققان نیز در گیاهان مختلف اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد دانه را گزارش کردند (Dolatabadian et al., 2010; Gaafar et al., 2020). در شرایط تنش کم آبی، تلفات جدی برای فرآیندهای رشد گیاه رخ می‌دهد و تقسیم سلولی، تکثیر سلولی و مراحل بلوغ سلولی به‌طور قابل توجهی مختل می‌شود. رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش شدید آب کیفیت خود را از دست داده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شوند (Kapoor et al., 2020).

بیشترین و کمترین محتوای کربوهیدرات به ترتیب در شرایط تنش شدید و غیر تنش به دست آمد (جدول ۴). طبق نتایج این تحقیق، افزایش محتوای کربوهیدرات در گیاه کلزا نیز تحت شرایط تنش کمبود آب مشاهده شد (Farahani et al., 2020). گزارش شده است که کربوهیدرات‌های محلول کل تحت تنش خشکی در کتان افزایش یافته که نقش مهمی در تنظیم اسمزی، ذخیره کربن و مهار رادیکال داشتند (Bakry et al., 2012).

محلول پاشی با آسکوربیک اسید منجر به بهبود عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات شد. عملکرد دانه با محلول پاشی این ماده ۲۲/۷ درصد افزایش داشت (جدول ۵). آسکوربیک اسید یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی است که گیاهان برای حفاظت خود از آسیب اکسیداتیو از طریق مهار و حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) استفاده می‌کنند (Gill & Tuteja, 2010). آسکوربیک اسید در فرآیندهای متعددی شامل فتوسنتز، رشد دیواره سلولی، توسعه سلول، مقاومت به تنش‌های محیطی و سنتز اتیلن، جیبرلین‌ها، آنتوسیانین و هیدروکسیل پرولین شرکت می‌کند (Smirnov & Wheeler, 2000). از این رو ماده مناسبی برای افزایش عملکرد در گیاهان می‌باشد. گزارش شده است که کاربرد غلظت‌های مختلف آسکوربیک اسید در شرایط تنش خشکی در گیاه کینوا سبب بهبود عملکرد، محتوای نسبی آب و شاخص‌های رشدی گیاه شد (Mahdavi Rad et al., 2022).

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد دانه و محتوای کربوهیدرات گیاه کینوا برای فاکتور آسکوربیک اسید.

Ascorbic acid	Seed yield (g m ⁻²)	Carbohydrate (mg g ⁻¹ FW)
Non-application	161.6 ^b ±15.03	3.225 ^b ±0.169
application	209.1 ^a ±18.00	3.465 ^a ±0.182

برای هر صفت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

محقق دیگری افزایش پارامترهای رشدی با کاربرد آسکوربیک اسید در گیاه ذرت تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش خشکی مشاهده کرده و بیان کردند که این افزایش رشد در نتیجه تأثیر آسکوربیک اسید روی تقسیم سلولی است و همچنین آسکوربیک اسید به‌عنوان یک مولکول آنتی‌اکسیدان، اثرات زیان‌آور تنش خشکی را کاهش می‌دهد. آن‌ها همچنین افزایش وزن دانه را با کاربرد آسکوربیک اسید در گیاهان تنش دیده و گیاهان رشد کرده در شرایط نرمال گزارش کرده و اظهار داشتند که این افزایش می‌تواند به سبب افزایش فتوسنتز و انتقال آسیمیلات‌ها به دانه در نتیجه کاهش اثرات تنش خشکی مربوط به آسکوربیک اسید باشد (Dolatabadian et al., 2010). گزارش شده است که محلول پاشی با آسکوربیک اسید اثرات نامطلوب تنش خشکی روی صفاتی مانند بسته‌شدن روزنه‌ها، جذب مواد غذایی، کلروفیل کل، سنتز پروتئین، فرآیند فتوسنتز و رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Hafez & Gharib, 2016).

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و عامل آسکوربیک اسید برای غلظت کلروفیل a و محتوای نسبی آب نشان داد که بیشترین آن‌ها در شرایط عدم محلول پاشی با آسکوربیک اسید و شرایط آبیاری تا رسیدگی کامل (شاهد) و کمترین آن‌ها در شرایط محلول پاشی با آسکوربیک اسید و آبیاری تا شروع مرحله گلدهی (تنش شدید) به دست آمد. کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) و محتوای نسبی آب تحت شرایط تنش کم آبی شدید در هر دو سطح عامل آسکوربیک اسید مشاهده شد که نشان‌دهنده آسیب ناشی از تنش به این صفات است (جدول ۶).

محققان متعددی مانند (Razzaq *et al.*, 2017) در گیاه هویج، (Caser *et al.*, 2018) در گیاه مریم‌گلی و (El-Shamy *et al.*, 2022) در گیاه کینوا کاهش محتوای کلروفیل را در نتیجه تنش خشکی مشابه با نتایج این تحقیق گزارش کردند. کاهش محتوای کلروفیل در اکثر گیاهان تحت تنش ممکن است به دلیل ازهم‌گسیختگی غشاهای تیلاکوئید همراه با تجزیه بیشتر از سنتز کلروفیل از طریق تشکیل آنزیم‌های پروتئولیتیک مانند کلروفیلاز که مسئول تجزیه کلروفیل است، باشد (Rong-Hua *et al.*, 2006).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و فاکتور آسکوربیک‌اسید برای صفات بیوشیمیایی گیاه کینوا.

Irrigation treatments	Ascorbic acid	Chl-a	Chl-b (mg g ⁻¹ FW)	Carotenoids	Phenol (mg Gallic acid/ g FW)
Irrigation to the full maturity stage	Non- application	2.167 ^b ±0.061	1.852 ^b ±0.128	1.459 ^b ±0.070	4.741 ^c ±0.068
	Application	2.805 ^a ±0.046	1.826 ^c ±0.002	1.365 ^b ±0.048	5.032 ^d ±0.125
Irrigation to the flowering stage	Non- application	1.066 ^d ±0.008	1.618 ^d ±0.006	1.308 ^b ±0.003	6.490 ^b ±0.023
	Application	1.915 ^c ±0.005	1.550 ^e ±0.008	1.352 ^b ±0.002	7.059 ^a ±0.049
Irrigation to the dough development stage	Non- application	2.148 ^b ±0.006	1.479 ^b ±0.005	1.099 ^c ±0.043	5.403 ^c ±0.053
	Application	2.116 ^b ±0.009	2.035 ^a ±0.015	1.645 ^a ±0.009	5.346 ^c ±0.069

ادامه جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و فاکتور آسکوربیک‌اسید برای صفات بیوشیمیایی گیاه کینوا.

Irrigation treatments	Ascorbic Acid	Flovanoid (mg Quercetin/ g FW)	RWC (%)	Leaf protein (mg g ⁻¹ FW)	Proline (μmol g ⁻¹ FW)
Irrigation to the full maturity stage	Non- application	0.913 ^c ±0.010	85.4 ^b ±2.644	0.791 ^a ±0.036	3.435 [±] 0.087
	Application	1.253 [±] 0.037	88.4 ^a ±1.770	0.734 ^a ±0.020	5.018 [±] 0.065
Irrigation to the flowering stage	Non- application	1.117 ^d ±0.026	63.4 ^e ±1.031	0.339 ^b ±0.007	6.599 [±] 0.008
	Application	1.875 [±] 0.029	77.6 [±] 1.029	0.650 ^b ±0.005	7.349 [±] 0.005
Irrigation to the dough development stage	Non- application	1.129 ^d ±0.017	80.3 [±] 1.526	0.554 ^c ±0.002	5.185 ^d ±0.005
	Application	1.403 ^b ±0.048	84.2 ^b ±0.716	0.841 [±] 0.005	5.743 [±] 0.007

برای هر صفت میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

یکی از شاخص‌هایی که آسیب‌های ایجادشده در نتیجه تنش اکسیداتیو را نشان می‌دهد، محتوای نسبی آب می‌باشد و کاهش آن مانند نتایج این تحقیق توسط محققان متعددی در گیاهان مختلف نظیر کینوا (Aziz *et al.*, 2018)، گندم (Hafez & Gharib, 2016) و گیاه کینوا و جویس (Lin & Chao, 2021) گزارش شده است.

افزایش محتوای نسبی آب در هر سه تیمار آبیاری با محلول‌پاشی آسکوربیک‌اسید به دست آمد (جدول ۶). حفظ محتوای بالای نسبی آب برگ در شرایط تنش رطوبتی به‌وسیله آسکوربیک‌اسید ممکن است نشان‌دهنده استحکام بیشتر دیواره سلولی و مقاومت آن در برابر ازدست‌دادن آب باشد. بهبود رشد گیاه تحت تیمارهای تنش آبی می‌تواند در نتیجه بهبود محتوای نسبی آب ناشی از محلول‌پاشی با آسکوربیک‌اسید باشد (Naz *et al.*, 2016).

مقدار پروتئین برگ در سطح عدم محلول‌پاشی با آسکوربیک‌اسید تحت هر دو شرایط تنش کم‌آبی (ملایم و شدید) و در سطح محلول‌پاشی با سید تحت تنش شدید کم‌آبی کاهش نشان داد (جدول ۶). کاهش پروتئین برگ تحت شرایط تنش خشکی در گیاه جو مطابق با نتایج این تحقیق مشاهده شد (Gangi *et al.*, 2016). کاهش محتوای پروتئین در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به سبب واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، کاهش سنتز و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده آن و افزایش اسیدهای آمینه آزاد مانند پرولین باشد (Bajji *et al.*, 2001).

بهبود محتوای کلروفیل a به وسیله محلول‌پاشی با آسکوربیک‌اسید در هر سه تیمار آبیاری مشاهده شد که بیانگر نقش مثبت این ترکیب روی این صفت می‌باشد (جدول ۴). طبق این نتایج، Aziz *et al.* (2018) گزارش کردند که کاربرد آسکوربیک‌اسید سبب بهبود رشد گیاه، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای پرولین در گیاه کینوا تحت سطوح مختلف تنش خشکی شد. El-Bially *et al.* (2018) بیان کردند که گیاهان آفتابگردان تیمار شده با آسکوربیک‌اسید تحت شرایط تنش خشکی کاهش کلروفیل کمتری نسبت به تیمار نشده‌ها داشتند و همچنین آسکوربیک‌اسید اثر مطلوب بر عملکرد دانه تحت هر دو شرایط تنش و غیر تنش خشکی نشان داد.

ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین مانند کربوهیدرات‌های محلول، پرولین و سایر اسیدهای آمینه، می‌توانند پتانسیل اسمزی سلول را برای بهبود جذب آب تحت تنش خشکی تنظیم کنند و از آنزیم‌ها، غشاهای بیولوژیکی و دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت کنند (Anjun *et al.*, 2012). در مطالعه حاضر بیشترین و کمترین محتوای پرولین (به ترتیب ۷/۳۴۶ و ۴/۹۴۸ میکرومول بر گرم وزن تر) به ترتیب در شرایط تنش شدید و محلول پاشی با آسکوربیک اسید و آبیاری نرمال و عدم محلول پاشی با آسکوربیک اسید ثبت شد. افزایش تجمع پرولین در هر سه تیمار آبیاری با محلول پاشی آسکوربیک اسید به دست آمد (جدول ۶) و این نتیجه با گزارش قبلی در مورد گیاه فلفل مطابقت داشت (Khazaei *et al.*, 2020). مقدار پرولین در هر دو سطح عامل آسکوربیک اسید تحت هر دو شرایط تنش آبی (ملایم و شدید) افزایش داشت (جدول ۶). تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی به دلیل تنش‌های غیر زنده نقش مهمی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) داشته که به دلیل عملکرد آن به عنوان یک مهارکننده اکسیژن تک است (El-Bassiouny *et al.*, 2018). Yazdanpanah *et al.* (2011) گزارش کردند که در طول تنش اکسیداتیو، تجمع محتوای پرولین با تیمار آسکوربیک اسید افزایش یافته و در نتیجه مقاومت در برابر از دست دادن آب برگ و سرعت رشد گیاه در شرایط تنش بهبود می‌یابد. پرولین می‌تواند تحت تنش خشکی به پروتئین‌ها متصل شود تا از پروتئین‌ها در برابر دناتوره شدن ناشی از کم آبی محافظت کند و همچنین وضعیت ردوکس سلولی را تثبیت می‌کند (Fang & Xiong, 2015). بنابراین، پرولین به سرعت تحت استرس انباشته می‌شود و به عنوان یک ماده مهم تنظیم کننده اسمز در گیاهان عمل می‌کند (Lin & Chao, 2021).

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار آبیاری و آسکوربیک اسید برای محتوای فنل و فلاونوئید نشان داد که بیشترین مقدار فنل و فلاونوئید در شرایط آبیاری تا مرحله گلدهی و کاربرد آسکوربیک اسید (۷/۰۵۹ میلی گرم گالیک اسید بر وزن تر فنل و ۱/۸۷۵ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن تر فلاونوئید) و کمترین آن در شرایط آبیاری تا مرحله رسیدگی کامل و عدم کاربرد آسکوربیک اسید (۴/۷۴۱ میلی گرم گالیک اسید بر وزن تر فنل و ۰/۹۱۳ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن تر فلاونوئید) به دست آمد (جدول ۶). این نتایج بیانگر این است که تنش کمبود آب سبب افزایش محتوای فنل کل و فلاونوئید شده و محلول پاشی با آسکوربیک اسید مقدار این متابولیت‌ها را بهبود داده است. تحت تنش کم آبی شدید تیمار محلول پاشی با آسکوربیک اسید منجر به افزایش بیشتر این صفات (به میزان ۶۷/۱۶ محتوای فنل کل و ۴۸/۶۹ فلاونوئید کل) نسبت به تیمار کنترل (آبیاری تا رسیدگی کامل و عدم محلول پاشی با آسکوربیک اسید) شد.

آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی، مانند فنل‌های کل، متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که در جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و تجزیه پروتئین‌ها، از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن و جلوگیری از آسیب DNA نقش دارند (Quan *et al.*, 2016). افزایش محتوای فنلی در پاسخ به تنش خشکی گیاه کینوا ممکن است به این دلیل باشد که متابولیت‌ها در مهار گونه‌های فعال اکسیژن عمدتاً از طریق آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو با استفاده از پلی فنل‌ها به عنوان سوبسترا مشارکت داشته‌اند (Elewa *et al.*, 2017a). مطابق با نتایج این تحقیق گزارش شده بود که تنش کم آبی محتوای فنلیک کل، فلاونوئید کل و تانن کل در برگ لوبیا را به ترتیب ۲۵/۶ و ۱۱/۱ درصد نسبت به شاهد (آبیاری شده) افزایش و کاربرد آسکوربیک اسید با غلظت ۴۰۰ میلی گرم در لیتر به طور قابل توجهی محتوای فنلیک کل، فلاونوئید کل و تانن کل را به ترتیب ۵۱/۹، ۶۵/۶ و ۵۴/۷ درصد نسبت به شاهد بالا برده بود (Gaafar *et al.*, 2020).

۴. نتیجه گیری

تنش کم آبی سبب آسیب به صفات فیزیولوژیک و متعاقباً کاهش عملکرد دانه در گیاه کینوا شد که بیانگر آسیب اکسیداتیو در این شرایط است. محلول پاشی با آسکوربیک اسید منجر به بهبود صفات بیوشیمیایی مانند رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای نسبی آب و محتوای پروتئین برگ، کربوهیدرات، پرولین، فنل و فلاونوئید در هر سه تیمار آبیاری شده و علی‌رغم عدم اثر متقابل تیمار آبیاری و آسکوربیک اسید در صفت عملکرد، کاربرد آسکوربیک اسید سبب افزایش عملکرد در شرایط تنش شد که نشان دهنده اثر مثبت این محلول در کاهش اثرات زیان آور تنش اکسیداتیو بود.

۵. منابع

- Ahmad, P., Jaleel, C.A., Salem, M.A., Nabi, G., & Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress: A review. *Critical Review in Biotechnology*, 30, 161-175.
- Abdelhamid, M.T., Sadak, M.S.H., Schmidhalter, U., & El-Saad, A. (2013). Interactive effects of salinity stress and nicotinamide on physiological and biochemical parameters of *faba bean* plant. *Acta Biologica Colombiana*, 18, 499-510.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E.K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudo cereals and their increasing use as functional gluten-free ingredient. *Trends in Food and Science Technology*, 21, 106-113.
- Anjun, S.A., Farooq, M., Xie, X.Y., Liu, X.J., & Ijaz, M. (2012). Antioxidant defense system and proline accumulation enables hot pepper to perform better under drought. *Science Horticulture*, 140, 66-73.
- Askari, E., & Ehsanzadeh, P. (2015). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 4-14.
- Aziz, A., Akram, N.A., & Ashraf, M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192-203.
- Bajji, M., Lutts, S., & Kinet, J.M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum Desf*) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science*, 160, 669-681.
- Bakry, A.B., El-Hariri, D.M., Sadak, M.S., & El-Bassioury, M. (2012). Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. *The Journal of Applied Sciences Research*, 8, 3503-3514.
- Bascunan-Godoy, L., Reguera, M., Abdel-Tawav, Y.M., & Bljmwald, E. (2016). Water deficit stress-induced changes in carbon and nitrogen partitioning in *Chenopodium quinoa* Wild. *Planta*, 243, 591-603.
- Bates, L.S., Waldern, R.P., & Tear, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Caser, M., Angiolillo, F., Chitarra, W., Lovisolo, C., Ruffoni, B., Pistelli, L., & Scariot, V. (2018). Ecophysiological and phytochemical responses of *Salvia sinaloensis* Fern. to drought stress. *Plant Growth Regulation*, 84, 383-394.
- Dolatabadian, A., Modarressanavy, S.A.M., & Sadat Asilan, K. (2010). Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 2, 45-50.
- El-Bassiouny, H.M.S., Abd El-Monem, A.A., Abdallah, M.M.S., & Soliman, K.M. (2018). Role of arbusculamycorrhiza, α -tocopherol and icotinamide on the nitrogen containing compounds and adaptation of sunflower plant to water stress. *Bioscience Research*, 15, 2068-2088.
- El-Bially, M., Saady, H., & El-Metwally Shahin, M. (2018). Efficacy of ascorbic acid as a cofactor for alleviating water deficit impacts and enhancing sunflower yield and irrigation water-use efficiency. *Agricultural Water Management*, 208, 132-139.
- Elewa, T.A., Sadak, M.Sh., & Saad, A.M. (2017a). Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14, 21-33.
- Elewa, T.A., Sadak, M.Sh., & Dawood, M.G. (2017b). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. Special issue, 245-254.
- El-Shamy, M.A., Alshaal, T., Hussein, M.H., Rady, A.M.S., Hafez, E.M., Alsohim, A.S., & El-Moneim, D.A. (2022). Quinoa response to application of phosphonyls and plant growth-promoting rhizobacteria under water stress associated with salt-affected soil. *Plants*, 11, 872.
- Farahani, S., Shahsavari, N., & Mohammadi Arasteh, M. (2020). Effect of potassium sulfate on the physiological characteristics of canola cultivars in late season drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(9), 1217-1228.
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72, 673-689.
- Gaafar, A.A., Ali, S.I., El-Shawadfy, M.A., Salama, Z.A., Sekara, A., Ulrichs, Ch., & Abdelhamid, M.T. (2020). Ascorbic acid induces the increase of secondary metabolites, antioxidant activity, growth and productivity of the common bean under water stress conditions. *Plants*, 9, 1-24.
- Ganji, M., Farahmandfar, E., Shahbazi, M., & Zahravi, M. (2016). Biochemical characterization and grain yield of selected genotypes of wild barley (*Hordum vulgare* ssp. *Spontaneum*) different levels of drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 5(15), 75-90.

- Gholami, Sh., Amini Dehaghi, M., Rezazadeh, A., & Najji, A.M. (2021). Seed germination and physiological responses of quinoa to selenium priming under drought stress. *Bragantia, Campinas*, 81, 1-16.
- Ghotbzadeh Kermani, S., Saeidi, Gh., Sabzalian, M.R., & Gianinetti, A. (2019). Drought stress influenced sesamin and sesamol content and polyphenolic components in sesame (*Sesamum indicum* L.) populations with contrasting seed coat colors. *Food Chemistry*, 289, 360-368.
- Ghosh, U.K., Islam, M.N., Siddiqui, M.N., & Khan, M.A.R. (2021). Understanding the roles of osmolytes for acclimatizing plants to changing environment: A review of potential mechanism. *Plant Signaling and Behavior*, 16(8), 1-15.
- Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, 909-930.
- Hafez, E.M., & Gharib, H.S. (2016). Effect of exogenous application of ascorbic acid on physiological and biochemical characteristics of wheat under water stress. *International Journal of Plant Production*, 10(4), 579-596.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020) The impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Science*, 10(16), 1-19.
- Keles, Y., & Oncel, I. (2004). Growth and solute composition on two wheat species experiencing combined influence of stress conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*, 51, 203-208.
- Khazaei, Z., Esmailpour, B., & Estati, A. (2020). Ameliorative effects of ascorbic acid on tolerance to drought stress on pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(8), 1649-1662.
- Lin, P.H., & Chao, Y.Y. (2021). Different drought-tolerant mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) based on physiological analysis. *Plants*, 10, 1-15.
- Lichtenthaler, H.K., & Wellburn, A.R. (1985). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591-592.
- Mahdavi Rad, S., Yousefi Rad, M., & Sharif Moghadam, M. (2022). Physiological and morphological characteristics of drought-stressed *Chenopodium quinoa* Willd, as affected by proline and ascorbic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(1), 1-9.
- Naz, H., Akram, N.A., & Ashraf, M. (2016). Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 48, 877-883.
- Quan, N., Anh, L.A., Khang, D., et al. (2016). Involvement of secondary metabolites in response to drought stress of rice (*Oryza sativa* L.). *Agriculture*, 6(2), 1-14.
- Razzaq, M., Akram, N.A., Ashraf, M., Nazz, H., & Al-Quraini, M. (2017). Interactive effect of drought and nitrogen on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 225, 373-379.
- Rigano, D., Sirignano, C., & Tagliatalata-Scafati, O. (2017). The potential of natural products for targeting PPAR α . *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 7, 427-438.
- Ritchie, S.W., & Nguyen, H.T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
- Rong-Hua, L., Pei-Guo, G., Baum, M., Grando, S., & Ceccarelli, S. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5, 751-757.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1-26.
- Smirnoff, N., & Wheeler G.L. (2000). Ascorbic acid in plants: Biosynthesis and function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 35(4), 291-314.
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., & Abbasi, F. (2011). The interaction between drought stress and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), 798-807.