Vol 27, No. 1, Spring 2025

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Effect of Seaweed on the Morphophysiological and Phytochemical Properties of Ornamental Violet (*Viola× Wittrockiana*) under water deficit

Majid Maleki[1] | Sepideh Kalateh Jari[2]✉ | Ali Mohammadi Torkashvand[3]

1. Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: majid.maleki@srbiau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: kalatehjari@srbiau.ac.ir
3. Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: A-mohammadi@srbiau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 17 September 2023
Received in revised form
30 October 2024
Accepted 18 January 2025
Published online 5 March 2025

Keywords:
Algae
Catalase
Flower life
Proline
Total phenol

ABSTRACT

Objective: The present research was conducted with the aim of investigating the effects of seaweed (*Sargassum vulgare* and *Spirulina platensis*) on the growth, physiological, and biochemical characteristics of violet plant (*Viola×wittrockiana*).

Methods: The effect of drought stress at three levels (100% field capacity - no stress; 75% F.C.- mild stress; and 50% F.C.- severe stress) and algal extract with four levels (control, 1% liquid Spirulina extract, 2% liquid Spirulina extract, 1% liquid Sargassum extract, and 2% liquid Sargassum extract) was investigated in a factorial experiment based on a randomized complete block design in three Replication.

Results: The 50% F.C. significantly reduced morphological traits, flower number, shoot and root dry weight, and flower longevity, as well as the number of photosynthetic pigments in the plant. The application of 2% Sargassum extract under 75% F.C. (mild drought stress) conditions resulted in the highest levels of total phenols, flavonoids, and antioxidant activity, which are correlated traits. Drought stress increased the activity of catalase, peroxidase, superoxide dismutase, and malondialdehyde, as well as soluble carbohydrates and proline, all of which were positively influenced by the algal extract (especially at a concentration of 2% liquid Sargassum extract). Among the algae, Sargassum had a greater positive effect on all studied traits, and the 2% liquid Sargassum extract was more effective.

Conclusion: The Pansies (Viola) was relatively sensitive to drought stress, and the algal extract mitigated the negative effects of drought stress by enhancing the growth and production of metabolic compounds in Pansies.

Cite this article: Maleki, M., Kalateh Jari, S., & Mohammadi Torkashvand, A. (2025). Effect of Seaweed on the Morphophysiological and Phytochemical Properties of Ornamental Violet (*Viola×Wittrockiana*) under water deficit. *Journal of Crops Improvement*, 27 (1), 145-168. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2025.365499.2851

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2025.365499.2851

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی
Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

اثر جلبک دریایی اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) و سارگاسوم (*Sargassum vulgare*) بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی و فیتوشیمیایی گیاه بنفشه زینتی (*Viola× wittrockiana*) تحت تنش خشکی

مجید ملکی[۱] | سپیده کلاته‌جاری[۲] ✉ | علی محمدی‌ترکاشوند[۳]

۱. گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: majid.maleki@srbiau.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: kalatehjari@srbiau.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: A-mohammadi@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

کلیدواژه‌ها:
پرولین
جلبک
طول عمر گل
فنل کل
کاتالاز

چکیده

هدف: پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر جلبک دریایی (سارگاسوم *Saragassum vulgare* و اسپیرولینا *Spirulina platensis*) بر رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بنفشه زینتی (*Viola×wittrockiana*) انجام شد.

روش پژوهش: اثر تیمار تنش خشکی در سه سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) و عصاره جلبک با چهار سطح (شاهد، ۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا، ۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا، ۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم و ۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شد.

یافته‌ها: تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی سبب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک تعداد گل، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و طول عمر گل و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گردید. با کاربرد جلبک سارگاسوم ۲ درصد در شرایط ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی ملایم) بیش‌ترین مقدار فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی که صفات همبسته‌ای می‌باشند، مشاهده گردید. تنش خشکی موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و مالون‌دی‌آلدهید، کربوهیدرات محلول و پرولین گردید که جلبک با غلظت ۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم اثر افزایشی بر ترکیبات مزبور داشتند. از میان جلبک‌ها، سارگاسوم با غلظت ۲ درصد مایع جلبک، نسبت به جلبک اسپیرولینا اثر مثبت بیش‌تری بر تمامی صفات موردمطالعه داشت.

نتیجه‌گیری: گیاه بنفشه زینتی نسبت به تنش خشکی نسبتاً غیرمقاوم عمل نمود و جلبک با افزایش رشد و تولید ترکیبات متابولیکی گیاه، موجب تعدیل اثرات منفی تنش خشکی شد.

استناد: ملکی، مجید؛ کلاته‌جاری، سپیده و محمدی‌ترکاشوند، علی (۱۴۰۴). اثر جلبک دریایی اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) و سارگاسوم (*Sargassum* vulgare) بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی و فیتوشیمیایی گیاه بنفشه زینتی (*Viola×wittrockiana*) تحت تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۱)، ۱۴۵-۱۶۸.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2025.365499.2851

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

۱. مقدمه

بنفشه زینتی (فرنگی) (*Viola× wittrickiana*) از خانواده بنفشه (ویولاسه)[1] گیاهی گلدانی، دورگه، دارای گلبرگ‌هایی با رنگ‌های متنوع مانند زرد، طلایی، نارنجی، ارغوانی، بنفش، قرمز، سفید و ارغوانی تیره که بسیار نزدیک به سیاه دیده می‌شود (ایکئورا[2] و همکاران، ۲۰۲۳)، و یکی از پرکاربردترین گیاهان زینتی مورداستفاده در فضای سبز شهری می‌باشد (جوادی و همکاران، ۱۴۰۰).

یکی از عوامل محدودکننده رشد بنفشه زینتی، تنش خشکی است. تنش خشکی یا عدم دسترسی گیاهان به آب می‌باشد و در واقع می‌توان گفت هر زمان میزان آب خارج‌شده از گیاهان (تعرق) بیش‌تر از آب جذب‌شده توسط یک گیاه باشد به آن تنش خشکی گفته می‌شود. امروزه تقریباً نیمی از اراضی کشاورزی جهان تحت تأثیر تنش خشکی قرار دارد. این تنش سبب کاهش شدید عملکرد گیاه می‌گردد (حمودا[3] و همکاران، ۲۰۲۲). عصاره جلبک از جمله مواد آلی پرطرفدار است که امروزه سعی می‌شود جهت تعدیل سطوح مختلف تنش محیطی در کشت‌وکار محصولات کشاورزی استفاده گردد (شدید[4] و همکاران، ۲۰۲۲). استفاده از جلبک دریایی به‌عنوان منبع ماده آلی و کود در کشاورزی از زمان‌های قدیم شناخته شده است، اما به‌تازگی محرک رشد بودن آن ثابت شده است. عصاره جلبک‌های دریایی بر خاک و گیاه تأثیر می‌گذارند (کرایجی[5]، ۲۰۱۱). این عصاره‌ها به‌عنوان کلات‌کننده، بهبوددهنده جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبوددهنده ساختمان و تهویه خاک عمل می‌کنند (گنزالس[6] و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش رشد ریشه و بهبود کارایی جذب عناصر غذایی و آب می‌تواند سبب افزایش رشد و مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده شود. گزارش‌های زیادی در زمینه افزایش رشد و عملکرد با استفاده از عصاره جلبک دریایی وجود دارد (گوئینان[7] و همکاران، ۲۰۱۳؛ غفاری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۹).

جلبک دریایی حاوی مقادیر مختلفی از پیش‌سازهای ویتامین و آمینواسیدها و تعدادی از فیتوهورمون‌ها مانند اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها، آبسیزیک‌اسید است. جلبک دریایی سارگاسوم[8] به‌عنوان یک کود محسوب می‌شود و به‌منظور تأمین عناصر غذایی موردنیاز گیاه و ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک برای رشدونمو آن استفاده می‌شود (اسماعیل‌پور و فاطمی، ۱۳۹۹). این جلبک باعث افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش‌های محیطی و جلوگیری از کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌گردد. اسپیرولینا[9] یک میکرو جلبک سبزآبی (سیانوباکتریوم) است که حاوی مقادیر زیادی پروتئین و هم‌چنین ویتامین‌ها، مواد معدنی، اسیدهای چرب و رنگدانه‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاروتنوئیدها، کلروفیل و فیکوسیانین می‌باشد و سبب بهبود ساختار و خواص فیزیکوشیمیایی خاک می‌گردد (ال–سادک[10] و احمد[11]، ۲۰۲۲؛ حمودا[12] و همکاران، ۲۰۲۲). اسپیرولینا پتانسیل رشد قابل‌توجهی دارد و به‌عنوان کود برای بهبود تقویت زراعی مورداستفاده قرار می‌گیرد (شدید[13] و همکاران، ۲۰۲۲).

از عوامل مهم تهدیدکننده کیفیت و بقای بنفشه زینتی در فضای سبز، تنش‌های مختلف محیطی از جمله خشکی

1. Violaceae
2. Ikeura
3. Hamouda
4. Shedeed
5. Craigie
6. González
7. Guinan
8. *Saragassum vulgare*
9. *Spirulina platensis*
10. El-Sadek
11. Ahmed
12. Hamouda
13. Shedeed

می‌باشد که همواره گیاه سعی در تطابق خود با این شرایط در جهت سازش و تحمل این شرایط تنش‌زا دارد که از آن جمله می‌توان به مکانیسم‌های سازگاری مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اشاره کرد، لذا بهبود شرایط رشدونمو از طریق بهبود شرایط فیزیولوژیک و بیوشیمیایی این گیاه که به لحاظ زیبایی بصری اهمیت بالایی در فضای سبز شهری دارد، یکی از راه‌های حفظ و ارتقای کیفیت این گیاه می‌باشد (هرناندز–هرِرا[1] و همکاران، ۲۰۲۲)، از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات تنش خشکی و کاربرد جلبک دریایی بر گیاه بنفشه زینتی انجام شده است.

۲. پیشینهٔ پژوهش

در پژوهشی که با هدف بررسی اثر کود زیستی بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه اسفناج[2] در سطوح مختلف رطوبتی خاک در شرایط گلخانه انجام شد، سطوح مختلف تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد گردید (گاویلی[3] و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج نشان داد که محتوای کاروتنوئید و نسبت کاروتنوئید به کلروفیل در ارقام مختلف سیب‌زمینی[4] تحت تأثیر تنش خشکی افزایش یافت (رودریگز–پرز[5]، ۲۰۱۷).

استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی (خشکی، شوری و دمایی) می‌شود (کرایجی[6]، ۲۰۱۱). با توجه به نقش اسیدهای آمینه در تولید آنزیم‌های موردنیاز گیاه به هنگام تنش و نقش کوفاکتوری پتاسیم برای فعال‌سازی غالب آنزیم‌ها می‌توان نقش جلبک‌های دریایی را در کنترل تنش‌ها مشخص کرد. هر دو مکانیسم وجود ترکیبات محافظ مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و وجود تنظیم‌کننده‌های ژن‌های داخلی که به تنش پاسخ می‌دهند، در عصاره جلبک می‌تواند مؤثر باشد (کولا[7] و همکاران، ۲۰۱۴). حضور مولکول‌های فعال زیستی مانند بتایین و سیتوکینین در این عصاره‌ها ممکن است در این زمینه، نقش داشته باشد. این عصاره‌ها غلظت مولکول‌های مرتبط با تنش مانند سیتوکینین، پرولین، آنتی‌اکسیدان‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در گیاه افزایش می‌دهند (فان[8] و همکاران، ۲۰۱۳).

مطالعه‌ای به‌منظور بهبود رشد، افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد گیاه زینتی لوپن با استفاده از غلظت‌های مختلف ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱/۰ درصد عصاره جلبک اسپیرولینا[9] صورت گرفت. رنگدانه، رشد گیاه و اجزای عملکرد گیاه با غلظت ۰/۲۵ درصد عصاره بهبود یافت. با این‌حال، رشد به‌طور قابل‌توجهی در غلظت بالاتر (۱/۰ درصد) مهار شد و مقادیر کم‌تری از شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده را نسبت به شاهد ثبت کرد (شدید[10] و همکاران، ۲۰۲۲). در یک پژوهش با عنوان اثر عصاره جلبک دریایی پتروکلادیا کاپیلاسیا[11] روی پارامترهای رشد و ترکیبات بیوشیمیایی گل ختمی، اثر عصاره جلبک در سه غلظت (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) در مقایسه با گروه شاهد (کود NPK) بر رشد، میزان ماده معدنی، میزان آنتی‌اکسیدان و عملکرد گیاه ختمی انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد بالاترین سطوح ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، میزان کل فنل‌ها و فلاونوئیدهای کل نیز مربوط به کاربرد تیمار ۱۰ درصد عصاره جلبک دریایی بوده و این تیمار رشد، عملکرد،

1. Hernández-Herrera
2. *Spinacia oleracea*
3. Gavili
4. *Solanum tuberosum* L.
5. Rodriguez-Perez
6. Craigie
7. Colla
8. Fan
9. *S. platensis*
10. Shedeed
11. *Pterocladia capillacea*

مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌های گل ختمی را افزایش داد (آشور[1] و همکاران، ۲۰۲۰). کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشا، سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش خشکی شد (اسماعیل‌پور و فاطمی، ۱۳۹۹).

در مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی پاسخ‌های بیوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی بنفشه (*Viola× wittrockiana*) به تنش خشکی با سه سطح آبیاری (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) نتایج نشان داد که در گیاهان تحت تنش خشکی شدید، میزان کربوهیدرات و پرولین افزایش و محتوی نسبی آب و میزان کلروفیل کاهش یافت. بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در سطح آبی ۴۰ درصد ظرفیت مزرعه اتفاق افتاد. در بین پارامترهای موردارزیابی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با افزایش فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات فنلی منجر به افزایش رشد رویشی گیاهان گردید (اورعی و همکاران، ۱۳۹۸).

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش به‌منظور مقایسه اثر تنش خشکی و کاربرد جلبک دریایی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه بنفشه زینتی در بهار و تابستان ۱۴۰۲ به‌صورت گلخانه‌ای در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. گلخانه در شهر دماوند به طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه و و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه و ۷ ثانیه و ارتفاع ۲۰۸۴ متر از سطح دریا واقع بود. دمای روزانه گلخانه ۲±۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۲±۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰–۵۰ درصد بود. منبع نور، نور خورشید بود که با دوره روشنایی ۱۲ ساعت و تاریکی ۱۲ ساعت (نور طبیعی روزانه) تامین شد. شدت نور ۸۰۰۰–۷۰۰۰ لوکس بود.

بذرهای هیبرید F1 بنفشه زینتی (*Viola × wittrockiana* var. *Maxim Marina*) استاندارد از شرکت سینجنتا[2] (نمایندگی در ایران) خریداری و در گلخانه در سینی نشا کاشته شدند. بعد از رشد گیاه و رسیدن به مرحله چهار برگی، گیاهچه به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر حاوی بستر کشت ترکیب کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۷۰ به ۳۰ منتقل شد و در گلخانه با کنترل شرایط محیطی رشد کردند. گلدان‌ها هر چهار روز یک‌بار با آب تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری شدند و تغذیه گیاه هفته‌ای یک بار به‌صورت کوددهی با محلول غذایی هوگلند انجام شد. بعد از بیست روز نگهداری در شرایط کنترل‌شده، تیمارها روی آن‌ها اعمال گردید.

فاکتور اول شامل تنش خشکی در سه سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش)، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) و فاکتور دوم شامل غلظت و نوع جلبک، شامل شاهد (NPK)، ۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم و ۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم، ۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا و ۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا بود. کود NPK ۲۰–۲۰–۲۰ در تمام تیمارهای جلبک با مقادیر یکسان جهت تغذیه معدنی گیاهان به‌دلیل عدم وجود مواد غذایی در بستر، استفاده گردید.

برای تیمار جلبک دریایی سارگاسوم و به‌دست‌آوردن محلول ۱ درصد مایع جلبک، ۱ گرم پودر و برای محلول ۲ درصد مایع جلبک، ۲ گرم پودر آسیاب‌شده خشک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب حل شد. در مورد اسپیرولینا، برای محلول ۱ درصد مایع جلبک، تقریباً ۱ گرم و برای تهیه محلول ۲ درصد مایع جلبک، ۲ گرم پودر ریز اسپیرولینا به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و در ۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم و سپس به‌مدت ۶۰ دقیقه هم زده شده و در نهایت فیلتر گردید و تا زمان استفاده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و به‌صورت آبیاری به گیاه داده شد.

1. Ashour
2. Syngenta

تیمارهای تنش خشکی (در سه سطح) به‌مدت ۶۰ روز و جلبک دریایی (اسپیرولینا و سارگاسوم تهیه‌شده از شرکت افراگستر یگانه) در غلظت‌های تعیین‌شده هر چهار روز یک‌بار (۱۵ مرتبه) اعمال و تا زمان ۱۰ روز پس از گلدهی ادامه یافت. میزان مایع جلبک دریایی براساس سطح تنش خشکی تعیین شد (ژو[1] و لسکوار[2]، ۲۰۱۵).

با استفاده از دستگاه صفحات فشاری درصد وزنی رطوبت خاک در سطوح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین گردید. در ابتدا وزن خاک خشک و درصد رطوبت مزرعه‌ای و وزن نرمالی که هر گلدان در هر سطح رطوبتی باید داشته باشد، به‌دست آمد (زی[3] و همکاران، ۲۰۱۸).

رابطه ۱) $Vn= (FC-PWp)\times Vp\times F$

که در رابطه بالا، Vn مقدار آب داده‌شده (برحسب مترمکعب) به هر بستر در هر نوبت آبیاری بود. FC رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، PWP[4] نقطه پژمرگی دائم (درصد)، Vp حجم گلدان، F ضریب مدیریت آبیاری که در آبیاری مطلوب ۰/۵ است.

در پایان دوره تیماردهی صفات زیر ارزیابی شدند.

۳. ۱. صفات مورفولوژیک

در هر بوته تعداد برگ و گل مورد شمارش قرار گرفت. با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج دیجیتال و بر مبنای تعداد هفته بعد از کاشت بذر یعنی WAS[5]، زمان شروع گلدهی (رشد زایشی) و طول دوره گلدهی برحسب روز از زمان ظهور گل تا زمان پژمردگی همان گل تعیین و ثبت شد.

جهت اندازه‌گیری وزن تر، یک گیاه از هر گلدان را از سطح خاک (محل طوقه) قطع نموده و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. بوته‌هایی که از محل طوقه جدا شدند، پس از شست‌وشوی مختصر و جداکردن خاک در آون با دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار گرفته و سپس وزن خشک بوته (اندام هوایی) با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ درصد ارزیابی شد (اینبار[6] و همکاران، ۱۹۹۴).

۳. ۲. میزان رنگیزه‌های گیاهی

اندازه‌گیری میزان محتوای کلروفیل با روش آرنون[7] (۱۹۶۷) و با استفاده از رابطه‌های زیر کلروفیل a (رابطه ۲)، کلروفیل b (رابطه ۳) و کلروفیل کل (رابطه ۴) محاسبه شد.

رابطه ۲) $\text{میلی‌گرم کلروفیل a در هر گرم برگ تر} = [(12.7\times A663)-(2.69\times A645)]\times V / 1000\times W$

رابطه ۳) $\text{میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم برگ تر} = [(22.9\times A645)-(4.69\times A663)]\times V / 1000\times W$

رابطه ۴) $\text{میلی‌گرم کلروفیل کل در هر گرم برگ تر}=[(20.2\times A645)+(8.02\times A663)]\times V / 1000\times W$

در رابطه‌های بالا، A میزان جذب در طول‌موج مورد نظر، V حجم نهایی استون ۸۰ درصد برحسب میلی‌لیتر و W اندازه برگ تازه برحسب گرم است.

1. Xu
2. Leskovar
3. Xie
4. Permanent Wilting Point (PWP)
5. Weeks After Seeding
6. Inbar
7. Arnon

۳. ۳. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز[1] با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر ($Shimadzu\ UV-160$- کشور ژاپن)، در طول موج ۲۴۰ نانومتر استفاده شد (ابینگر[2] و همکاران، ۱۹۹۷). ارزیابی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز[3] به‌روش زنگویی[4] و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز[5] با قابلیت آن در بازدارندگی واکنش احیایی فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم (NBT) تعیین شد (حاجی‌امینی و همکاران، ۱۳۹۳). با استفاده از میزان پراکسیدشدن چربی‌های غشایی با آزمون تیوباربیتوریک اسید (TBA)، غلظت مالون‌دی‌آلدهید[6] در طول موج ۵۳۲ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد (ولنتوویک[7] و همکاران، ۲۰۰۶).

۳. ۴. محتوای نسبی آب برگ و پرولین

محتوای نسبی آب برگ (RWC)[8] از رابطه (۵) محاسبه شد، که در آن FW، وزن تر برگ؛ DW، وزن خشک برگ و TW وزن اشباع برگ می‌باشد (ریچی[9] و همکاران، ۱۹۹۰).

$$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times 100$$ رابطه ۵)

پس از تهیه عصاره برگی، جذب نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن) خوانش و غلظت قندهای احیاکننده (قندهای محلول) با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

میزان پرولین با روش واکنش ناین‌هیدرین تعیین شد (بِیتز[10] و همکاران، ۱۹۷۳).

۳. ۵. صفات فیتوشیمیایی

اندازه‌گیری ترکیب‌های فنلی به‌وسیله فولین سیوکالتو به‌عنوان معرف و اسیدگالیک به‌عنوان استاندارد به‌وسیله اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن)، انجام شد (اوچیک[11] و همکاران، ۲۰۱۱).

میزان فلاونوئید به‌روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید اندازه‌گیری شد (چانگ[12] و همکاران، ۲۰۰۲).

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، از رادیکال آزاد DPPH[13] استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-160- کشور ژاپن) قرائت گردید. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۶) به‌دست آمد:

$$R\%=AD–AS/AD\times 100$$ رابطه ۶)

R٪: درصد مهار، AD: جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر و AS: جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر.

1. Catalase (CAT)
2. Obinger
3. Peroxidase
4. Zangooei
5. Super Oxide Dismutase (SOD)
6. Malondialdehyde
7. Valentovic
8. Relative water content
9. Ritchie
10. Bates
11. Ouchikh
12. Chang
13. 2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl

برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از پارامتر IC50 (غلظتی از عصاره که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند) استفاده شد (سان[1] و همکاران، ۲۰۰۷).

۳. ۶. تجزیه و تحلیل آماری

کلیه داده‌های به‌دست‌آمده حاصل از اندازه‌گیری متغیرها در پژوهش، ابتدا در اکسل[2] ثبت و سپس با نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) آنالیز شد. مقایسه میانگین داده‌ها در سطح معنی‌دار ۱ درصد با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[3] بررسی و نمودارها به وسیله نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. ویژگی‌های مورفولوژیکی

اثر بلوک بر تعداد برگ، تعداد و طول عمر گل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر تعداد و سطح برگ، زمان گلدهی، تعداد و طول عمر گل بنفشه زینتی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر متقابل تیمارها بر تعداد برگ، زمان گلدهی، تعداد و طول عمر گل در سطح احتمال پنج درصد و بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر ویژگی‌های زایشی بنفشه زینتی

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ	سطح برگ	زمان گلدهی	تعداد گل	طول عمر گل
بلوک	۲	۳۲/۰۹*	۰/۹۴ns	۸/۸۹ns	۶/۴۷*	۹/۵۶*
تنش خشکی	۲	۱۱۰۱/۱۶**	۷۹/۷۶**	۵۱۷/۳۶**	۲۶۰/۴۷**	۵۲/۳۶**
جلبک	۴	۲۲۶/۱۴**	۵/۹۷**	۲۸۱/۳۶**	۳۴/۲۸**	۲۵/۴۲**
تنش خشکی× جلبک	۸	۷۱۱/۱۱*	۲۳۸/۵۶**	۱۹۴/۱۲*	۵۸/۷۸*	۲/۷۲ns
خطا	۲۸	۸/۹۹	۰/۷۱	۵/۷۵	۱/۹۴	۲/۱۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۵/۷۵	۱۶/۰۳	۳/۳۶	۱۷/۴۲	۱۵/۵۲

** و ns: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری و عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

بیش‌ترین تعداد برگ در شرایط عدم تنش خشکی و کاربرد ۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم و کم‌ترین آن با تنش خشکی ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد مایع جلبک مشاهده شد (جدول ۲).

بیش‌ترین سطح برگ مربوط به شرایط عدم تنش خشکی و کاربرد مایع جلبک سارگاسوم با غلظت ۲ درصد با میانگین عددی ۹/۳۳ سانتی‌مترمربع بود. کم‌ترین سطح برگ (۲/۳۷ سانتی‌مترمربع) در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی شدید) و عدم کاربرد مایع جلبک مشاهده شد (جدول ۲).

در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون کاربرد مایع جلبک گیاه بنفشه دیرتر به مرحله زایشی (گلدهی) رسید به‌طور میانگین گیاه بنفشه در این تیمار پس از ۸۵/۶۷ روز به گلدهی رسید، اما گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار نگرفتند و ۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم دریافت کردند پس از حدود ۵۸ روز وارد مرحله زایشی شدند (جدول ۲).

1. Sun
2. Excel
3. Least Significant Difference

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی× جلبک بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بنفشه زینتی

تیمارها		تعداد برگ	سطح برگ (سانتی‌مترمربع)	زمان گلدهی (روز)	تعداد گل	طول عمر گل (روز)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)	صفر	۵۴/۶۷cd	۶/۶۷b	۷۱/۰۰d	۹/۳۳de	۹/۳۳defg
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۶۱/۰۰b	۷/۶۷b	۶۲/۰۰g	۱۳/۳۳ab	۱۲/۳۳ab
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۶۷/۶۷a	۹/۳۳a	۵۸/۳۳h	۱۵/۰۰a	۱۳/۶۷a
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۵۸/۰۰bc	۷/۰۰b	۶۹/۳۳de	۱۱/۰۰cd	۱۰/۶۷bcde
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۶۰/۰۰b	۷/۴۰b	۶۶/۰۰ef	۱۲/۰۰bc	۱۱/۰۰bcd
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۴۷/۰۰ef	۴/۳۳cd	۷۸/۰۰b	۵/۳۳hij	۶/۶۷hi
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۵۳/۰۰cd	۵/۰۳c	۶۹/۳۳de	۹/۰۰def	۱۰/۰۰bcdef
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۶۱/۶۷b	۶/۶۷b	۶۳/۶۷fg	۱۱/۰۰cd	۱۲/۰۰abc
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۵۰/۶۷de	۴/۸۳c	۷۵/۰۰bc	۷/۰۰fgh	۹/۰۰defgh
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۵۳/۰۰cd	۵/۰۰c	۷۲/۳۳cd	۸/۰۰efg	۹/۳۳defg
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۳۶/۳۳h	۲/۳۷f	۸۵/۶۷a	۱/۳۳l	۵/۰۰defg
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۴۳/۶۷fg	۳/۱۲def	۷۲/۶۷cd	۴/۳۳ijk	۸/۳۳efgh
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۵۰/۶۷de	۳/۸۳cde	۶۹/۳۳de	۶/۳۳ghi	۹/۶۷cdef
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۴۰/۳۳gh	۲/۵۳ef	۸۲/۳۳a	۲/۶۷kl	۷/۰۰ghi
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۴۳/۶۷fg	۳/۰۷def	۷۷/۳۳b	۳/۳۳jkl	۷/۶۷fgh

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

در تیمار عدم تنش خشکی و کاربرد ۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم بیش‌ترین تعداد گل بنفشه زینتی (میانگین عددی ۱۵) و در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون مایع جلبک کم‌ترین تعداد گل (میانگین عددی ۱/۳۳) شمارش شد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها با کاهش ظرفیت زراعی خاک (افزایش شدت تنش خشکی)، طول عمر گل در گیاه بنفشه زینتی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین طول عمر گل بنفشه زینتی مربوط به شرایط عدم تنش خشکی و کاربرد مایع ۲ درصد جلبک سارگاسوم (میانگین ۱۳/۶۷ روز) و کم‌ترین طول عمر گل (میانگین پنج روز) مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و بدون مصرف مایع جلبک بود (جدول ۲).

اثر بلوک بر وزن تر اندام هوایی در سطح یک درصد و بر وزن خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تنش خشکی و جلبک بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گیاه بنفشه زینتی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل تیمارها بر وزن تر اندام هوایی و ریشه و وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵ درصد و وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر صفات وزنی بنفشه زینتی

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه
بلوک	۲	۳۴/۷۴**	۳/۱۰*	۴/۸۵*	۰/۵۸ns
تنش خشکی	۲	۴۹۵/۰۷**	۵۰/۷۹**	۱۲۹/۵۴**	۱۱/۸۱**
جلبک	۴	۲۹۶/۴۷**	۳۰/۶۶**	۶۱/۷۹**	۶/۲۴**
تنش خشکی× جلبک	۸	۳۳۵/۶۹*	۴۴۵/۷۸**	۱۲۵/۵۹*	۲۲/۴۳*
خطا	۲۸	۶/۲۴	۰/۸۰	۱/۴۳	۰/۲۹
ضریب تغییرات (درصد)	–	۸/۲۷	۸/۹۴	۶/۶۰	۹/۰۴

** و ns: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی در شرایط عدم تنش و کاربرد مایع جلبک سارگاسوم با غلظت ۲ درصد و کم‌ترین آن در تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) بدون استفاده از مایع جلبک حاصل شد (جدول ۴).

جدول ٤. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی× جلبک بر صفات وزنی بنفشه زینتی

تیمارها		وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)	صفر	۲۹/۱۷def	۹/۵۰def	۱۸/۷۳cde	۶/۱۷cd
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۷/۳۳b	۱۲/۵۰b	۲۱/۷۳b	۷/۱۷b
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۴۶/۰۰a	۱۵/۱۷a	۲۵/۶۷a	۸/۳۳a
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۳۲/۶۷cd	۱۰/۸۳cd	۱۹/۳۲cd	۶/۵۰bc
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۳۵/۶۷bc	۱۱/۸۳bc	۲۰/۴۰bc	۶/۱۷cd
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۲۱/۶۷h	۷/۳۰h	۱۳/۹۷i	۴/۶۷ef
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۱/۶۷cd	۱۲/۶۷cd	۱۸/۸۰cd	۶/۲۳cd
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۸/۳۳b	۱۲/۶۷b	۲۲/۱۷b	۸/۱۷b
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۲۷/۳۳efg	۹/۰۰ef	۱۶/۹۰efg	۵/۵۰de
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۳۰/۰۰def	۹/۶۷def	۱۸/۰۷def	۶/۰۳cd
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۱۷/۱۷i	۵/۸۳i	۱۱/۷۳j	۴/۱۷f
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۲۷/۰۰fg	۸/۸۳fg	۱۶/۲۳fgh	۵/۳۳de
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۱/۱۷de	۱۰/۳۳de	۱۸/۴۰de	۶/۱۷cd
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۲۲/۶۷h	۷/۵۰gh	۱۴/۴۰hi	۴/۸۳ef
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۲۴/۶۷gh	۸/۳۳fgh	۱۵/۰۷ghi	۴/۹۷ef

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار عدم تنش کاربرد جلبک سارگاسوم با غلظت ۲ درصد و کم‌ترین وزن تر (۱۱/۷۳ گرم) و وزن خشک ریشه (میانگین ۴/۱۷ گرم) در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد مایع جلبک مشاهده شد (جدول ۴).

۴. ۲. رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثر بلوک بر کلروفیل a و b و کاروتنوئید در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر میزان کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل تیمارها بر کلروفیل a و b در سطح ۵ درصد و بر کاروتنوئید در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ بنفشه زینتی

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
بلوک	۲	۰/۰۳*	۰/۰۴*	۰/۰۱ns	۲/۴۵*
تنش خشکی	۲	۱/۴۰**	۰/۳۲**	۳/۰۴**	۲/۴۰**
جلبک	۴	۰/۰۴**	۰/۰۵**	۰/۱۸**	۱/۰۴**
تنش خشکی× جلبک	۸	۶/۳۲*	۴/۴۷*	۰/۰۱ns	۱۱/۰۶**
خطا	۲۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	–	۹/۱۳	۱۱/۶۲	۵/۹۳	۱۰/۰۳

** و ns: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری و عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) با کاربرد جلبک سارگاسوم با غلظت ۲ درصد میزان کلروفیل a (۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۰/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بیش‌تری در برگ بنفشه زینتی سنتز شد. این در حالی است که کم‌ترین مقدار عددی صفات مذکور در تنش خشکی شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و بدون استفاده از مایع جلبک گزارش شد (جدول ۶).

جدول ٦. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی× جلبک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی بنفشه زینتی

	تیمارها	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)	صفر	۱/۰۵c	۰/۴۳de	۱/۴۸d	۱/۷۷cde
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۱/۲۲a	۰/۵۷b	۱/۷۸b	۱/۲۰hi
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۱/۲۵a	۰/۶۵a	۱/۹۰a	۰/۹۷i
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۱/۰۹bc	۰/۴۸cd	۱/۵۷c	۱/۵۳efg
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۱/۱۷ab	۰/۵۳bc	۱/۷۰b	۱/۴۰fgh
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۰/۷۳e	۰/۲۸gh	۱/۰۲g	۲/۲۰b
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۹۲d	۰/۴۰ef	۱/۳۲e	۱/۵۷defg
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۹۵d	۰/۴۹bcd	۱/۴۴d	۱/۳۳gh
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۷۸e	۰/۳۳fg	۱/۱۲f	۱/۸۷cd
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۹۲d	۰/۳۹ef	۱/۳۱e	۱/۷۷cde
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۰/۴۵g	۰/۱۵j	۰/۶۰j	۲/۶۷a
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۵۵f	۰/۲۵hi	۰/۸۰h	۱/۹۷bc
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۵۸f	۰/۳۵fg	۰/۹۳g	۱/۷۰cdef
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۵۰fg	۰/۱۹ij	۰/۶۹i	۲/۲۳b
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۵۳fg	۰/۲۵hi	۰/۷۸h	۲/۲۰b

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

افزایش شدت تنش موجب افزایش کاروتنوئید در برگ بنفشه زینتی شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین کاروتنوئید برگ (۲/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تنش خشکی شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و بدون کاربرد مایع جلبک ارزیابی شد (جدول ۶).

۴. ۳. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مالون‌دی‌آلدهید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر بلوک بر آنزیم پراکسیداز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تنش خشکی و جلبک بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ایجاد کرد، اثر متقابل تیمارها بر آنزیم کاتالاز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح یک درصد و بر آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مالون‌دی‌آلدهید بنفشه زینتی

منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون دی‌آلدهید
بلوک	۲	۰/۰۱^{ns}	۱۱۰/۲۲*	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۲^{ns}
تنش خشکی	۲	۱/۰۱**	۲۴۷۱/۰۹**	۱۱۳/۹۹**	۱۵/۲۰**
جلبک	۴	۰/۰۴**	۱۵۶/۳۰**	۰/۲۳**	۰/۵۴**
تنش خشکی× جلبک	۸	۴/۱۳**	۴۲۸/۳۳*	۱/۲۳*	۲/۸۹**
خطا	۲۸	۰/۰۰۳	۸/۲۶	۰/۰۶	۰/۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۳/۸۰	۶/۳۰	۵/۰۷	۲/۸۴

** و ns: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری و عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

افزایش شدت تنش موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم‌ها شد. بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۷۷ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) بدون کاربرد مایع جلبک، آنزیم پراکسیداز (۶۴/۶۷ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)، آنزیم سوپراکسیداز (۷/۸۳ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) و میزان مالون‌دی‌آلدهید (۷/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد مایع جلبک سارگاسوم ۲ درصد در تنش خشکی شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) ارزیابی شد (جدول ۸).

جدول ۸. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی× جلبک بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مالون‌دی‌آلدهید برگ بنفشه زینتی

	تیمارها	کاتالاز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)	پراکسیداز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)	سوپر اکسید دیسموتاز (واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین)	مالون‌دی‌آلدهید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)	صفر	۰/۲۹de	۲۹/۶۷m	۲/۱۳g	۵/۱۰i
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۱۶g	۳۵/۰۰kl	۱/۹۳gh	۵/۵۳gh
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۱۴g	۳۷/۰۰jk	۱/۷۳h	۵/۶۳g
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۲۲efg	۳۰/۳۳m	۲/۱۰g	۵/۲۰i
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۲۰fg	۳۲/۳۳lm	۲/۰۷g	۵/۴۰h
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۰/۴۱c	۳۹/۳۳ij	۴/۹۰d	۶/۱۳f
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۲۶def	۴۸/۳۳fg	۴/۶۰ef	۶/۵۰de
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۲۳efg	۵۰/۶۷ef	۴/۵۰f	۶/۶۳d
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۳۴cd	۴۳/۰۰hi	۴/۸۷de	۶/۲۳f
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۳۲b	۴۵/۳۳gh	۴/۷۳def	۶/۴۳e
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۰/۷۷a	۵۲/۶۷de	۷/۸۳a	۷/۱۷c
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۶۸ab	۶۱/۳۳ab	۷/۴۳bc	۷/۵۷b
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۰/۶۲b	۶۴/۶۷a	۷/۲۷c	۷/۶۷a
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۷۴a	۵۶/۳۳cd	۷/۷۳a	۷/۳۷b
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۰/۷۲a	۵۹/۰۰bc	۷/۶۰ab	۷/۵۰ab

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴. ۴. محتوای نسبی آب برگ و صفات بیوشیمیایی

اثر بلوک بر محتوای نسبی آب برگ در سطح ۱ درصد و بر قندهای محلول در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تنش خشکی و جلبک بر محتوای نسبی آب برگ، قندهای محلول و پرولین برگ بنفشه زینتی در سطح احتمال یک درصد بود، اثر متقابل این دو تیمار بر صفات مذکور در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۹).

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر محتوای نسبی آب برگ و صفات بیوشیمیایی بنفشه زینتی

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	قندهای محلول	پرولین
بلوک	۲	۷۱/۹۰**	۸/۵۰*	۰/۲۱ns
تنش خشکی	۲	۹۲۵/۱۷**	۹۷/۷۷**	۹۸/۷۰**
جلبک	۴	۲۸۶/۹۹**	۷۰/۵۲**	۲/۶۴**
تنش خشکی× جلبک	۸	۱۸۱/۱۱*	۷۸/۶۱*	۱/۹۳*
خطا	۲۸	۴/۹۳	۱/۸۸	۰/۰۹
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۰۴	۱۲/۳۳	۵/۵۵

** و ns: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری و عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۸۰/۶۰ درصد) در شرایط عدم تنش خشکی و با کاربرد مایع جلبک سارگاسوم با

غلظت ۲ درصد، بیش‌ترین قندهای محلول (۱۳/۶۷ میلی‌گرم در گرم) در شرایط عدم تنش و عدم کاربرد مایع جلبک و بیش‌ترین میزان پرولین (۷/۹۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط عدم تنش و استفاده از مایع جلبک سارگاسوم ۲ درصد ارزیابی شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی× جلبک بر محتوای نسبی آب برگ و صفات بیوشیمیایی بنفشه زینتی

	تیمارها	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	قندهای محلول (میلی‌گرم در گرم)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)	صفر	۷۴/۶۷d	۱۱/۱۷def	۲/۴۰k
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۸۳/۶۷ab	۷/۵۰hij	۲/۹۰ij
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۸۷/۳۳a	۵/۳۳j	۳/۲۰i
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۷۵/۰۰d	۹/۸۳fg	۲/۵۷jk
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۸۲/۳۳b	۸/۶۷ghi	۲/۶۷jk
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۶۵/۳۳e	۱۵/۰۰bc	۴/۸۷h
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۷۶/۳۳cd	۱۰/۰۰fg	۵/۷۳f
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۸۰/۳۳bc	۷/۰۰ij	۶/۳۳e
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۶۸/۰۰e	۱۳/۳۳cd	۵/۱۳gh
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۷۵/۳۳d	۱۱/۰۰ef	۵/۳۳fg
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۵۹/۰۰f	۱۷/۶۷a	۷/۱۰d
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۶۸/۰۰e	۱۲/۳۳de	۸/۳۷ab
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۷۲/۳۳d	۹/۳۳fgh	۸/۷۳a
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۶۰/۱۷f	۱۵/۶۷ab	۷/۵۳c
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۶۷/۶۷e	۱۳/۳۳cd	۷/۹۷b

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۴. ۵. صفات فیتوشیمیایی

اثر بلوک بر فنل کل و فلاونوئید کل در سطح ۱ درصد و بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر اصلی تیمارهای تنش خشکی و جلبک بر میزان فنل و فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بنفشه زینتی تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد ایجاد کرد، اثرات متقابل تیمارها بر فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح ۵ درصد و بر فلاونوئید کل در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای تنش خشکی و جلبک ترکیبات فیتوشیمیایی بنفشه زینتی

منابع تغییر	درجه آزادی	فنل کل	فلاونوئید کل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
بلوک	۲	۵۸/۴۷**	۳۱/۴۹**	۴۳/۶۲*
تنش خشکی	۲	۳۹۲/۶۰**	۴۰۷/۰۲**	۲۴۲/۲۹**
جلبک	۴	۱۵۸/۴۲**	۱۵۲/۷۶**	۱۶۵/۸۶**
تنش خشکی× جلبک	۸	۹۰۵/۵۶*	۹۳۸/۸۹**	۱۷۰/۵۶*
خطا	۲۸	۳/۹۲	۳/۴۲	۱۲/۶۵
ضریب تغییرات (درصد)	–	۶/۱۳	۹/۰۲	۴/۹۴

** و ns: به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری و عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

بیش‌ترین میزان فنل کل (۴۳/۳۳ میلی‌گرم گالیک‌اسید بر گرم ماده خشک)، فلاونوئید کل (۳۲/۰۰ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بنفشه زینتی (۸۳/۰۰ درصد) در شرایط تنش خشکی ملایم (۷۵

درصد ظرفیت زراعی) و کاربرد مایع جلبک سارگاسوم با غلظت ۲ درصد ارزیابی شد. کم‌ترین محتوای فنل کل (۲۲/۳۳ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک)، فلاونوئید کل (۱۱/۰۰ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۳/۶۷ درصد) مربوط به عدم تنش خشکی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در شرایطی عدم استفاده از مایع جلبک بود (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی× جلبک بر ترکیبات فیتوشیمیایی برگ بنفشه زینتی

	تیمارها	فنل کل (میلی‌گرم گالیک‌اسید بر گرم ماده خشک)	فلاونوئید کل (میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)	صفر	۲۲/۳۳i	۱۱/۰۰h	۶۳/۶۷g
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۲۸/۰۰gh	۱۶/۶۷fg	۷۰/۰۰def
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۲/۶۷de	۲۱/۰۰de	۷۵/۰۰bcd
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۲۵/۰۰hi	۱۳/۶۷gh	۶۶/۳۳fg
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۲۶/۶۷gh	۱۵/۰۰fg	۶۹/۶۷defg
۷۵ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۳۱/۶۷ef	۲۰/۳۳e	۶۹/۶۷defg
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۸/۳۳b	۲۷/۳۳b	۷۸/۶۷ab
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۴۳/۳۳a	۳۲/۰۰a	۸۳/۰۰a
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۳۵/۰۰cd	۲۳/۶۷cd	۷۴/۶۷bcde
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۳۷/۳۳bc	۲۶/۰۰bc	۷۶/۶۷bc
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	صفر	۲۷/۰۰gh	۱۴/۶۷fg	۶۶/۳۳fg
	۱ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۴/۶۷cde	۲۲/۳۳de	۷۲/۰۰cdef
	۲ درصد مایع جلبک سارگاسوم	۳۹/۰۰b	۲۶/۰۰bc	۷۵/۶۷bcd
	۱ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۲۹/۳۳fg	۱۷/۰۰f	۶۸/۶۷efg
	۲ درصد مایع جلبک اسپیرولینا	۳۳/۰۰de	۲۰/۳۳e	۷۰/۳۳def

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

۵. بحث

گیاهان هنگام مواجهه با تنش کمبود آب دچار تغییرات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و نموی می‌شوند که در بقای آن‌ها اهمیت زیادی دارد (گومز[1] و همکارن، ۲۰۱۰) و از طریق ایجاد این تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. در تنش خشکی پاسخ برگ نسبت به ریشه و ساقه بیش‌تر است. قابلیت دسترسی به آب نقش مهمی در ساختار و تعداد برگ دارد. کاهش تعداد برگ در شرایط تنش خشکی سبب کاهش ناحیه سطحی تعرق، افزایش جذب آب از خاک و در نهایت مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود. کاهش تعداد برگ می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و هم‌چنین ریزش و پیری برگ باشد (اوگز[2] و همکاران، ۲۰۲۲).

در این آزمایش نشان داده شد که با افزایش تنش، تعداد و سطح برگ کاهش یافت. دلیل کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک مذکور، محدودیت دسترسی به آب و کاهش سرعت رشد گزارش شد (اورعی و همکاران، ۱۴۰۱). پژوهش‌گران نشان دادند استفاده از عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبتی بر رشد گیاهان داشت (هرناندز–هررا[3] و همکاران، ۲۰۱۸). تأثیر مثبت جلبک بر شاخص‌های رشد ممکن است به حضور اکسین (منصوری[4] و همکاران، ۲۰۱۵؛ وینوث[5] و

1. Gomes
2. Oguz
3. Hernández-Herrera
4. Mansori
5. Vinoth

همکاران، ۲۰۱۹)، سیتوکنین (شوکلا[1] و همکاران، ۲۰۱۸) و سایر عوامل تقویت‌کننده رشد (ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۰) و هم‌چنین عناصر ریزمغذی (خان[3] و همکاران، ۲۰۰۹) مربوط باشد.

اگر چه تنش خشکی موجب دیرگلدهی در گیاهان می‌شود (اسدپور[4] و همکاران، ۲۰۲۰)، اما عصاره جلبک دریایی سبب گلدهی و تشکیل میوه زودهنگام در برخی گیاهان می‌شود. حضور هورمون‌های رشد نظیر سیتوکینین در عصاره جلبک در مرحله رشد رویشی سبب توزیع بهتر عناصر غذایی و در مرحله رشد زایشی سبب تحرک عناصر غذایی می‌شود (خان[5] و همکاران، ۲۰۰۹).

نتایج این آزمایش نشان داد که پارامترهای مربوط به رشد زایشی گیاه بنفشه زینتی مانند تعداد گل و طول عمر گل تحت تأثیر تنش خشکی کاهش می‌یابد. تنش خشکی در گیاهان می‌تواند به بی‌نظمی‌های فیزیولوژیکی منجر شود که کاهش در فتوسنتز و تعرق از جمله این تغییرات است (نورزاد و همکاران، ۱۳۹۴). لذا می‌توان گفت که محدودشدن ویژگی‌های مرتبط با رشد گل‌ها تحت شرایط کمبود آب می‌تواند به‌دلیل قرارگیری در معرض سطوح خسارت‌زای خشکی باشد که منجر به کاهش آماس و در نتیجه کاهش رشد و محدودشدن توسعه سلول‌ها خواهد شد (بیلاح[6] و همکاران، ۲۰۲۱). پژوهش‌گران نشان دادند که تولید گل در بامیه[7] تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (بات[8] و رائو[9]، ۲۰۰۵). در پژوهش انجام‌شده روی گوجه‌فرنگی، محکمی و همکاران (۱۳۹۹) مشاهده کردند که تیمار عصاره جلبک دریایی به شکل معنی‌داری باعث افزایش تعداد گل و میوه در بوته گوجه‌فرنگی شد و بهترین تیمار غلظت یک گرم بر لیتر عصاره جلبک اسپیرولینا بود.

کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در اثر تنش‌های محیطی به این دلیل است که گیاه برای مقابله با شرایط نامساعد، میزان جذب توسط ریشه و رشد اندام هوایی خود را کاهش می‌دهد، هم‌چنین تلفیق اثر تنش اسمزی با اثر سمیت یونی و تغییر یون، روندهای طبیعی متابولیسمی را مختل نموده و گیاه بخشی از انرژی مواد آلی را به‌جای تخصیص به رشد، به تولید محلول‌های سازگار، تعدیل اسمزی و حفظ سلول اختصاص می‌دهد (اوگز[10] و همکاران، ۲۰۲۲). در یک مطالعه مشاهده شد که تلقیح جلبک‌ها در محیط‌های غذایی کشت گیاهان منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشدی گیاه و افزایش وزن تر و خشک بوته می‌شود (کافاگنی[11] و همکاران، ۲۰۱۵).

بروز تنش خشکی تأثیرات نامطلوبی بر رشد و ویژگی‌های مورفولوژیک گیاهان می‌گذارد. تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و ریشه مرزه[12] شد (سودائی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). علت عدم افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان کلروفیل و در نتیجه اختلال در فرایند فتوسنتز به‌واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه است، این امر در نهایت باعث توقف طویل‌شدن سلول‌ها و ارتفاع بوته می‌گردد (اردشیری و جهان‌بین، ۱۳۹۷).

اثرات مفید کاربرد عصاره جلبک روی گیاهان به‌دلیل وجود هورمون‌های رشد سیتوکنین، اکسین و عناصری مانند

1. Shukla
2. Zhang
3. Khan
4. Asadpour
5. Khan
6. Billah
7. *Abelmoschus esculentus* (L.) *Moench*
8. Bhatt
9. Rao
10. Oguz
11. Caffagni
12. *Satureja hortensis* L.

آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز، نیکل، ویتامین‌ها و آمینواسیدهاست که موجب افزایش در جذب آب و بیوماس گیاه می‌شود (حمودا[1] و همکاران، ۲۰۲۲). در نتایجی مشابه در ارتباط با اثرات مثبت عصاره جلبک دریایی گزارش شد که استفاده از آن‌ها موجب تأخیر در پیری، تحریک ریشه‌زایی و رشد ریشه می‌گردد (کرایجی[2]، ۲۰۱۱).

محتوای کلروفیل برگ یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم فتوسنتزی است که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. کلروفیل گیاه در اثر تنش خشکی تحت تأثیر فتواکسیداسیون و تجزیه قرار می‌گیرد (کاپور[3] و همکاران، ۲۰۲۰). به‌عنوان مثال، سنتز کلروفیل برگ و نسبت کلروفیل a/b در سویا در اثر تنش خشکی تغییر یافت (چادهاری[4] و همکاران، ۲۰۱۷). تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین، میزان کاروتنوئید و کاهش میزان کلروفیل a، b و کل در گیاه کاسنی[5] شد (جزی‌زاده و مرتضائی‌نژاد، ۱۳۹۶). مهم‌ترین پیامد تنش خشکی در گیاهان کاهش فتوسنتز و آسیب به دستگاه فتوسنتزی است. تحت تأثیر تنش خشکی سطح برگ گیاهان کاهش یافته و انسداد روزنه‌ها افزایش می‌یابد و به‌دنبال آن با کاهش خنک‌شدن برگ تبخیر و تعرق و نیز تنش اسمزی افزایش یافته که منجر به خسارت به دستگاه‌های فتوسنتزی می‌شود (بارگاوا[6] و ساوانت[7]، ۲۰۱۳). کاهش فعالیت فتوسنتزی تحت تنش خشکی به‌طور عمده با کاهش هدایت و انتقال دی‌اکسیدکربن از طریق روزنه و مزوفیل همراه است (سینگ[8] و تاکور[9]، ۲۰۱۸).

تخریب مولکولی کلروفیل به‌علت جداشدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)[10] و یا آنزیم کلروفیلاز صورت می‌گیرد (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۳۹۷). در بررسی اثر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه ذرت[11] گردید که با نتایج این پژوهش همراستا است (آزادی و همکاران، ۱۴۰۰).

جلبک دریایی منجر به افزایش محتوی نسبی آب برگ، میزان کلروفیل، فتوسنتز خالص، پایداری غشای سلول و محتوای کاروتنوئید در شرایط خشکی می‌گردد (احمدپور و همکاران، ۱۴۰۰). در این پژوهش در تیمارهای جلبک میزان کلروفیل‌ها در گیاه افزایش پیدا کرد که با نتایج حاصل از پژوهش‌های پژوهش‌گران مطابقت دارد (آگراوال[12] و همکاران، ۲۰۱۱).

نتیجه‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش اثر مثبت جلبک دریایی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی را نشان می‌دهد. بهبود عملکرد دستگاه فتوسنتز ممکن است افزایش وزن خشک و رشد گیاه در اثر کاربرد جلبک را توجیه کند. نتایج نشان می‌دهد که اثر مثبت کاربرد مایع جلبک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، ناشی از کاهش تخریب کلروفیل در هنگام کمبود آب است (مارتینِنکو[13] و همکاران، ۲۰۱۶).

آسیب اکسیداتیو در سطح سلولی در بسیاری از گیاهان به محض قرارگرفتن در معرض تنش‌های محیطی، رخ می‌دهد. مشخص شده است که اکسیژن در جو نسبتاً غیرواکنش‌پذیر است، اما هنگامی‌که در تماس با سیستم‌های متابولیکی قرار گیرد به اشکال مختلف مانند سوپراکسید، پراکسیدهیدروژن، رادیکال هیدروکسیل و اکسیژن واحد تبدیل

1. Hamouda
2. Craigie
3. Kapoor
4. Chowdhury
5. *Cichorium intybus* L.
6. Bhargava
7. Sawant
8. Singh
9. Thakur
10. Reactive Oxygen Species
11. *Zea mays* L.
12. Aggarwal
13. Martynenko

می‌شوند. موجودات هوازی فتوسنتزکننده در طی حیات خود دائماً در معرض گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش مانند شوری و خشکی جدی‌تر می‌شود و باعث کاهش تثبیت کربن و انتقال الکترون به اکسیژن و تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن را می‌دهد. در سلول گیاهی آنزیم کاتالاز پاکسازی‌کننده پراکسید هیدروژن است. در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز، کاهش پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) در گیاه صورت می‌گیرد. برای دفاع علیه تنش خشکی در سلول‌های گیاه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز افزایش می‌یابد و تعدیل و تنظیم اجزای سطوح آنتی‌اکسیدان یک پاسخ سازشی مهم برای مقاوم‌کردن به شرایط تنش‌زا می‌باشد (پامونکاس[1] و همکاران، ۲۰۲۲). تنش‌های محیطی با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به لیپیدها و پروتئین‌ها آسیب وارد می‌کنند و سلول‌های گیاهی جهت کاهش اثرات منفی اکسیژن فعال تولیدشده در سلول از سازوکار تولید آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز استفاده می‌کنند (زانگویی[2] و همکاران، ۲۰۱۸). فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاه تاج خروس[3] (پراتیوشا[4] و چایتانیا[5]، ۲۰۱۹) و گیاه ماش[6] (گرومورثی[7] و همکاران، ۲۰۱۹) تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت که نشان‌دهنده این موضوع است که بهبود فعالیت این آنزیم‌ها به کاهش سطح رادیکال‌های آزاد اکسیژن کمک می‌کند. تخریب غشاهای سلول یکی از پیامدهای مستقیم کمبود آب است و بنابراین بین محتوای مالون‌دی‌آلدهید و شدت تنش‌های محیطی رابطه مستقیمی وجود دارد (سوفو[8] و همکاران، ۲۰۰۴).

در پژوهش حاضر در اثر تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز) و میزان مالون‌دی‌آلدهید افزایش یافت. جلبک‌ها نیز در افزایش فعالیت این ترکیبات در گیاه بنفشه نقش مثبت داشتند. با کاربرد جلبک‌های سارگاسوم و اسپیرولینا فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بهبود یافت که جهت مقاومت گیاه نسبت به شرایط نامساعد تنشی مؤثر بود. مهم‌ترین علت استفاده از جلبک‌ها به‌عنوان کود توانایی بالای آن‌ها در جذب آب و نگهداری آن است. این ویژگی به‌واسطه داشتن درصد بالای ترکیبات پلیمری است که قادرند مولکول‌های آب را جذب نموده و به حالت ژله‌ای درآیند. هم‌چنین درصد بالای املاح و ترکیبات معدنی موجود در جلبک‌ها که نیاز گیاهان به املاح را تأمین می‌کنند ویژگی مهم دیگری است که در حاصلخیزی خاک نقش به‌سزایی دارد (هرناندز– هررا[9] و همکاران، ۲۰۲۲). جلبک‌های دریایی محتوای مغذی کم و پرمصرف، آمینواسیدها، ویتامین، سیتوکنین‌ها، اکسین و آبسیزیک‌اسید هستند و به‌واسطه این مواد سبب تحریک رشد و محصول گیاه، ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های محیطی، افزایش جذب مواد مغذی از خاک و نیز افزایش صفات آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (ارولان[10] و همکاران، ۲۰۰۹).

محتوای نسبی آب نشانگر وضعیت آب در گیاهان و رابطه بین تأمین آب به بافت برگ و میزان تعرق است (اسماعیل‌پور و فاطمی، ۱۳۹۹). کاهش سطح آب باعث می‌شود سلول‌های گیاهی کاهش فشار تورژسانس را تجربه کنند که منجر به آسیب سلولی و پژمردگی کلی و کاهش رشد گیاهان می‌شود. محتوای نسبی بالای آب به گیاه کمک می‌کند تا گونه‌های فعال اکسیژن و تنش‌های اسمزی ناشی از خشکی را خنثی کند و به‌طور بالقوه به بازده بیش‌تر کمک کند (احمدپور و همکاران، ۱۴۰۰).

1. Pamungkas
2. Zangooei
3. *Coleus plectranthus* L.
4. Prathyusha
5. Chaitanya
6. *Vigna mung* L.
7. Gurumurthy
8. Sofo
9. Hernández-Herrera
10. Erulan

محتوای کربوهیدرات‌های قابل سوخت‌وساز، یعنی ساکارز، گلوکز و فروکتوز با افزایش تنش به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. کربوهیدرات‌های محلول نه‌تنها تنظیم اسمزی را فراهم می‌کنند و از ماکرومولکول‌ها (مانند پروتئین‌ها) و غشاها محافظت می‌کنند، بلکه می‌توانند سوخت کربن را برای متابولیسم انرژی در هنگام کاهش فتوسنتز انجام دهند و نقش‌های محوری را به‌عنوان مولکول‌های سیگنال، تنظیم بیوسنتز و هورمون‌های گیاهی ایفا کنند (پراتیوشا[1] و چایتانیا[2]، ۲۰۱۹). در شرایط تنش‌های محیطی، کودها با تعدیل تنش شرایط رشد گیاه را به سمت نرمال می‌برد (زاهدی[3] و همکاران، ۲۰۱۹).

افزایش میزان پرولین در بررسی‌های دیگر نیز گزارش شده است. تحت تنش خشکی، میزان پرولین بخش هوایی و ریشه گیاه زنیان[4] افزایش یافت (باقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). علت افزایش پرولین تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل تحریک فعالیت آنزیم بیوسنتزکننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم کاتابولیکی پرولین باشد (محمود[5] و همکاران، ۲۰۲۳). در سطح بیوشیمیایی، متابولیت‌های ثانویه و دیگر مولکول‌های کلیدی مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و پلی‌آمین‌ها نقش کلیدی را در مکانیسم‌های تحمل به تنش خشکی و بهبود ظرفیت سازگاری گیاه از طریق تغییر در ثبات غشای سلولی و تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند (ال سبق[6] و همکاران، ۲۰۱۹). پرولین به‌عنوان یک شبه‌سیگنال مهم در شرایط تنش خشکی عمل می‌کند که منجر به تحریک میتوکندری می‌شود و هم‌چنین ژن‌های خاصی را در شرایط تنش تحریک می‌کند (بارگاوا[7] و ساوانت[8]، ۲۰۱۳). تجمع پرولین به حفظ غشای سلولی با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها با دفاع‌کردن در برابر پتانسیل اکسیداسیون و احیا سلول و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال کمک می‌کند (گومز[9] و همکارن، ۲۰۱۰).

کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشا، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌گردد (اسماعیل‌پور و فاطمی، ۱۳۹۹).

در پژوهشی مشابه افزایش فنل کل در شرایط تنش در گیاهان بومادران[10] (قریبی[11] و همکاران، ۲۰۱۶) و زیتون[12] (دناکسا[13] و همکاران، ۲۰۲۰) گزارش شد. کودهای زیستی و آلی نقش مهمی در تحریک متابولیت‌های ثانویه‌ای دارد که نقش حفاظتی از گیاه را دارند. در این میان، افزایش ترکیبات فنلی یکی از هدف‌های اصلی این محرک‌های رشد گیاه برای مقابله با تنش خشکی است. تأثیر کودهای زیستی و آلی بسته به نوع تنش، غلظت ماده و نوع گونه گیاهی متفاوت است. اما در پژوهشی افزایش محتوای فنلی تحت تأثیر کودهای زیستی بیان شد (رادزیف[14] و همکاران، ۲۰۲۱) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

گیاهان می‌توانند با روش‌های مختلف موفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و یا مولکولی به تنش خشکی پاسخ دهند. این پاسخ‌ها موجب ایجاد تغییراتی در آن‌ها می‌شود که یا در برابر تنش مقاومت بیش‌تری می‌کنند و یا از مواجهه با

1. Prathyusha
2. Chaitanya
3. Zahedi
4. *Trachyspermum ammi* L.
5. Mahmud
6. El Sabagh
7. Bhargava
8. Sawant
9. Gomes
10. *Achillea millefolium*
11. Gharibi
12. *Olea europaea*
13. Denaxa
14. Radziff

تنش اجتناب می‌کنند (بیلاح[1] و همکاران، ۲۰۲۱). در برخی از این پاسخ‌ها افزایش قابل‌توجهی در میزان گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مشاهده می‌شود که به‌دنبال آن فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد (آقایی[2] و همکاران، ۲۰۰۹).

عصاره جلبک، قدرت بالایی در حذف رادیکال آزاد اکسیژن دارند (شوکلا[3] و همکاران، ۲۰۱۷). نتایج پژوهش حاضر با یافته سایر پژوهش‌گران در پی افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه همخوانی دارد (ارولان[4] و همکاران، ۲۰۰۹؛ منصوری[5] و همکاران، ۲۰۱۵).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار اثر تنش خشکی و جلبک دریایی بر تمامی صفات مورفولوژیک موردمطالعه شامل ویژگی‌های برگ و گل در گیاه بنفشه زینتی بود. هم‌چنین میزان فعالیت آنزیم‌های اکسیدان و ترکیباتی چون کربوهیدرات، پرولین، فنل و فلاونوئید تحت اثر اصلی تیمارها تفاوت معنی‌دار نشان دادند. با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد برگ و گل و سایر صفات مورفولوژیک کاهش پیدا کرد. اگرچه جلبک دریایی شدت اثر منفی تنش خشکی را بهبود داد، اما جلبک دریایی سارگاسوم با غلظت ۲ درصد نسبت به اسپیرولینا و شرایط شاهد مؤثرتر بود. افزایش شدت تنش موجب افزایش انباشت پرولین و کربوهیدرات و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و مالون‌دی‌آلدهید شد. در اثر افزایش شدت تنش خشکی میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش یافت. در تیمار تنش خشکی ۷۵ درصد ظرفیت زراعی فنل و فلاونوئید بیش‌تری در گیاه سنتز شد که منجر به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه بنفشه زینتی گردید. با توجه به این‌که ازبین‌رفتن رنگیزه‌های فتوسنتزی یکی از عوامل کاهش رشد در هنگام تنش خشکی است و از طرفی مایع جلبک بر کلروفیل و سایر ترکیبات بیوشیمیایی اثر محافظتی دارد، پیشنهاد می‌شود از عصاره انواع جلبک‌های دریایی به‌عنوان کود و محرک رشد استفاده شود. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت با توجه به این‌که خشکی امروزه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محسوب شده و صنعت کشاورزی از پرمصرف‌ترین صنایع از نظر آب می‌باشد استفاده از جلبک دریایی که سبب کاهش اثر منفی تنش در گیاه و حفظ نسبی عملکرد گیاه خواهد شد، قابل‌توصیه می‌باشد.

۷. تشکر و قدردانی

از همکاری ارزشمند خانم دکتر سودابه نورزاد دانش‌آموخته دکترای تخصصی علوم باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات در مراحل انجام پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

1. Billah
2. Aghaei
3. Shukla
4. Erulan
5. Mansori

۹. منابع

آزادی، محمدصادق؛ شکوه‌فر، علیرضا؛ مجدم، مانی؛ لک، شهرام و علوی‌فاضل، مجتبی (۱۴۰۰). اثر کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیم بر صفات بیوشیمیایی هیبریدهای ذرت تحت تنش خشکی و تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۴، ۱۷-۳۸.

احمدپور، راهله؛ سلیمی، اعظم؛ زیدی، هانیه و آرمند، نظام (۱۴۰۰). استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه نخود با تأکید بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک. *پژوهش‌های حبوبات ایران*، ۱۲(۲)، ۲۱۳-۱۹۹.

اردشیری، طاهره و جهان‌بین، شاهرخ (۱۳۹۷). اثر محلول‌پاشی نانوکود کلات آهن و روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت کلزا در شرایط تنش خشکی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۰، ۳۱-۴۳.

اسماعیل‌پور، بهروز؛ فاطمی، حمیده و مرادی، معصومه (۱۳۹۹). تأثیر عصاره جلبک دریایی، نیتریک‌اکسید و پوترسین بر شاخص‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و متابولیت‌های ثانویه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط محدودیت آبی. *مجله علوم و فنون کشت گلخانه‌ای*، ۱۱(۱)، ۵۹-۶۹.

افشارمحمدیان، منصور؛ امیدی‌پور، مطهره و جمال امیدی، فاطمه (۱۳۹۷). اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل دو رقم لوبیا. *پژوهش‌های گیاهی*، ۳۱، ۵۱۱-۵۲۵.

اورعی، عطیه؛ تهرانی‌فر، علی؛ قربانی، زهرا (۱۴۰۱). اثر هیدرو سولفید سدیم بر صفات فیزیولوژیک و مورفولوژی گیاه تاج‌خروس (*Amaranthus tricolor*) تحت تنش کم‌آبیاری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱ (۵۱)، ۱۹-۳۴.

اورعی، عطیه؛ تهرانی‌فر، علی؛ نظامی، احمد و شور، محمود (۱۳۹۸). ارزیابی پاسخ‌های بیوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی بنفشه (*Viola× wittrockiana*) به تنش خشکی و سرما. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸(۳۲)، ۱۲۰-۱۰۳.

باقی‌زاده، امین؛ افروشته، ملیحه و فاخری، براتعلی (۱۳۹۵). تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi*). *یافته‌های نوین کشاورزی*، ۱۳، ۹۱-۱۰۸.

جزی‌زاده، الهام و مرتضائی‌نژاد، فروغ (۱۳۹۶). اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.). *فرآیند و کارکردهای گیاهی*، ۲۱، ۲۷۹-۲۹۰.

جوادی، فریما؛ کلاته‌جاری، سپیده؛ دیانت، مرجان و عسگری، فرزاد (۱۴۰۰). بررسی اثر روش‌های کاربرد سلنات سدیم بر بنفشه زینتی (*Viola× wittrickiana* cv. Queen Yellow Bee) در شرایط تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۰(۴۲)، ۲۲۸-۲۱۱.

حاجی‌امینی، زهرا؛ معلمی، نوراله و سعادتی، صفورا (۱۳۹۳). مقایسه اثر تنش کم آبی بر تغییرات میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سه رقم زیتون (*Olea europaea* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) (علمی)، ۲۷(۲)، ۱۵۶-۱۶۷.*

سودائی‌زاده، حمید؛ شمسایی، مریم؛ تجملیان، مهدیه؛ میرمحمدی میبدی، علی‌محمد و حکیم‌زاده، محمدعلی (۱۳۹۵). بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مرزه (*Satureja hortensis* L.). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۵، ۱-۱۲.

غفاری‌نژاد، سیدعلی؛ نورقلی‌پور، فریدون و غیبی، محمدنبی (۱۳۹۹). محرک‌های رشد گیاهی، نقش آن‌ها در فیزیولوژی گیاه، جذب عناصر غذایی و مقابله با تنش‌های محیطی. *مجله مدیریت اراضی*، ۸(۱)، ۴۷-۶۷.

محکمی، افسانه؛ حبیبی‌پیرکوهی، مازیار؛ شهریاری، امیرغفار؛ قدوم‌پاریزی‌پور، محمدحامد (۱۳۹۹). تأثیر عصاره جلبک دریایی بر رشد و شاخص‌های فیزیولوژیک گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۲۱(۳)، ۲۵۸-۲۴۷.

نورزاد، سودابه؛ احمدیان، احمد و مقدم، محمد (۱۳۹۴). بررسی میزان پرولین، کلروفیل کل، کربوهیدرات و مقدار جذب عناصر غذایی در گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی و تیمار کودی. *مجله پژوهش‌های زراعی ایران دانشگاه فردوسی مشهد*، ۱۳(۱)، ۱۳۹-۱۳۱.

References

Afshar Mohamadian, M., omidipour, M., & Jamal Omidi, F. (2018). Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *31*(3), 511-525. (In Persian).

Aggarwal, M., Sharma, S., Kaur, N., Pathania, D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Kaur, R., Singh, K., Srivastava, A., & Nayyar, H. (2011). Exogenous Proline Application Reduces Phytotoxic Effects of Selenium by Minimising Oxidative stress and Improves Growth in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seedlings. *Biological Trace Element Research, 140*, 354-367.

Aghaei, K., Ehsanpour, A. A., & Komatsu, S. (2009). Potato responds to salt stress by increased activity of antioxidant enzymes. *Journal of Integrative Plant Biology, 51*, 1095-1103.

Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeydi, H., & Armand, N. (2021). Use of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract in mitigating the negative effects of water deficit stress in chickpea by evaluating morphophysiological indicators. *Iranian Journal Pulses Research, 12*(2), 199-213. (In Persian).

Ardeshiri, T., & Jahan Bin, S. (2018). Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *20*(1), 31-43. (In Persian).

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, *23*, 112-121.

Asadpour, S., Madani, H., Nour Mohammadi, Gh., Majidi Heravan, I., & Heidari Sharif Abad, H. (2020). Improving maize yield with advancing planting time and nano-silicon foliar spray alone or combined with zinc. *Silicon*, *14*(5), 1-9.

Ashour, M., El-Shafei, A. A., Khairy, H. M., Abd-Elkader, D. Y., Mattar, M. A., Alataway, A., & Hassan, S. M. (2020). Effect of *Pterocladia Capillacea* seaweed extracts on growth parameters and biochemical constituents of Jew's Mallow. *Agronomy*, *10*(3), 420.

Azadi, M. S., Shokoohfar, A. R., Mojadam, M., Lak, S., & Alavifazel, M. (2021). Effect of potassium chemical and biological fertilizers on biochemical traits of corn hybrids under drought stress and determination of traits affecting grain yield. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(1), 27-38. (In Persian).

Baghizadeh, A., Afroushte, M., & Fakheri, B. (2017). The effects of drought stress on seed germination and some of morphological and physiological traits in Trachyspermum ammi. *New Finding in Agriculture*, *11*(2), 19-36. (In Persian).

Bates, L. S. (1973) Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. *Plant Soil*, *39*, 205-207.

Bhargava, S., & Sawant, K. (2013). Drought stress adaptation: Metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*, *132*, 21-32.

Bhatt, R. M., & Rao, S. N. K. (2005). In fluence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, *10*, 54-59.

Billah, M., Aktar, S., Brestic, M., Zivcak, M., Khaldun, A. B. M., Uddin, M. S., Bagum, S. A., Yang, X., Skalicky, M., & Mehari, T. G., *et al*. (2021). Progressive Genomic Approaches to Explore Drought- and Salt-Induced Oxidative Stress Responses in Plants under Changing Climate. *Plants*, *10*, 1910.

Caffagni, D. E., Camargo, E., Casali, C. A., Lombardi, A.T., & Lima, M. I. S. (2015). Coupling microalgal cultures with hydroponics: Prospection for clean biotechnology processes. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 6, 88-94.

Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., & Chern, J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *10*(3).

Chowdhury, J., Karim, M., Khaliq, Q., & Ahmed, A. (2017). Effect of drought stress on bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *42*, 475-485.

Colla, G., Rouphael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., & Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science*, *5*, 1-6.

Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Appllied Phycology*, *23*, 371-393.

Denaxa, N. K., Damvakaris, T., & Roussos, P. A. (2020). Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. *Scientia Horticulturae*, *259*, 108812.

El Sabagh, A., Hossain, A., Barutcular, C., Gormus, O., Ahmad, Z., Hussain, S., Islam, M., Alharby, H., Bamagoos, A., Kumar, N., Akdeniz, H., Fahad, S., Meena, R. S, Abdelhamid, M., Wasaya, A., Hasanuzzaman, M., Sorour, S., & Saneoka, H. (2019). Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies—A review. *Applied Ecology Environmental Research*, *17*, 4019-4043.

El-Sadek, A., & Ahmed, E. (2022). Novel Application of Spirulina platensis extract as an alternative to the expensive plant growth regulators on Capparis cartilaginea (DECNE.). *Al-Azhar Journal of Pharmaceutical Sciences*, *66*(2), 29-41.

Erulan, V., Soundarapandian, P., Thirumaran, G., & Ananthan, G. (2009). Studies on the effect of *Sargassum polycystum* (C, Agardh 1824) extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus cajan* (L.) Mill sp. Amer-Eurasi. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, *6*(4), 392-399.

Esmaielpour, B., Fatemi, H., & Moradi, M. (2020). Effects of seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water-deficit stress conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *11*(1). (In Persian).

Fan, D., Hodges, D. M., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2013). A commercial extract of Brown Macroagla (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. *Communication in Soil Science Plant Analaysis, 44*, 1873-1884.

Gavili, E., Mousavi, A. K., & Kamgar, A. K. (2016). Effect of cattle manure biochar and drought stress on the growth characteristics and water use efficiency of spinach under greenhouse conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, *30*(2), 243-259.

Ghaffari Nejad, S. A., Nourgholipour, F., & Gheybi, M. N. (2020). Biostimulants and their Roles in Plant Physiology, Nutrient Absorption, and Tolerance to Abiotic Stresses. *Journal of Land Management*, *8*(1), 47-67. (In Persian).

Gharibi, S., Tabatabaei, B. E. S., Saeidi, G., & Goli, S. A. H. (2016). Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *178*, 796-809.

Gomes, P., Oliva, M. A., Mieike, M. S., Almeida, A. A. F., & Aquino, L. A. (2010). Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. *Scientia Horticulture*, *126*, 379-384.

González, A., Castro, J., Vera, J., & Moenne, A. (2013). Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division. *Journal of Plant Growth Regulations, 32*, 443-448.

Guinan, K. J., Sujeeth, N., Copeland, R. B., Jones, P. W., O'Brien, N. M., Sharma, H. S. S., Prouteau, P. F. G., & O'Sullivan, J. T. (2013). Discrete roles for extracts of *Ascophyllum nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stresses. *Acta Horticulturae*, *1009*, 127-136.

Gurumurthy, S., Sarkar, B., Vanaja, M., Lakshmi, J., Yadav, S., & Maheswari, M. (2019). Morpho-physiological and biochemical changes in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) genotypes under drought stress at flowering stage. *Acta Physiologia Plantarium*, *41*, 42.

Haji Amini, Z., Moallemi, N., & Saadati, S. (2014). Effects of water deficit on proline content and activity of antioxidant enzymes among three olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *27*(2), 156-167. (In Persian).

Hamouda, R. A., Shehawy, M. A., El Din, S. M. M., Albalwe, F. M., Albalawi, H. M. R., & Hussein, M. H. (2022). Protective role of Spirulina platensis liquid extract against salinity stress effects on *Triticum aestivum* L. *Green Processing and Synthesis*, *11*(1), 648-658.

Hernández-Herrera, R. M., Sánchez-Hernández, C. V., Palmeros-Suárez, P. A., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Meza-Canales, I. D., & Becerril-Espinosa, A. (2022). Seaweed Extract Improves Growth and Productivity of Tomato Plants under Salinity Stress. *Agronomy*, *12*(10), 2495.

Ikeura, H., Kobayashi, F., Kai, T., Tsuchiya, Y., & Tamaki, M. (2023). Flower colour and antioxidant activity of violas (*Viola× wittrockiana*) as edible flowers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *98*, 1-7.

Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D., & Chet, I. (1994). Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. *European Journal of Plant Pathology*, *100*(5), 337-346.

Javadi, F., Kalatejari, S., Diyanat, M., & Asgari, F. (2021). The effect of sodium selenate application method on ornamental violet (*Viola wittrickiana* cv. Queen Yellow Bee) under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, *10*(42), 211-228. (In Persian).

Jazizadeh, E., & Mortazaeinezhad, F. (2017). Effects of Water stress on Morphological and Physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Plant Process and Function*, *6*(21), 279-290. (In Persian).

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 Sciences*, *10*, 56-92.

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts asbiostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulations*, *28*(4), 386-399.

Mahmud, S., Kamruzzaman, M., Bhattacharyya, S., Alharbi, K., Abd El Moneim, D., & Mostofa, M.G. (2023). Acetic acid positively modulates proline metabolism for mitigating PEG-mediated drought stress in Maize and Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1167238.

Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou, D., & El KaouaM. (2015). Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology*, *27*(4), 1689-1698.

Martynenko, A., Shotton, K., Astatkie, T., Petrash, G., Fowler, C., Neily, W., & Critchley, A. T. (2016). Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. *Springerplus*, *5*(1), 1393.

Mohkami, A., Habibi-Pirkoohi, M., Shahriari, A.Gh., & Ghodoum Parizipour, M. H. (2020). The Effect of Seaweed Extract (*Sargassum angustifolium* L.) on Growth and Physiological Indices of Tomato under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *21*(3), 247-258. (In Persian).

Obinger, C., Maj, M., Nicholls, P., & Loewen, P. (1997). Activity, peroxide compound formation, and heme d synthesis in Escherichia coli HPII catalase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *342*, 58-67.

Oguz, M. C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., & Yildiz, M. (2022). Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, *2*, 180-197.

Oraee, A., Tehranifar, A., & Ghorbani, Z. (2022). Effect of sodium hydrosulfide on physiological and morphological traits of *Amaranthus tricolor* under deficit irrigation. *Plant Process and Function*, *11*(51), 19-34. (In Persian).

Oraee, A., Tehranifar, A., Nezami, A., & Shoor, M. (2019). Evaluation of biochemical and morphophysiological responses of *Viola× wittrockiana* to drought and cold stress. *Plant Process and Function*, *8*(32), 103-120. (In Persian).

Ouchikh, O., Chahed, T., Ksouri, R., Ben Taarit, M., Faleh, H., Abdelly, Ch., Kchouk, M.E., & Marzouk, B. (2011). The effects of extraction method on the measured tocopherol level and antioxidant activity of *Laurus nobilis* vegetative organs. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*, 103-110.

Pamungkas, S. S. T., Suwarto, S., & Farid, N. (2022). Drought Stress: Responses and Mechanism in Plants. *Reviews in Agricultural Science*, *10*, 168-185.

Prathyusha, I. V. S. N., & Chaitanya, K. V. (2019). Effect of water stress on the physiological and biochemical responses of two different *Coleus* (Plectranthus) species. *Biology Future*, *70*, 312-322.

Radziff, S. B. M., Ahmad, S. A., Shaharuddin, N. A., Merican, F., Kok, Y.Y., Zulkharnain, A., Gomez-Fuentes, C., & Wong, C.Y. (2021). Potential Application of Algae in Biodegradation of Phenol: A Review and Bibliometric Study. *Plants*, *10*, 2677.

Ritchie, S. W., Nguyan, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf Water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*, 105-111.

Rodriguez-Perez, L., Carlos Eduardo Nustez, L., & Liz Patricia Moreno, F. (2017). Drought stress affects physiological parameters but not tuber yield in three Andean potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Agronomia Colombiana*, *35*, 158.

Shedeed, Z. A., Gheda, S., Elsanadily, S., Alharbi, K., & Osman, M. E. (2022). *Spirulina platensis* Biofertilization for Enhancing Growth, Photosynthetic Capacity and Yield of *Lupinus luteus*. *Agriculture*, *12*(6), 781.

Shukla, P. S., Borza, T., Critchley, A. T., Hiltz, D., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2018). *Ascophyllum nodosum* extract mitigates salinity stress in *Arabidopsis thaliana* by modulating the expression of miRNA involved in stress tolerance and nutrient acquisition. *PloS One*, *13*(10), e0206221.

Shukla, P. S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2017). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *Annals of Botany*, *10*(1), plx051.

Singh, J., & Thakur, J.K. (2018). Photosynthesis and abiotic stress in plants. Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants. Singapore: Springer, 27-46.

Sodaii zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady maibody, A. M., & Hakim zadeh, M. A. (2016). The Effects of Water Stress on some Morphological and physiological Characteristics of *Satureja hortensis*. *Plant Process and Function*, *5*(15), 1-12. (In Persian).

Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., & Masia, A. (2004). Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. *Physiologia Plantarum*, *121*, 58-65.

Sun, T., Powers, J. R., & Tang, J. (2007). Evaluation of the antioxidant activity of Asparagus, broccoli and their juices. *Food Chemistry*, *105*, 101-106.

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

Vinoth, S., Gurusaravanan, P., Sivakumar, S., & Jayabalan, N. (2019). Influence of seaweed extracts and plant growth regulators on in vitro regeneration of *Lycopersicon esculentum* from leaf explant. *Journal of Applied Phycology*, *31*(3), 2039-2052.

Xie, Q. J., Duan, L. H., & Wang, Z. X. (2018). Impact of urban landscape pattern on spatial distribution of thermal field in summer: a case study of Wuhan. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, *27*, 1735-1744.

Xu, C., & Leskovar, D. I. (2015). Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *183*, 39-47.

Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Meybodi, N. D. H., & Teixeira da Silva, J. A. (2019). Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality. *South African Journal of Botany*, *124*, 350-358.

Zangooei, E., Bazgir, E., Gholamnejad, J., & Darvishnia, M. (2018). Investigation of the peroxidase and catalase enzymes activity and expression level of it's encoding genes in pathogen stress (*Penicillium expansum*) and Walnut green skin extract condition in apple fruits. *Journal of Cell and Tissue*, *9*(2), 159-175.

Zhang, X., Wang, K., & Ervin, E. H. (2010). Optimizing dosages of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside for improving creeping bentgrass heat tolerance. *Crop Science*, *50*(1), 316-320.