Journal of Vegetables Sciences, Autumn & Winter 2025, Vol 8, No 16(2), Pages 85-104

doi: 10.22034/iuvs.2023.2006338.1299 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Evaluation of Mycorrhiza and Seaweed Extract Application on Some Morphological and Physiological Traits and Nutrients of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Transplant

Ali Akbar Damadi[1], Farzad Rasouli[2*], Mohammad Ali Aazami[2], Mohammad Bagher Hassanpouraghdam[2], Lamia Vojodi Mehrabani[3], Parinaz Ferdosi Ghepchagh[1], Rana Panahi Tajaragh[1]

1- M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

[*]**Corresponding author:** farzad.rasouli@maragheh.ac.ir

(**Received:** 03 July 2023 **Revise:** 11 October 2023 **Accepted:** 21 December 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** The production of high-quality vegetable transplants is crucial for cultivating greenhouse products. Utilizing healthy, vigorous seedlings ensures a high potential for producing top-performing products. Healthy seedlings guarantee successful plant growth, ultimately increasing producers' profits. Eggplant (*Solanum melongena* L.) is one of the oldest cultivated crops in Africa, Asia, and Southern Europe. Currently, biological fertilizers have been proposed as an alternative to some chemical fertilizers to increase soil fertility in the production of products in sustainable agriculture. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as a plant symbiotic fungus and seaweed (SWE) as a biological growth promoter have been documented in increasing the growth and yield of crops. The production and performance of greenhouse products depend on producing high-quality transplants, and increasing the quality of transplants to reduce production costs is one of the main goals of the transplanting industry. Optimum nutrition is one of the most effective ways to improve the quality of seedlings.

2. **Materials and Methods:** To study the effect of foliar application of seaweed extract and mycorrhizal fungus on yield, yield components, and morphological characteristics of eggplant transplants, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with four replications in greenhouse conditions. The first factor was mycorrhiza (*Glomus mosseae*) in two levels: without mycorrhiza and with the application of mycorrhiza (5 g kg^{-1} soil), and the second factor was the foliar application of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) with concentrations of 0, 1, 2, and 4 g L^{-1}. After 15 days from the seeds' initial planting, a seaweed extract was applied in three stages over 21 days, each occurring once every seven days. Six weeks after planting the seeds, the morphological characteristics of eggplant, including the number of leaves, leaf length and width, seedling height, root and stem weight, stem diameter, greenness index, and physiological traits such as photosynthetic pigments, carbohydrates, and leaf protein, and some nutritional values were evaluated.

3. **Results and Discussion:** The results showed that eggplant's morphological, physiological, and biochemical characteristics were affected by foliar spraying of seaweed extract and mycorrhizal fungus. The application of these treatments improved the morphological characteristics, and growth parameters of eggplant transplants, photosynthetic pigments, osmolytes (carbohydrate and total protein), and antioxidant elements. SWE treatment (4 g L^{-1}) with AMF inoculation caused a 69, 42, 59, and 109% increase in seedling height, stem diameter, leaf length, and width, respectively. The highest amount of chlorophyll b was observed in the treatments with 2 and 4 g L^{-1} SWE, both with and without AMF application. Conversely, the lowest amount was observed in the control treatment. Additionally, the highest amount of carotenoid was observed at the 4 g L^{-1} SWE level with the application of AMF, showing a 324% increase compared to the control treatment. Conversely, the lowest amount was also observed in the control treatment. The highest amount of carbohydrates was observed with the foliar application of 4 g L^{-1} SWE in combination with the application of AMF, resulting in 34.05 mg g^{-1} fresh weight. The lowest amount of carbohydrates was observed in the control group, with 15.82 mg g^{-1} fresh weight. The highest amount of total soluble protein, 6.75 mg/g fresh weight, was obtained using 4 g L^{-1} SWE in combination with AMF. However, there was a significant difference between this treatment and using 4 g L^{-1} SWE alone or combined with 2 g L^{-1} with AMF. The lowest amount of total soluble protein, 2.43 mg g^{-1} fresh weight, was observed in the control treatment. The application of AMF in conjunction with 4 g L^{-1} SWE increased the iron content by 208% and the iron content by 93% compared to the control treatment. Also,

the application of AMF caused a 28% increase in the concentration of copper in the leaves of eggplant transplants.

4. **Conclusion:** The research findings indicate that the application of seaweed extract, mycorrhizal fungus, or a combination of both can significantly enhance various characteristics of plants. These improvements include increased plant height, leaf length, number of leaves, stem diameter, and leaf width, as well as enhanced stem and root vigor in terms of fresh and dry weights. Additionally, physiological traits such as protein content, chlorophyll levels (both a and b), total carbohydrates, carotenoid levels, and SPAD values were also found to be positively influenced. It is recommended that 4 g/l be used in conjunction with AMF for optimal results.

Keywords: Bio-stimulant, Nutrients, Symbiosis, Yield.

Citation: Damadi1, A.A., Rasouli, F., Aazami, M.A., Hassanpouraghdam, M.B., Vojodi Mehrabani., L., Ferdosi Ghepchagh1, P. & Panahi Tajaragh, R. (2025). Evaluation of Mycorrhiza and Seaweed Extract Application on Some Morphological and Physiological Traits and Nutrients of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Transplant. *Journal of Vegetables Sciences*, 16(2), 85-104. doi:10.22034/iuvs.2023.2006338.1299

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال ۸ ، دوره ۱۶، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳، صفحات (۱۰۴-۸۵)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi: 10.22034/iuvs.2023.2006338.1299

ارزیابی کاربرد میکوریزا و عصاره جلبک دریایی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عناصر غذایی نشاء بادنجان (*Solanum melongena* L.)

علی اکبر دامادی[۱]، فرزاد رسولی[۲*]، محمد علی اعظمی[۲]، محمد باقر حسن‌پور اقدم[۲]، لمیا وجودی مهربانی[۳]، پریناز فردوسی قپچاق[۱]، رعنا پناهی تجرق[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

[*]نویسنده مسئول: farzad.rasouli@maragheh.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵)

چکیده

تولید و عملکرد محصولات گلخانه‌ای از جمله بادنجان (*Solanum melonena* L.) به تولید نشاء باکیفیت بالا بستگی دارد و افزایش کیفیت نشاء در راستای کاهش هزینه‌های تولید از اهداف اصلی صنعت تولید نشاء می‌باشد. در این راستا، به‌منظور مطالعه اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریزا بر عملکرد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نشاء بادنجان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۴۰۱ تحت شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد میکوریزا (*Glomus mosseae*) در دو سطح ۰ (شاهد) و ۵ گرم در کیلوگرم خاک، و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum Nodosum*) با غلظت‌های ۰ (شاهد)، ۱، ۲ و ۴ گرم در لیتر بودند. نتایج نشان داد ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بادنجان تحت تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریزا قرار گرفت. کاربرد تیمار عصاره جلبک دریایی (۴ گرم در لیتر) با تلقیح AMF به‌ترتیب افزایش ۶۹، ۴۲، ۵۹ و ۱۰۹ درصدی ارتفاع نشاء، قطر ساقه، طول و عرض برگ را موجب گردید. تیمار ۴ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی با کاربرد همزمان میکوریزا باعث افزایش ۲۰۸ درصدی محتوای آهن و ۹۳ درصدی محتوای روی برگ نسبت به تیمار شاهد گردید. براساس نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد کاربرد محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۴ گرم در لیتر توام با قارچ میکوریزا می‌تواند سبب افزایش کیفیت و پارامترهای بیوشیمیایی و مورفولوژیکی نشاء بادنجان باشد.

واژه‌های کلیدی: تحریک کننده رشد زیستی، عملکرد، مواد مغذی، همزیستی.

استناد: دامادی، ع.ا.، رسولی، ف.، اعظمی، م.ع.، حسن‌پور اقدم، م.ب.، وجودی مهربانی، ل.، فردوسی قپچاق، پ. و پناهی تجرق، ر. (۱۴۰۳). ارزیابی کاربرد میکوریزا و عصاره جلبک دریایی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عناصر غذایی نشاء بادنجان (*Solanum melongena* L.). *علوم سبزی‌ها*، ۱۶(۲)، ۱۰۴-۸۵.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

بادنجان (*Solanum melongena* L.) از گروه سبزیجات میوه‌ای و جزء خانواده گیاهی Solanaceae است. بومی آفریقا، استرالیا و نیوزیلند و گیاهی استوایی و نیمه گرمسیری بوده و نسبت به سرما حساس می‌باشد (Kameli *et al.*, 2020; Shaik & Singh, 2022). میوه بادنجان منبع خوبی از فیبر، ویتامین B_1 و مس است. ناسونین (Nasunin)، آنتوسیانین موجود در پوست بادنجان، به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند که می‌تواند گونه‌های فعال اکسیژن را از بین ببرد. علاوه بر این، بادنجان حاوی انواع فنول‌ها، به‌ویژه اسید کلروژنیک است که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در رژیم غذایی انسان عمل می‌کند (Douds *et al.*, 2017; Shaik & Singh, 2022). میوه این گیاه به‌دلیل دارا بودن برخی از ترکیبات فعال مانند آسکوربیک اسید، فلاونوئیدها و پلی‌فنول‌های برخوردار از فعالیت‌های بیولوژیکی، دارای خواص درمانی فراوانی می‌باشد (Khazaei *et al.*, 2021). بادنجان محصولی کم کالری و کم چربی است و بیشتر حاوی آب است. همچنین دارای مقداری پروتئین، فیبر و کربوهیدرات است. میوه بادنجان منبع خوبی از ویتامین‌های مختلف مانند B_1، B_2، B_3 ، B_6، C، K و اسید پانتوتنیک و مواد معدنی مانند منیزیم، پتاسیم، منگنز و مس است (Ayaz *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2020). آخرین آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) نشان می‌دهد که بادنجان از نظر مجموع تولید جهانی بعد از گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، پیاز (*Allium cepa*)، خیار (*Cucumis sativus*) و کلم (*Brassica oleracea*) با میزان تولید ۵۸/۶۴۶ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ در رتبه چهارم قرار دارد که سهم ایران از این مقدار ۵۹۸ هزار تن می‌باشد. با این میزان تولید، ایران در رتبه ششم تولیدکنندگان بادنجان در سطح جهان قرار گرفته است (FAO, 2021).

از آنجایی که بخش بزرگی از سبزیجات به‌صورت نشایی کشت می‌شوند، این محصولات برای استقرار، رشد و بهره‌وری به‌شدت به میکروارگانیسم‌های ریزوسفری خاک وابسته هستند. یکی از این گروه‌های مفید از میکروارگانیسم‌ها که به فرآیند استقرار کمک می‌کند، قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF) هستند که یکی از میکروفلورهای پیشرو در سیستم خاک محسوب می‌شوند. AMF نقش‌های متعددی به‌عنوان کود زیستی، محافظ زیستی و تجزیه‌کننده زیستی ایفا می‌کند (Aggarwal *et al.*, 2023). همزیستی AMF مدت‌هاست که به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مناسب در کشاورزی پایدار برای دستیابی به امنیت غذایی برای بشر پیش‌بینی شده است و اهمیت آن‌ها در افزایش رشد و عملکرد محصولات کاملاً مستند است (Gupta & Abbott, 2021). گیاه میزبان همزیست، کربن حاصل فتوسنتز را برای AMF تأمین می‌کند و در طرف مقابل، قارچ جذب مواد مغذی و آب از خاک را افزایش می‌دهد (Balestrini *et al.*, 2020). از مزایای دیگر کاربرد میکوریزا می‌توان به تغییر برخی فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اشاره کرد که بر سنتز تنظیم‌کننده‌های رشد و رنگیزه کلروفیل تأثیر می‌گذارد (Yan *et al.*, 2021). همچنین این عوامل سبب مقاومت در برابر تنش زیستی و غیر زیستی می‌شوند (Fracasso *et al.*, 2020). یکی از مواد مغذی تثبیت شده مرتبط با AMF در گیاهان فسفر است (Jiang *et al.*, 2016). فسفر مهم‌ترین عنصر سازنده مولکول‌های آلی است و در بسیاری از فعالیت‌های متابولیکی گیاهان شرکت دارد. ثابت شده است که رشد و عملکرد گیاهان به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر سطح فسفر بستر قرار دارد (Omotoso & Shittu, 2007). بنابراین تلقیح با AMF می‌تواند فسفر و سایر عناصر غذایی مورد نیاز محصول را بدون افزایش میزان مصرف کود افزایش دهد و در نتیجه سبب حفظ محیط زیست گردد (Mitra *et al.*, 2021).

از طرف دیگر جلبک دریایی (SWE) به‌عنوان یک ماده محرک زیستی برای بهبود رشد گیاه عمل می‌کند و حاوی هورمون‌ها، اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، قندها، لیپیدها، ویتامین‌ها، مواد هیومیک و ترکیبات فنولی

است. ویژگی‌های ارگانیک SWE و اثرات فیزیولوژیکی آن‌ها منجر به بهبود جذب مواد غذایی و رشد بهتر گیاه می‌شود (Battacharyya *et al.,* 2015). همچنین، این عوامل باعث جوانه‌زنی سریع بذر شده، رشد ریشه را بهبود بخشیده و کلروفیل برگ را افزایش می‌دهند. بهبود عملکرد محصول و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده از دیگر اثرات مثبت کاربرد SWE در طی فرآیند کشت و تولید محصولات کشاورزی است (Hussain *et al.,* 2021).

تولید نشاءهای باکیفیت در تولید محصولات گلخانه‌ای بسیار مهم است. استفاده از نشاء با کیفیت، سالم و قوی، پتانسیل بالای تولید محصول با عملکرد مناسب را در پی خواهد داشت (Balliu *et al.,* 2017). نشاءهای سالم رشد موفقیت‌آمیز گیاهان را تضمین می‌کند و در نهایت منجر به سود بیشتر برای کشاورزان می شود (Gupta *et al.,* 2021). نشاءکاری استفاده بهینه از منابع آبی را به حداکثر رسانده و کنترل علف-های هرز را به‌مقدار زیادی امکان‌پذیر می‌سازد. روش نشاءکاری نسبت به روش کشت مستقیم بذر از کارآیی تولیدی بیشتری برخوردار است. این مزایا باعث شده است که در سال‌های اخیر میزان استفاده از نشاء برای تولید سبزی‌های مختلف افزایش یابد. پیشرفت تکنولوژی در نشاءکاری نیز در رشد این صنعت سهیم بوده است، زیرا هزینه تولید نشاء را کاهش و درصد اطمینان از تولید محصول مناسب را افزایش داده است (Javanmardi, 2009).

مطالعات نشان داده‌اند که سویه‌های مختلف AMF مزایای عملکردی متفاوتی را برای گیاه میزبان فراهم می کنند. در این راستا، در تحقیقات مختلف نشان داده شده است که استفاده از این میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش عملکرد طیف گسترده‌ای از میوه‌ها و سبزیجات از جمله چندین عضو از خانواده Solanaceae همچون بادنجان (Douds *et al.,* 2017)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) (Douds *et al.,* 2007) و گوجه‌فرنگی (Aseel *et al.,* 2019; González *et al.,* 2020) می‌شود. استفاده از AMF در گیاه کاهو نشان داد که کود زیستی میکوریزا از طریق بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش سنتز رنگیزه‌های گیاهی، افزایش محتوای آب نسبی برگ، فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان پرولین برگ باعث بهبود کارایی فتوسیستم II و در نتیجه افزایش کارایی فتوسنتز کاهو شده، که این موضوع نهایتاً باعث افزایش وزن تر اندام هوایی و در نتیجه عملکرد اقتصادی کاهو تحت شرایط تنش خشکی می‌گردد (Ghonjalipour Goshki *et al.,* 2021).

در مطالعه‌ای مشخص شد که تلقیح گیاهان ذرت (*Zea mays*) و فلفل (*Capsicum frutenscene*) با AMF موجب بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و روی می‌شود (Ortas, 2012). Erman و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که تلقیح گیاه نخود با AMF سبب افزایش میزان فسفر در گیاه و عملکرد دانه نسبت به گیاهان شاهد می‌شود. کاربرد AMF موجب افزایش ارتفاع بوته‌های گندم گردید. زیرا افزایش جذب آب و مواد مغذی باعث افزایش میزان فتوسنتز شده و همین امر سبب بهبود رشد و افزایش ارتفاع گیاه در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، خواهد شد (Amrayi *et al.,* 2016). همچنین برخی مطالعات نشان‌دهنده اثر مثبت کودهای جلبک دریایی به‌ویژه به‌صورت محلول‌پاشی برگی بر ویژگی‌های محصولاتی همچون بادنجان، سیر (*Allium sativum*) (Shalaby & El-Ramady, 2014)، شاهی (*Lepidium sativum*) (Vojodi Mehrabani *et al.,* 2024) و اطلسی (*Petunia* × *hybrida*) (Plaza *et al.,* 2018) می‌باشد. پاسخ گیاهان به موادمغذی تامین‌شده از طریق محلول‌پاشی به‌طور معمول سریع‌تر از زمانی است که به خاک اضافه می‌گردد. عناصرغذایی مانند پتاسیم، آهن، منیزیم و کلسیم با درصد مناسبی در عصاره ریزجلبک‌ها موجود است. علاوه براین، عصاره جلبک‌های دریایی حاوی هورمون‌های گیاهی، آنزیم‌ها و ویتامین‌ها است که می-تواند جذب مواد مغذی و انتقال املاح را بهبود بخشد و منجر به افزایش قابل توجه عملکرد محصول شود

(Shaaban *et al.*, 2010). اثرات محلول‌پاشی عصاره سلولی جلبک سبز *C. vulgaris* بر وضعیت مواد مغذی، رشد و عملکرد گیاهان گندم مورد مطالعه قرارگرفت و نتایج حاکی از افزایش وزن خشک، وزن سنبله و وزن صددانه در گیاهان تیمارشده نسبت به گیاهان شاهد بود (Shaaban *et al.*, 2010). در گزارشی که تأثیر عصاره جلبک‌های متفاوت را بر رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه خیار بررسی کرده، مشخص شده که جلبک سبز *Enteromorpha intestinelis* باعث افزایش عملکرد و بهبود مقادیر عناصر آهن و روی و منگنز گردیده است (Ahmed & Shalaby, 2012). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum* روی گیاه توت‌فرنگی باعث افزایش عملکرد و اندازه میوه و مقدار آنتوسیانین کل میوه گردید (Alam *et al.*, 2013).

امروزه برای بهره‌وری بیشتر و بهتر محصولات، استفاده از کودهای زیستی یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین روش‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان محصولاتی با شاخص‌های کمی و کیفی بالاتر تولید کرد. با توجه به اینکه تاکنون درمورد کاربرد کودها و محرک‌های زیستی در تولید نشاء بادنجان گزارشی ارائه نشده است، بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) و عصاره جلبک دریایی (*A. Nodosum*) در غلظت‌های مختلف بر برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشمیایی نشاء بادنجان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در طی سال ۱۴۰۱ به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار اجرا گردید. بذرهای بادنجان مورد استفاده بذور رقم قلمی (Violet Long) از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. کشت بذور در سینی‌های ۵۰ عددی انجام گرفت و از خاک به‌عنوان بستر کشت استفاده گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل کاربرد میکوریزا (*G. mosseae*) در دو سطح ۰ (شاهد) و ۵ گرم در کیلوگرم خاک، و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (*A. Nodosum*) با غلظت‌های ۰ (شاهد)، ۱، ۲ و ۴ گرم در لیتر بودند. آبیاری براساس شرایط محیطی گلخانه به‌صورت روزانه انجام گرفت. پس از گذشت ۱۵ روز از زمان کاشت بذر، عصاره جلبک دریایی به‌مدت ۲۱ روز و در طی سه مرحله محلول‌پاشی گردید (هر ۷روز یک بار). محلول-پاشی به گونه‌ای بود که سطح برگ‌ها کاملاً خیس شدند. قارچ مایکوریزا به خاک اضافه و به صورت کاملا یکنواخت در خاک پخش گردید.

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی

صفات مورفولوژیکی و رشدی بادنجان ازجمله تعداد برگ شش هفته بعد از کاشت بذر ارزیابی شدند، همچنین جهت اندازه‌گیری طول و عرض برگ و همچنین ارتفاع نشاءها از خط‌کش استفاده شد. برای تعیین وزن‌تر ریشه و ساقه از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان وزن خشک، ابتدا ریشه و ساقه نشاءها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و سپس برحسب گرم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای اندازه‌گیری قطر ساقه نیز از کولیس دیجیتال استفاده گردید.

سبزینگی برگ

اندازه‌گیری مقدار سبزینگی (شاخصی از کلروفیل برگ) با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (SPAD, 502 PLUS, Konica Minolta, Japan) انجام شد. برای انجام این کار، ۳ نقطه از برگ‌های میانی کاملاً توسعه یافته گیاهان در هر تکرار مورد بررسی قرار گرفت. پس از میانگین‌گیری نمونه‌ها، عدد به دست آمده به‌عنوان شاخص کلروفیل هر تکرار در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی مقدار ۰/۵ گرم از ماده تر گیاهی با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و سپس با ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد هضم گردید و با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه

سانتریفیوژ گردید. سپس بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1800 Shimadzu, Japan)، میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید قرائت و محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید (روابطه ۱ تا ۴) (Arnon, 1949).

$$\text{کلروفیل a}= [12.7 \times (A_{663}) + 2.69 \times (A_{645})] \times {}^{V}/_{W \times 100\ FW} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$\text{کلروفیل b}= [22.9 \times (A_{645}) + 4.68 \times (A_{663})] \times {}^{V}/_{W \times 100\ FW} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$\text{کلروفیل کل}= [20.2 \times (A_{645}) + 8.02 \times (A_{663})] \times {}^{V}/_{W \times 100\ FW} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$\text{کاروتنوئید}= [7.6 \times (A_{480}) - 1.49 \times (A_{510})] \times {}^{V}/_{W \times 100\ FW} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

کربوهیدرات کل

جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات کل ۰/۲ گرم از برگ با استفاده از ازت مایع پودر شد و به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد در بن‌ماری با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک ساعت تحت حرارت قرار گرفت. پس از سرد شدن، ۱ میلی‌لیتر فنول ۰/۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به ۱ میلی‌لیتر از نمونه‌ها اضافه گردید و در نهایت میزان جذب در طول موج ۴۸۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, model UV 1800, Kyoto, Japan) قرائت شد. غلظت کربوهیدرات محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Schlegel, 1956).

پروتئین کل

در این روش برای استخراج عصاره پروتئینی، ۵۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده به‌وسیله بافر فسفات به‌همراه ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول برادفورد مخلوط شده و میزان جذب در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت شد. برای تعیین محتوای پروتئین‌کل، از منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های معین پروتئین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر استفاده گردید (Bradford, 1976).

آنالیز آماری

داده‌های بدست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C (V .9.1) مورد آنالیز قرار گرفته و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت پذیرفت. رسم جداول و نمودارها با استفاده از مجموعه نرم افزار Office 2010 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در طی مطالعه حاضر محلول‌پاشی SWE و تلقیح با AMF بهبود صفات ارتفاع نشاء، قطر ساقه، عرض برگ و طول برگ را در پی داشت. به‌طوری که محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر SWE و تلقیح با AMF بیشترین مقدار ارتفاع نشاء، قطر ساقه، طول و عرض برگ را به‌دنبال داشت. این در حالی بود که کمترین مقدار صفات ذکر شده متعلق به تیمار شاهد بود. به این ترتیب تیمار SWE (۴ گرم در لیتر) با تلقیح AMF به‌ترتیب افزایش ۶۹، ۴۲، ۵۹ و ۱۰۹ درصدی ارتفاع نشاء، قطر ساقه، طول و عرض برگ را موجب گردید. (جدول ۱). همچنین مطابق نتایج، بیشترین تعداد برگ در محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی (۷/۲۵) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های ۱ و ۲ گرم در لیتر آن نداشت و کمترین تعداد برگ در تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی (۵/۶۲) مشاهده شد (شکل ۱).

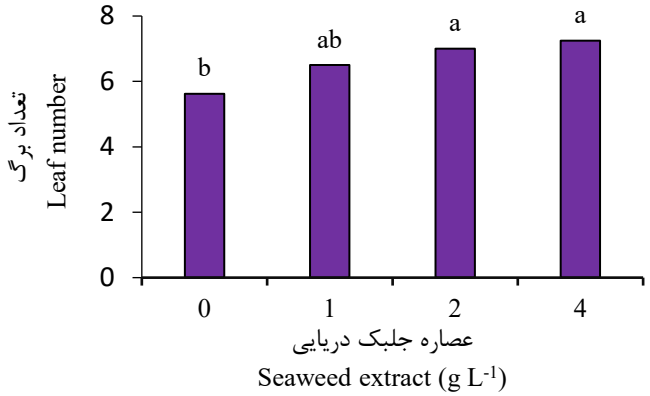
جدول ۱- مقایسه میانگین کاربرد جلبک دریایی و میکوریزا بر قطر ساقه، طول و عرض برگ و ارتفاع نشاء بادنجان

Table 1- Mean comparison of seaweed extract and arbuscular mycorrhiza fungi application on stem diameter, leaf length and width, and height of eggplant transplant

میکوریزا AMF (g kg^{-1})	عصاره جلبک دریایی SWE (g L^{-1})	قطر ساقه Stem diameter (cm)	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	ارتفاع Height (cm)
0	0	1.465^{f}	3.767^{f}	1.878^{f}	11.48^{g}
	1	1.835^{d}	4.555^{de}	3.08^{d}e	13.16^{e}
	2	1.983^{c}	5.077^{bc}	3.318^{bcd}	14.56^{cd}
	4	2.148^{b}	5.32^{b}	3.61^{ab}	15.83^{b}
5	0	1.628^{e}	4.445^{e}	2.928^{e}	12.28^{f}
	1	1.888^{d}	4.818^{cd}	3.17^{cde}	13.96^{d}
	2	2.092^{b}	5.205^{b}	3.46^{bc}	15.21^{bc}
	4	2.35^{a}	5.997^{a}	3.938^{a}	19.45^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05). AMF and SWE refer to arbuscular mycorrhiza fungi and seaweed extract, respectively.



شکل۱- تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر تعداد برگ نشاء بادنجان. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Figure 1- The influence of seaweed extracts foliar application on leaf number of eggplant transplants. Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05).

نتایج نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار شاخص‌های عملکردی در نتیجه محلول‌پاشی SWE همراه با تلقیح AMF میکوریزا بود (جدول ۲). به این ترتیب بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه مربوط به تیمار با SWE ۴ گرم در لیتر و کاربرد ۵ گرم در کیلوگرم خاک AMF بود که به‌ترتیب باعث افزایش ۷۰، ۲۵ و ۱۴۵ درصدی نسبت به نشاءهای شاهد شد و تیمارهای شاهد کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بودند. در رابطه با وزن تر ریشه بیشترین مقدار این صفت مربوط به تیمار یک گرم در لیتر و کمترین آن مربوط به تیمار ۲ گرم در لیتر SWE بود (شکل ۲a). همچنین کاربرد AMF باعث افزایش ۲۰ درصدی وزن تر ریشه گردید (شکل ۲b).

AMF از طریق تأثیر بر جذب عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم (Sundara *et al.*, 2001) و از طرفی دیگر از راه تولید هورمون‌های محرک رشد مانند جیبرلین (موثر بر رشد طولی سلول‌ها، بویژه میانگره‌های ساقه) اکسین و سیتوکینن (موثر بر تقسیم سلولی) موجب بهبود صفات رویشی می‌شوند (Gutierrez-Manero *et al.*, 2001). کاربرد

AMF سبب افزایش جذب عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر، آمونیوم، مس و پتاسیم می‌شود که در نهایت منجر به بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های جانبی و برگ می گردد (Baum *et al.*, 2015). همچنین محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی موجب تحریک فتوسنتز شده و منجر به تولید و تجمع بهتر قندها و نشاسته و در نتیجه افزایش عملکرد وزنی گیاه می‌گردد (Borowitzka & Moheimani, 2013). مشابه با نتایج این مطالعه، Weisany و همکاران (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که صفات رشدی و عملکردی در گیاهان شنبلینه (*Trigonella foenum-graecum* L.)، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد AMF بهبود پیدا می‌کنند.

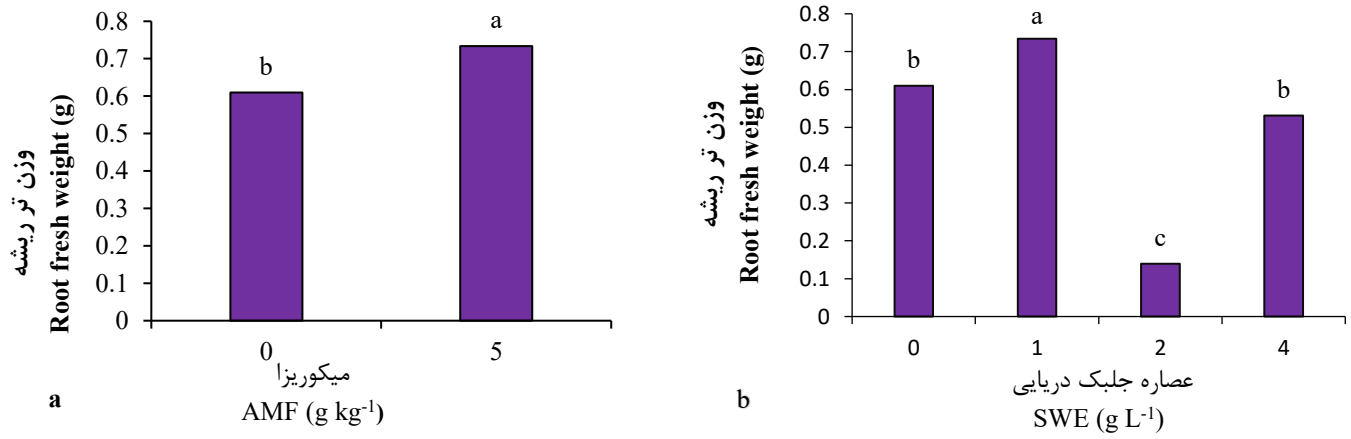
جدول ۲- مقایسه میانگین کاربرد جلبک دریایی و میکوریزا بر وزن تر و خشک ساقه و وزن خشک ریشه نشاء بادنجان

Table 2- Mean comparison of seaweed extract and arbuscular mycorrhiza fungi application on stem fresh and dry weight and root dry weight of eggplant transplant

میکوریزا AMF (g kg^{-1})	عصاره جلبک دریایی SWE (g L^{-1})	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
0	0	1.063^{g}	0.1238^{c}	0.0537^{f}
	1	1.263^{e}	0.1513^{bc}	0.0637^{df}
	2	1.388^{d}	0.1675^{bc}	0.075^{cd}
	4	1.587^{b}	0.19^{ab}	0.095^{b}
5	0	1.175^{f}	0.1462^{bc}	0.0587^{ef}
	1	1.337^{d}	0.1612^{bc}	0.07^{de}
	2	1.475^{c}	0.1725^{bc}	0.085^{bc}
	4	1.815^{a}	0.2488^{a}	0.013^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05). AMF and SWE refer to arbuscular mycorrhiza fungi and seaweed extract, respectively.



شکل۲- تأثیر کاربرد میکوریزا (a) و عصاره جلبک دریایی (b) بر وزن تر ریشه نشاء بادنجان. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Figure 2- The influence of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) (a) and seaweed extract (SWE) (b) application on root fresh weight of eggplant transplant. Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05).

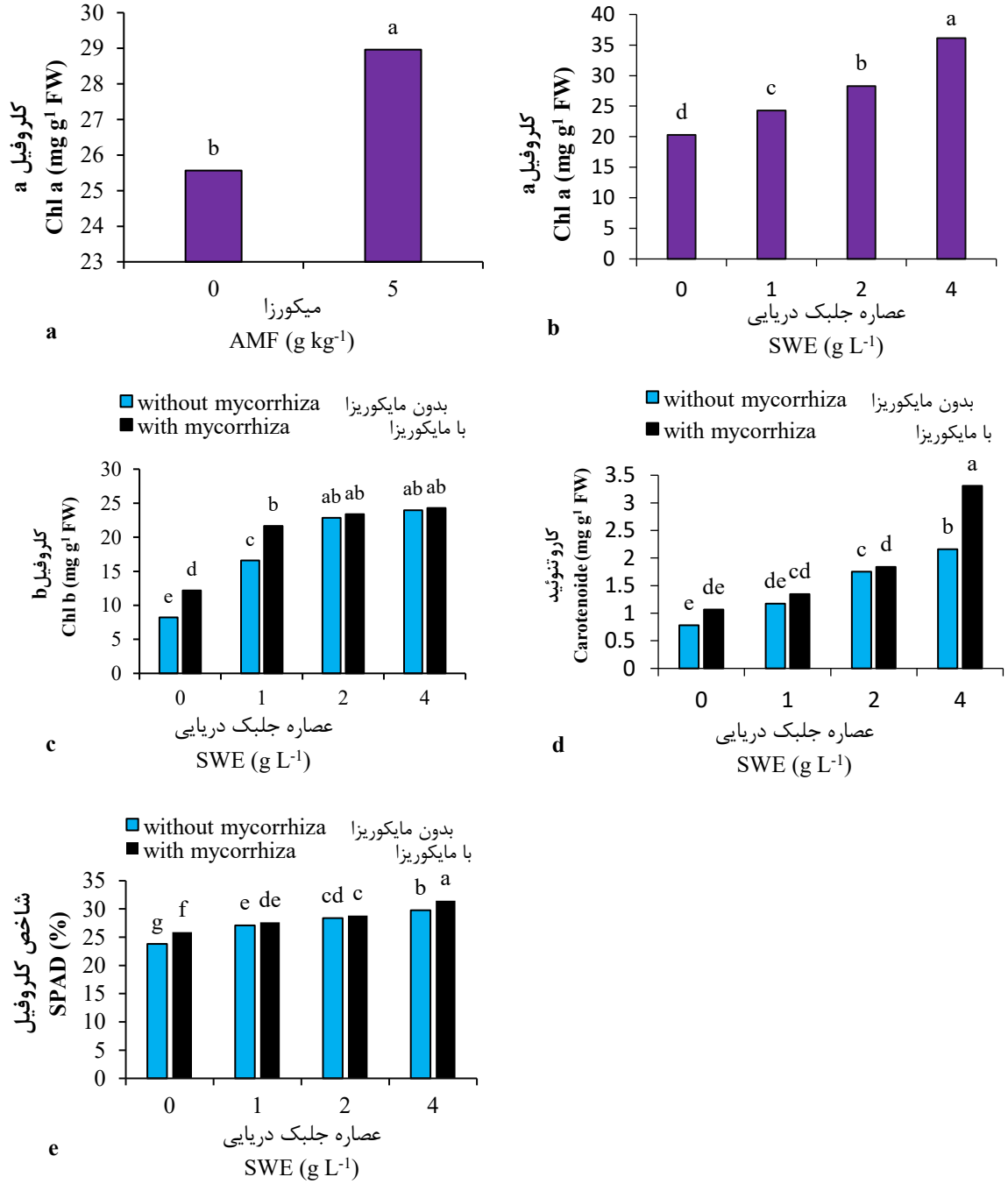
Masoumi Zavarian و همکاران (۲۰۱۵) در نتایج بررسی‌های خود گزارش دادند که کاربرد AMF سبب افزایش ارتفاع بوته و میزان ماده خشک گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) شد. براساس گزارش El-Miniawy و همکاران (۲۰۱۵) محلول‌پاشی SWE سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ و سطح برگ در مقایسه با گیاهان شاهد در محصول توت‌فرنگی شد. همچنین کاربرد AMF اثرات مثبت بر ارتفاع بوته گندم داشت، زیرا افزایش جذب آب و مواد مغذی باعث افزایش فتوسنتز شده و همین امر سبب بهبود رشد و افزایش ارتفاع گیاه در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده خواهد شد (Amrayi *et al.*, 2016).

رنگیزه‌های فتوسنتزی و سبزینگی

نتایج این تحقیق نشان داد که رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌طور قابل توجهی در اثر کاربرد AMF و SWE تقویت شدند. برهمکنش بین AMF و SWE به‌طور قابل توجهی محتوای کلروفیل b و کاروتنوئید را افزایش داد، اما در رابطه با کلروفیل a تنها اثرات اصلی تیمارها معنی‌دار گردید. در همین راستا بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها محلول‌پاشی SWE در غلظت ۴ گرم در لیتر باعث افزایش ۷۸ درصدی کلروفیل a نسبت به شاهد گردید (شکل ۳b) و کاربرد AMF افزایش ۱۳ درصدی آن را نسبت به شاهد به‌دنبال داشت (شکل ۳a). بیشترین میزان کلروفیل b در تیمارهای ۲ و ۴ گرم در لیتر SWE همراه با کاربرد AMF و بدون کاربرد AMF مشاهده شد و کمترین میزان در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۳c). همچنین بیشترین مقدار کاروتنوئید در سطح ۴ گرم در لیتر SWE همراه با کاربرد AMF مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۳۲۴ درصد افزایش نشان داد و کمترین میزان آن نیز در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۳d). شاخص سبزینگی (SPAD) محتوای نسبی رنگدانه‌های فتوسنتزی را نشان می‌دهد. در واقع عدد SPAD به هیچ عنوان تعیین‌کننده مقدار کلروفیل نمی‌باشد و بصورت تخمینی میزان غلظت کلروفیل را نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر بیشترین مقدار SPAD در محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر SWE و کاربرد AMF مشاهده گردید، که این تیمار میزان سبزینگی برگ را به میزان ۲۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۳e).

محتوای کلروفیل برگ یک شاخص ضروری برای اندازه‌گیری فتوسنتز و پتانسیل رشد گیاه است. پاسخ متداول به استفاده از محرک‌های زیستی گیاهی، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها است (Asadi *et al.*, 2022). مطالعات مختلف نشان داده است که استفاده از SWE بدست آمده از *A. nodosum* در گیاهان تیمارشده باعث افزایش میزان کلروفیل برگ می‌شود. این افزایش محتوای کلروفیل a و b در گیاهان را می‌توان به درصد بالای اسیدهای آمینه آزاد مانند آلانین، آسپارتات، آسپاراژین و گلوتامات در محرک‌های زیستی نسبت داد (Carillo *et al.*, 2019) افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در گیاهان رشد یافته تحت تیمار AMF می‌تواند به‌دلیل تحریک رشد ریشه و افزایش جذب مواد مغذی باشد (Asadi *et al.*, 2022). Khan و همکاران (۲۰۰۹) گزارش داده‌اند که محلول‌پاشی SWE با القای بیوسنتز کلروفیل، سطح کلروفیل برگ را در گیاهان افزایش می‌دهد (Khan et al., 2009). براساس مطالعات صورت پذیرفته درمورد کاربرد SWE روی گیاهان خیار و گوجه‌فرنگی، SWE می‌تواند بطور قابل توجهی محتوای کلروفیل را افزایش دهد که از دلایل آن می‌توان به جذب منیزیم موجود در عصاره اشاره کرد که از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده کلروفیل برگ می‌باشد (Whapham *et al.*, 1993). همچنین AMF به گیاه در جذب منیزیم کمک می‌کند و می‌تواند سنتز کلروفیل را افزایش دهد (Giri & Mukerji, 2004)، این نتایج با یافته‌های Naseri و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر افزایش کلروفیل گندم با

کاربرد AMF +۵۰ درصد کود شیمیایی فسفره مطابقت داشته است. Sohrabi و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش کردند تلقیح AMF سبب اختلاف معنی‌دار شاخص کلروفیل گیاهان تیمارشده نسبت به شاهد گردید. افزایش میزان کلروفیل جو (*Hordeum vulgare*) و کاسنی پاکوتاه (*Cichorium intybus* L.) نیز در نتیجه تلقیح با AMF گزارش شده است (Rezaienia *et al.*, 2018).



شکل۳- تأثیر کاربرد میکوریزا و عصاره جلبک دریایی بر میزان کلروفیل a (a و b)، کلروفیل b (c)، کارتنوئید (d) و شاخص کلروفیل (e) نشاء بادنجان. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Figure 3- The influence of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) and seaweed extract (SWE) application on chlorophyll a (a & b), chlorophyll b (c), carotenoid (d), and SPAD (e) of eggplant transplant. Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05).

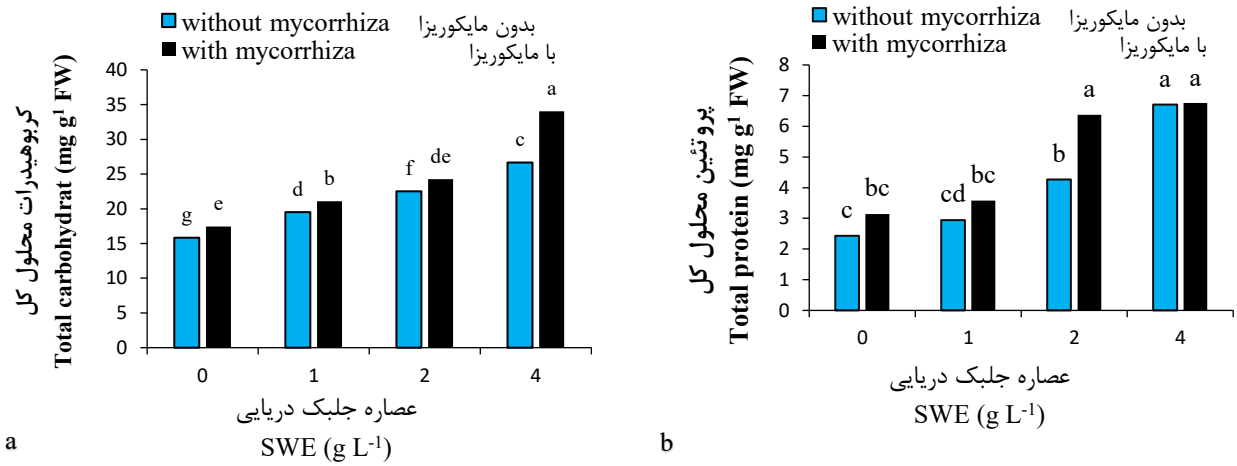
کربوهیدرات و پروتئین محلول کل

مطابق نتایج بدست آمده، محتوای کربوهیدرات محلول کل و پروتئین محلول کل نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل SWE و AMF قرار گرفت و کاربرد این تیمارها، افزایش میزان این دو شاخص را در پی داشت. به‌طوری‌که بیشترین میزان کربوهیدرات در محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر SWE و همزمان با کاربرد AMF (۳۴/۰۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کمترین مقدار آن نیز در سطح شاهد (۱۵/۸۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده گردید (شکل ۴a). پروتئین محلول کل با بکارگیری SWE در سطح ۴ گرم در لیتر با کاربرد AMF (۶/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داد اما تفاوت معنی‌داری بین این تیمار با تیمارهای SWE با غلظت ۴ گرم در لیتر به تنهایی و ۲ گرم در لیتر همراه با AMF مشاهده نشد و کمترین میزان نیز مربوط به تیمار شاهد (۲/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود (شکل ۴b). در پژوهشی روی کاهو گزارش شده است که کاربرد ترکیبی SWE و AMF محتوای کربوهیدارت و پروتئین گیاهان تیمارشده را افزایش داد (Sosnowski *et al.*, 2015; Rasouli *et al.*, 2022). به‌دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای و جذب فسفر، همزیستی میکوریزا منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه، ویتامین‌ها، مواد معدنی و افزایش فتوسنتز می‌شود و در نتیجه محتوای کربوهیدرات برگ‌ها را افزایش می دهد (Bao *et al.*, 2019). همسو با نتایج مطالعه حاضر، افزایش محتوای کربوهیدرات محلول کل در پی استفاده از AMF در گوجه‌فرنگی نیز گزارش شده است (González *et al.*, 2020). علاوه بر این، افزایش محتوای کربوهیدرات کل با استفاده از SWE را می‌توان به افزایش شاخص کلروفیل نسبت داد. استفاده از محرک‌های زیستی افزایش در میزان کربوهیدرات‌های محلول در گیاه ماش (*Vigna radiate*) را در مقایسه با عدم استفاده از تیمار نشان داد (Paul & Yuvaraj, 2014). افزایش مقدار پروتئین محلول کل در گیاهان تیمارشده با AMF می‌تواند به جذب بیشتر نیتروژن در رفتار همزیستی گیاهان و قارچ‌ها نسبت داده شود. نیتروژن در مواد آلی معمولاً در ساختار پپتیدها، پروتئین‌ها و آمینو اسیدهای آزاد حضور دارد. AMF، پپتیداز و پروتئاز را برای جذب مونومرهای حاوی نیتروژن در خاک ترشح می‌کند، بنابراین محتوای پروتئین برگ را بهبود می بخشد (Chrysargyris *et al.*, 2018). همچنین افزایش در محتوای پروتئین به‌دنبال استفاده از SWE می‌تواند نتیجه توانایی گیاه در جذب مقدار بیشتری از عناصر غذایی باشد (Calvo *et al.*, 2014).

عناصر

بررسی کاربرد SWE همراه با تلقیح AMF بر محتوای عناصر برگ نشان‌دهنده اثرات معنی‌دار این تیمارها بر محتوای عناصر بود (جدول ۳). در رابطه با محتوای آهن (Fe) و روی (Zn) برگ بیشترین و کمترین مقدار برای هر دو عنصر به‌ترتیب در تیمار ۴ گرم در لیتر SWE با کاربرد همزمان AMF و تیمار شاهد بدست آمد. در همین راستا تیمار ۴ گرم در لیتر SWE با کاربرد همزمان AMF باعث افزایش ۲۰۸ درصدی محتوای آهن و ۹۳ درصدی محتوای روی برگ نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین با توجه به غیرمعنی‌دار شدن اثرات متقابل تیمارهای اعمال شده بر محتوای عناصر منگنز و مس برگ، مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بیانگر آن بود که بیشترین میزان غلظت مس در تیمار ۴ گرم در لیتر SWE و کمترین آن نیز در گیاهان شاهد مشاهده گردید (شکل ۵a). همچنین کاربرد AMF باعث افزایش ۲۸ درصدی غلظت مس برگ نشاء بادنجان شد (شکل ۵b). بیشترین میزان غلظت منگنز مربوط به تیمار ۴ گرم در لیتر SWE و کمترین آن نیز مربوط به گیاهان شاهد بود (شکل ۵c). همچنین، در تیمار AMF مشاهده گردید که کاربرد آن باعث افزایش ۲۲ درصدی غلظت منگنز برگ نشاء بادنجان شد (شکل ۵d). بررسی میزان محتوای عناصر ماکرو و میکرو در اندام هوایی نشاء بادنجان نشان داد که این صفات به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر استفاده ازAMF و SWE قرار گرفته‌اند. گیاهان تلقیح شده با AMF عناصر غذایی بیشتری

جذب کردند. این افزایش ممکن است ناشی از ترشح انواع مختلف سیدروفورها و کلات‌ها، تحریک و تولید اسید توسط میکروارگانیسم‌های خاکزی، آزادسازی کاتیون‌ها از ذرات خاک و بهبود پتانسیل جذب ریشه باشد. به‌طور کلی AMF یک شبکه میسیلیومی توسعه یافته ایجاد می‌کند که توانایی گیاهان را در جذب آب و مواد مغذی بهبود می‌بخشد (Wu *et al.*, 2016). اثر مثبت و مفید محرک‌های زیستی مانند AMF و SWE، در افزایش محتوای مواد مغذی در بافت‌های گیاهی، رابطه مستقیمی را با جذب مواد مغذی توسط میکروارگانیسم‌های زنده نشان می‌دهد (González *et al.*, 2020). گزارش شده است که فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک نظیر AMF و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات در جهت فراهم‌سازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل کرده و موجب افزایش غلظت این عناصر و بهبود عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Boomsma & Vyn, 2008; Varma *et al.*, 2018).



شکل۴- تأثیر کاربرد میکوریزا و عصاره جلبک دریایی بر محتوای کربوهیدرات کل (a) و پروتئین کل (b) نشاء بادنجان.

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Figure 4- The influence of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) and seaweed extract (SWE) application on total carbohydrate (a) and total protein (b) content of eggplant transplant. Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش نشان داده شد که استفاده مجزای عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریزا و همچنین استفاده توام این این دو سبب بهبود صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع گیاه، طول برگ، تعداد برگ، قطر ساقه، عرض برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک ریشه و نیز بهبود صفات فیزیولوژیکی مانند پروتئین، کلروفیل a و b و کل، کربوهیدرات، کاروتنوئید و SPAD می‌گردد. براساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود از عصاره جلبک دریایی به مقدار ۴ گرم بر لیتر و همراه با میکوریزا استفاده گردد. لازم به ذکر است در پژوهش‌های آینده می‌توان از غلظت‌های بیشتر عصاره جلبک دریایی هم جهت بدست آوردن احتمالی بهترین غلظت استفاده نمود و اینکه این ترکیب‌های تیماری در شرایط هیدروپونیک هم می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

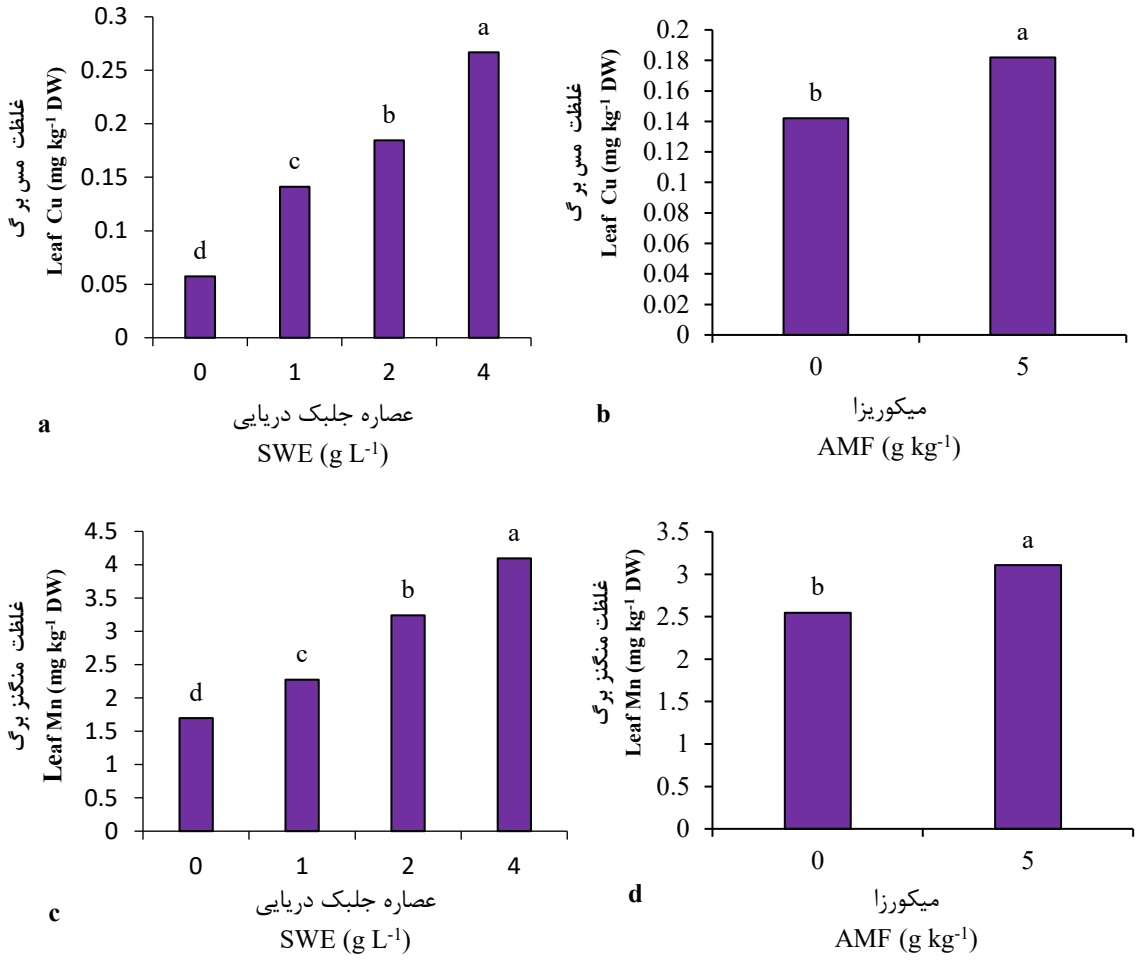
جدول۳- مقایسه میانگین کاربرد جلبک دریایی و میکوریزا بر میزان آهن و روی برگ نشاء بادنجان

Table 3- Mean comparison of seaweed extract and arbuscular mycorrhiza fungi application on Fe and Zn content of eggplant transplant leaf

میکوریزا AMF (g kg^{-1})	عصاره جلبک دریایی SWE (g L^{-1})	آهن Fe (mg g^{-1} DW)	روی Zn (mg g^{-1} DW)
0	0	23.55^{f}	11.49^{f}
	1	35.37^{e}	15.39^{d}
	2	40.38^{cd}	16.68^{c}
	4	55.07^{b}	18.34^{b}
5	0	33.42^{e}	14.07^{e}
	1	37.57^{de}	16.13^{cd}
	2	43.74^{c}	17.16^{bc}
	4	72.61^{a}	22.22^{a}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Different letters in each column indicate significant differences between treatments based on the LSD test (P≤0.05). AMF and SWE refer to arbuscular mycorrhiza fungi and seaweed extract, respectively.



شکل۵- اثر ساده کاربرد میکوریزا و عصاره جلبک دریایی بر محتوای مس (a و b) و منگنز (c و d) برگ نشاء بادنجان. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس روش LSD می‌باشد (P ≤۰/۰۵).

Figure 5- The influence of arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) and seaweed extract (SWE) application on Cu (a & b) and Mn (c & d) content of eggplant transplant leaf. Different letters in each column indicate significant difference between treatments based on LSD test (P≤0.05).

References

Aggarwal, A., Rajpal, V. R., Jangra, E., Yadav, K. & Tanwar, A. (2023). Benefits and potential of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in vegetable crop production. In *Fungal Resources for Sustainable Economy: Current Status and Future Perspectives* (pp. 275-297). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9103-5_10

Ahmed, Y. M. & Shalaby, E. A. (2012). Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants,* 4(3), 235-240. https://doi.org/0.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.252

Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J. & Hodges, D. M. (2013). Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(1), 23-36. https://doi.org/10.4141/cjps2011-260

Amrayi, B., Ardakani, M. R., Rafiei, M., Paknejad, F. & Rajali, F. (2016). Investigation of the effect of mycorrhiza and *Azotobacter biofertilizers* on grain yield of different dryland wheat cultivars in Khorramabad region. *Journal of Agronomy and Plant Breeding,* 12, 15-30. (In Persian)

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Asadi, M., Rasouli, F., Amini, T., Hassanpouraghdam, M. B., Souri, S., Skrovankova, S., Asadi, Mohammad, Farzad Rasouli, Trifa Amini, Mohammad Bagher Hassanpouraghdam, Somaye Souri, Sona Skrovankova, Jiri M. & Ercisli, S. (2022). Improvement of photosynthetic pigment characteristics, mineral content, and antioxidant activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) by arbuscular mycorrhizal fungus and seaweed extract foliar application. *Agronomy*, 12(8), 1943. https://doi.org/10.3390/agronomy12081943

Aseel, D. G., Rashad, Y. M. & Hammad, S. M. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi trigger transcriptional expression of flavonoid and chlorogenic acid biosynthetic pathways genes in tomato against Tomato Mosaic Virus. *Scientific reports*, 9(1), 9692. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46281-x

Ayaz, F. A., Colak, N., Topuz, M., Tarkowski, P., Jaworek, P., Seiler, G. & Inceer, H. (2015). Comparison of nutrient content in fruit of commercial cultivars of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65(4), 251-259. https://doi.org/10.1515/pjfns-2015-0035

Balestrini, R., Brunetti, C., Chitarra, W. & Nerva, L. (2020). Photosynthetic traits and nitrogen uptake in crops: which is the role of arbuscular mycorrhizal fungi?. *Plants*, 9(9), 1105. https://doi.org/10.3390/plants9091105

Balliu, A., MarŠić, N. K. & Gruda, N. (2017). Seedling production. *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Production in the South East European Countries—Principles for Sustainable Intensification of Smallholder Farms*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 89-206.

Bao, X., Wang, Y. & Olsson, P. A. (2019). Arbuscular mycorrhiza under water-Carbon-phosphorus exchange between rice and arbuscular mycorrhizal fungi

under different flooding regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, 129, 169-177. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.020

Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P. & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012

Baum, C., El-Tohamy, W. & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia horticulturae*, 187, 131-141. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002

Boomsma, C. R. & Vyn, T. J. (2008). Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis?. *Field Crops Research*, 108(1), 14-31. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.002

Borowitzka, M. A. & Moheimani, N. R. (2013). *Algae for biofuels and energy* (Vol. 5). Springer.

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(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil*, 383(1), 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Carillo, P., Colla, G., Fusco, G. M., Dell'Aversana, E., El-Nakhel, C., Giordano, M., Pannico, A., Cozzolino, E., Mori, M., Reynaud, H. & Rouphael, Y. (2019). Morphological and physiological responses induced by protein hydrolysate-based biostimulant and nitrogen rates in greenhouse spinach. *Agronomy*, 9(8), 450. https://doi.org/10.3390/agronomy9080450

Chrysargyris, A., Xylia, P., Anastasiou, M., Pantelides, I. & Tzortzakis, N. (2018). Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5861-5872. https://doi.org/10.1002/jsfa.9139

Douds, D. D., Carr, E. R. I. E., Shenk, J. E. & Ganser, S. (2017). Positive yield response of eggplant (*Solanum melongena* L.) to inoculation with AM fungi produced on-farm. *Scientia Horticulturae*, 224, 48-52. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.017

Douds, D. D., Nagahashi, G., Reider, C. & Hepperly, P. R. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biological agriculture & horticulture*, 25(1), 67-78. https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209

El-Miniawy, S. M., Ragab, M. E., Youssef, S. M., & Metwally, A. A. (2014). Influence of foliar spraying of seaweed extract on growth, yield and quality of strawberry plants. *Journal of Applied Sciences Research.* 10, 88-94.

Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, Ş., Oğuz, F. & Akköprü, A. (2011). Effects of *Rhizobium*, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1—Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. *Field Crops Research*, 122(1), 14-24.

https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.002

FAO. Crops and Livestock Products. 2021. Available online: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize.

Fracasso, A., Telò, L., Lanfranco, L., Bonfante, P. & Amaducci, S. (2020). Physiological beneficial effect of *Rhizophagus intraradices* inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. *Agronomy*, 10(1), 71. https://doi.org/10.3390/agronomy10010071

Ghonjalipour Goshki, M., Abdollahi, F. & Sadeghi Lari, A. (2021). Effect of mycorrhiza fertilizer on physiological traits and economical yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water stress conditions. *Journal of Vegetables Sciences*, 5(1), 157-173. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.531386.1164

Giri, B. & Mukerji, K. G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, 14, 307-312. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0274-1

González, M. F., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Sánchez-Hernández, C. V., Casarrubias-Castillo, K., Becerril-Espinosa, A., Castañeda-Nava, J. J. & Hernández-Herrera, R. M. (2020). Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal fungi and seaweed extract. *Frontiers in plant science*, 11, 999. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00999

Gupta, M. M. & Abbott, L. K. (2021). Exploring economic assessment of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Symbiosis*, 83, 143-152. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00738-0

Gutierrez-Mañero, F. J., Ramos-Solano, B., Probanza, A. N., Mehouachi, J., R. Tadeo, F., & Talon, M. (2001). The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*, 111(2), 206-211. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x

Hussain, H. I., Kasinadhuni, N. & Arioli, T. (2021). The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *Journal of Applied Phycology*, 33(2), 1305-1314. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02387-2

Javanmardi, J. (2009). *Scientific and applied basis for vegetable.* University Jihad of Mashhad. 256. (In Persian)

Jiang, Q. Y., Zhuo, F., Long, S. H., Zhao, H. D., Yang, D. J., Ye, Z. H., Li, S.S.& Jing, Y. X. (2016). Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils?. *Scientific reports,* 6(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/srep21805

Kameli, A. M., Kiani, G. & Kazemitabar, S. K. (2020). The evaluation of phenotypic diversity in eggplant (*Solanum melongena* L.) genotypes. *Journal of Vegetables Sciences*, 3(2), 31-41. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.114655.1071

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 as biostimulants of

plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399. https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x

Khazaei, H., Pesce, M., Patruno, A., Aneva, I. Y. & Farzaei, M. H. (2021). Medicinal plants for diabetes associated neurodegenerative diseases: A systematic review of preclinical studies. *Phytotherapy Research*, 35(4), 1697-1718. https://doi.org/10.1002/ptr.6903

Masoumi, Z., A. & M Yousefi, R. (2015). Effects of mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative characteristics of anise plant (*Pimpinella anisum*) under salt stress. *Journal of Medicinal Plants*, 14 (56), 139-148. (In Persian)

Mitra, D., BE, G. S., Khoshru, B., De Los Santos Villalobos, S., Belz, C., Chaudhary, P., Shahri, F. N., Djebaili, R., Adeyemi, N. O., El-Ballat, E. M. & Mohapatra, P. K. D. (2021). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on rice growth, development, and stress management with a particular emphasis on strigolactone effects on root development. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(14), 1591-1621. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1892728

Naseri, R., Barary, M., Zarea, M. J., Khavazi, K. & Tahmasebi, Z. (2017). Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Soil Biology*, 5(1), 49-66. (In Persian). https://doi.org/10.22092/sbj.2017.113121

Omotoso, S. O. & Shittu, O. S. (2007). Effect of NPK fertilizer rates and method of application on growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Moench) at Ado-Ekiti Southwestern, Nigeria. *International Journal of Agricultural Research*, 2(7), 614-619.

Ortas, I. (2012). Do maize and pepper plants depend on mycorrhizae in terms of phosphorus and zinc uptake?. *Journal of Plant Nutrition*, 35(11), 1639-1656. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.698346

Paul, J. & Yuvaraj, P. (2014). Effect of seaweed liquid fertilizer of *Colpomenia sinuosa* (Mert. ex Roth) Derbes & Solier (brown seaweed) on *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. Koothankuzhi, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India. *International journal of pure and applied bioscience*, 2(3), 177-184.

Plaza, B. M., Gómez-Serrano, C., Acién-Fernández, F. G. & Jimenez-Becker, S. (2018). Effect of microalgae hydrolysate foliar application (*Arthrospira platensis* and *Scenedesmus sp*.) on *Petunia* × *hybrida* growth. *Journal of Applied Phycology*, 30(4), 2359-2365. https://doi.org/10.1007/s10811-018-1427-0

Rasouli, F., Amini, T., Asadi, M., Hassanpouraghdam, M. B., Aazami, M. A., Ercisli, S., Skrovankova, S. & Mlcek, J. (2022). Growth and antioxidant responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to arbuscular mycorrhiza inoculation and seaweed extract foliar application. *Agronomy*, 12(2), 401. https://doi.org/10.3390/agronomy12020401

Rezaienia, N., Ramroudi, M., Galavi, M. & Fofouzandeh, M. (2017). Effects of bio-fertilizers on physiological traits and absorption of some nutrients of chicory (*Cichorium intybus L.*) in response to drought stress. *Journal of Field Crops Research,* 15(4), 925-938. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i4.59774

Schlegel, H. G. (1956). Die verwertung organischer säuren durch Chlorella im

licht. *Planta*, 47(5), 510-526. https://doi.org/10.1007/BF01935418

Shaaban, M. M., El-Saady, A. K. M. & El-Sayed, A. E. B. (2010). Green microalgae water extract and micronutrients foliar application as promoters to nutrient balance and growth of wheat plants. *Journal of American Science*, *6(9),* 631-636.

Shaik, A. & Singh, S. (2022). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on physiology and yield of eggplant in organic soilless production system. *HortScience*, 57(7), 759-768. https://doi.org/10.21273/HORTSCI16612-22

Shalaby, T. A. & El-Ramady, H. (2014). Effect of foliar application of bio-stimulants on growth, yield, components, and storability of garlic (*Allium sativum* L.). *Australian Journal of Crop Science,* 8(2), 271-275. https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.198860885873376

Silva, G. F. P., Pereira, E., Melgar, B., Stojković, D., Sokovic, M., Calhelha, R. C., Pereira, C., Abreu, R. M., Ferreira, I. C. & Barros, L. (2020). Eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) and bio-residues as a source of nutrients, bioactive compounds, and food colorants, using innovative food technologies. *Applied Sciences*, *11*(1), 151. https://doi.org/10.3390/app11010151

Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., Golezani, K. G. & Mohammadi, K. (2012). Changes of antioxidative enzymes, lipid peroxidation and chlorophyll content in chickpea types colonized by different *Glomus* species under drought stress. *Symbiosis*, 56(1), 5-18. https://doi.org/10.1007/s13199-012-0152-8

Sosnowski, J., Jankowski, K., Wiśniewska-Kadżajan, B., Malinowska, E., Kolczarek, R., Czeluściński, W. & Radzka, E. (2015). Shaping of chemical composition and digestibility of *Medicago×varia T. Martyn* under the influence of *Ecklonia maxima* seaweed extract. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(3a), 881-887.

Sundara, B., Natarajan, V. & Hari, K. (2001). Influence of phosphorus solubilising bacteria on soil available P status and sugarcane development on a tropical vertisol. *International Society of Sugar Cane Technologists,* 2, 47-51.

Vojodi Mehrabani, L., Kheirollahi, N., & Haghverdi, H. A. (2023). The Influence of Soil Application of Organic Fertilizers and Foliar Application of Growth Stimulants on the Growth and Physiological Indices of *Lepidium sativum* L. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(2), 122-135. (In Persian). https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.556494.1214

Varma, A., Prasad, R. & Tuteja, N. (Eds.). (2018). *Mycorrhiza-nutrient uptake, biocontrol, ecorestoration.* Springer.

Weisany, W., Raei, Y. & Pertot, I. (2015). Changes in the essential oil yield and composition of dill (*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. *Industrial Crops and Products*, 77, 295-306. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.003

Whapham, C. A., Blunden, G., Jenkins, T. & Hankins, S. D. (1993). Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*, 5, 231-234. https://doi.org/10.1007/BF00004023

Wu, X., Ruan, R., Du, Z., & Liu, Y. (2012). Current status and prospects of biodiesel production from

microalgae. *Energies*, 5(8), 2667-2682. https://doi.org/10.3390/en5082667

Yan, Z., Ma, T., Guo, S., Liu, R. & Li, M. (2021). Leaf anatomy, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of lettuce as influenced by arbuscular mycorrhizal fungi under high temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 280, 109933. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109933