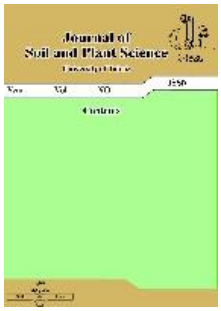
J Soil Plant Sci, 2025, 35(1): 1–13.
DOI: 10.22034/sps.2025.66187.1002

Journal of Soil and Plant Science

Online ISSN: 3092-6106
https://sps.tabrizu.ac.ir



Research Article

Improving Uptake of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium and Growth of Opuntia Cactus by Integrated Application of Humic Acid, Mycorrhiza, and Seaweed Extract

Mitra Shafie[1], Akbar Hassani [2*], Setareh Amanifar[3], Mehdi Nourzadeh Hadad[4]

1-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: m11.shafiei96@gmail.com

2-Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: akbar.hassani@znu.ac.ir

3-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: amanifar@znu.ac.ir

4-Nuclear Agriculture Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran, Karaj, Iran. E-mail: m.nourzade@gmail.com

Received: December 21, 2024 **Revised:** March 15, 2025
Accepted: April 15, 2025 **Published:** March 21, 2025

Extended Abstract

Background and Objectives

In the warm and dry regions of Iran, where water resources are scarce, cultivating drought-resistant species with high nutritional value, economic and environmental benefits is very important. This issue will be more essential in the next years because of the effects of global warming and water deficit all around the world, especially in arid and semi-arid areas. The cactus plant can resist in hot and arid regions. There are many species of cactus and one of them is Opuntia. The cultivation of Opuntia cactus (*Opuntia* spp.) in the arid and low-water regions of Iran for fruit production and forage application is increasing. However, there is not enough information about the effectiveness of growth stimulants on the growth and quality of Opuntia cactus while that is necessary to know all aspects of these plants for having an efficient growth in the large scale. Because of that, the aim of this study was to investigate the effects of humic acid, seaweed extract, and mycorrhizae on cactus growth and some quality properties of its cladodes.

Materials and Methods

A pot experiment was conducted in the research greenhouse of University of Zanjan using a completely randomized design with 8 treatments and 3 replications. In this experiment, the treatments were as follows: T1-Control, T2-Mycorrhiza (My), T3-Humic acid (HA), T4-Seaweed extract (SW), T5-Mycorrhiza + seaweed extract, T6-Mycorrhiza + humic acid, T7-Humic acid + seaweed extract, T8-Mycorrhiza + seaweed extract + humic acid. After 220 days growth period of the plants, cactus cladodes were sampled, and their growth characteristics were measured. All measurements were carried out in the Laboratory of Soil and Water, University of Zanjan, Zanjan, Iran. The software of SPSS was used for statistical analysis of the data.

Results

The highest fresh and dry weights of the shoot, with averages of 77.87 and 12.54 g, respectively, were observed in the treatment of simultaneous application of humic acid and seaweed extract (T7), which had significant differences with other treatments. Also, the average of fresh root weight was increased from 1.21 g in the control (T1) to 3.48 g by simultaneously using the mycorrhiza and humic acid (T6). The treatment with

seaweed extract produced the newest cladodes, while the least new cladodes belonged to the mycorrhiza + humic acid treatment (T6). The seaweed extract-containing treatments (T4) had shown the best results related to the number of cladodes and the leaf surface. In this way, the average number of cladodes was increased to 4.6. The average leaf surface in the control treatment (T1) was 200.0 and was increased to 462.2 cm^2 by application of the seaweed extract (T4) and this treatment had the most effect on the leaf surface. On the other hand, there were no significant relationships between various treatments and height of cactus and thickness of cladodes. The average of N, K, and P concentrations in the cactuses were strongly increased by simultaneously using mentioned three studied stimuli. The concentrations of N, K, and P in the control (T1) were 0.50, 0.90, and 0.09 percent, respectively, while their concentrations were increased to 1.90, 3.20, and 0.39 percent, respectively, in the integrated treatment of mycorrhiza + seaweed extract + humic acid (T8).

Conclusion

The results of this study indicated that the integrated application of seaweed extract, humic acid, and mycorrhiza had significant effects on the growth and biomass of the cactus compared to other growth stimulants, and this treatment was recommended to be included in cactus nutrition programs. On the other hand, the amount of nutrition and the quality of produced cactus were promoted without using chemical fertilizers. It could be interested for cactus market, especially when this plant is used as food and primary material in medicine and cosmetic materials. Also, it is important that to test the efficiency of these materials in various conditions, especially at the field which many factors may affect the efficiency.

Keywords: Cactus cladode, Fungi inoculation, Growth stimulant, Humic substances, Integrated plant nutrition management.

Author Contributions

Conceptualization, M.S. and A.H.; methodology, M.S. and S.A.; software, M.N.H; validation, M.N.H.; formal analysis, M.S. and S.A.; investigation, M.S., S.A., M.N.H., and A.H.; resources, M.N.H. and A.H.; data curation, M.S. and S.A.; writing—original draft preparation, M.N.H. and A.H.; writing–review and editing, M.N.H. and A.H.; visualization, M.N.H.; supervision, A.H.; project administration, A.H.; funding acquisition, A.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

This paper is published as a part of a Master's thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Zanjan, Zanjan, Iran. The authors are thankful to the University of Zanjan for financial supports.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

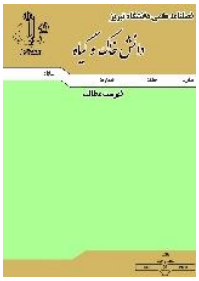
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: Shafie, M., Hassani, A., Amanifar, S., & Nourzadeh Hadad, M. (2025). Improving uptake of nitrogen, phosphorus, and potassium and growth of opuntia cactus by integrated application of humic acid, mycorrhiza, and seaweed extract. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), 1–13.
https://doi.org/10.22034/sps.2025.66187.1002

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS JOURNALS



نشریه دانش خاک و گیاه، جلد ۳۵، شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۱۳، بهار ۱۴۰۴

DOI: 10.22034/sps.2025.66187.1002

Online ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

بهبود جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و رشد گیاه کاکتوس اپونتیا با مصرف تلفیقی هیومیک اسید، مایکوریزا و عصاره جلبک دریایی

میترا شفیعی [۱]، اکبر حسنی [۲]✉، ستاره امانی فر [۳]، مهدی نورزاده حداد [۴]

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: m11.shafiei96@gmail.com

۲-نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: akbar.hassani@znu.ac.ir

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: amanifar@znu.ac.ir

۴-پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، کرج، ایران.

رایانامه: m.nourzade@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱	تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶	تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶

چکیده

برای تولید کاکتوس اپونتیا (*Opuntia spp.*) در مناطق بیابانی و کم‌آب، استفاده از ترکیبات کودی یا محرک رشد برای بهبود کمیت و کیفیت کاکتوس ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ مایکوریزا بر رشد، کمیت و کیفیت کاکتوس اپونتیا بود. برای دستیابی به این هدف، آزمایشی گلدانی با ۸ تیمار شامل ۱- شاهد، ۲- مایکوریزا، ۳- هیومیک اسید، ۴- عصاره جلبک دریایی، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی، ۶- مایکوریزا + هیومیک اسید، ۷- هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی، ۸- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید و با سه تکرار در بستر کشت مخلوط ماسه و پرلیت انجام شد. وزن بخش هوایی و ریشه گیاه در دو حالت تر و خشک، ارتفاع گیاه، تعداد و ضخامت کلادود، سطح برگ و غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاه تعیین شدند. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه به‌ترتیب با میانگین ۷۷/۹ و ۱۲/۵ گرم در گلدان در تیمار کاربرد همزمان هیومیک اسید و عصاره جبک دریایی مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معناداری ($p\leq0.01$) داشتند. استفاده همزمان قارچ مایکوریزا و هیومیک اسید باعث افزایش معنادار وزن تر ریشه گیاه (۱۸۸ درصد) نسبت به شاهد شد؛ به‌طوری‌که میانگین وزن تر ریشه گیاه از ۱/۲۱ گرم در گلدان در تیمار شاهد به ۳/۴۸ گرم در گلدان در این تیمار افزایش یافت. مصرف همزمان هیومیک اسید، قارچ مایکوریزا و عصاره جلبک دریایی، بیشترین افزایش غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر گیاه را به همراه داشت، به‌طوری‌که غلظت نیتروژن از ۰/۵ درصد در تیمار شاهد به ۱/۹ درصد در تیمار تلفیقی مذکور افزایش یافت. به طور کلی، مصرف همزمان هیومیک اسید، قارچ مایکوریزا و عصاره جلبک دریایی سبب بهبود کمیت و کیفیت گیاه کاکتوس شد.

واژه‌های کلیدی: کلادود کاکتوس، مایه‌زنی قارچ، محرک رشد، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه، مواد هیومیک

استناد به این مقاله: شفیعی، م.، حسنی، ا.، امانی‌فر، س. و نورزاده حداد، م. (۱۴۰۴). بهبود جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و رشد گیاه کاکتوس اپونتیا با مصرف تلفیقی هیومیک اسید، مایکوریزا و عصاره جلبک دریایی. *نشریه دانش خاک و گیاه*، ۳۵(۱)، ۱۳-۱.

https://doi.org/10.22034/sps.2025.66187.1002

مقدمه

تغییرات آب و هوایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث کاهش امنیت غذایی و حاصلخیزی خاک شده و تأثیر قابل‌توجهی بر بخش کشاورزی دارد. با توجه به اینکه بخش بزرگی از ایران در آب و هوای خشک قرار دارد، نیازهای امنیت غذایی کشور در بحبوحه تغییرات اقلیمی با چالش‌های جدی مواجه است (Shayanmehr et al., 2024). استفاده از تکنیک‌های نوین و یا کاشت گیاهان مقاوم به کم آبی می‌تواند از راهکارهای سازگاری با این شرایط قلمداد شود (Nourzadeh Hadad et al., 2017). کاشت گیاهان زراعی مقاوم به خشکی به نحوی که در خاک‌های با کیفیت پایین، محصول مناسبی تولید کنند، اهمیت زیادی دارد. کاکتوس یکی از گزینه‌های مطلوب برای کاشت در مناطق خشک است. کاکتوس یک محصول نوظهور در عرصه غذایی در ایران و یک گیاه خشکی‌پسند[1] است که افزون بر این که ظرفیت بالایی برای تحمل شرایط خشکی شدید دارد، می‌تواند در خاک‌های با کیفیت پایین نیز رشد کند اما کاملاً از اثرات منفی آن مصون نیست؛ به‌طوری که مطالعات پیش از این نشان داده‌اند که شرایط نامساعد محیطی می‌تواند تأثیر منفی قابل‌توجهی بر رشد، ترکیب زیست‌توده و فیزیولوژی آن‌ها داشته باشد (Campos et al., 2021).

استفاده از کودها و مواد محرک رشد می‌تواند راه حلی برای کشاورزی پایدار و به حداقل رساندن اثرات بر عملکرد و تغییرات ترکیب زیست‌توده کاکتوس باشد. با این حال، استفاده مداوم از کودهای شیمیایی سبب ایجاد اثرات مخربی بر زیست‌بوم کشاورزی، از جمله تخریب خاک شده و باعث هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بالایی می‌شود (Lesk et al., 2016). کودهای زیستی و محرک‌های رشد گیاه که به نیازهای کشاورزی پاسخ می‌دهند، می‌توانند در کشاورزی ارگانیک استفاده شوند و در عین حال بازده بیشتری داشته باشند و اثرات تغییرات آب و هوایی را کاهش دهند و فرایندهای تغذیه گیاه را تحریک کنند (Zhang et al., 2003; Etemadian et al., 2017; Hussain et al., 2021; Toamehzadeh et al., 2021). این ترکیبات شامل مواد هیومیکی[2]، عصاره جلبک دریایی و ترکیبات حاوی هورمون، ترکیبات حاوی اسیدهای آمینه آزاد و زنجیره‌های پلی‌پپتیدی، مایه تلقیح میکروبی و عناصر مفید است (Du Jardin et al., 2012).

هیومیک اسید یک ماده آلی تیره رنگ بهبود دهنده خاک خاصیت آنتی‌اکسیدانی است. همچنین، عصاره جلبک دریایی حاوی عناصر مغذی برای گیاهان است. مایکوریزا به کمک فرآیند همزیستی با ریشه گیاهان در جذب عناصر غذایی بویژه فسفر بسیار موثر است. Jindo et al. (2012) بیان داشتند که مواد هیومیک با تأمین کربن آلی، تنفس و فعالیت آنزیم اینورتاز را افزایش می‌دهند. همچنین، نتایج یک پژوهش به‌صورت متاآنالیز در مورد اثر مواد هیومیک بر گیاهان نشان داد که کاربرد مواد هیومیک سبب افزایش وزن خشک بخش هوایی به میزان ۴ ± ۲۲ درصد و وزن خشک ریشه به میزان ۶ ± ۲۱ درصد می‌شود (Rose et al., 2014). در پژوهشی دیگر گزارش شد که کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای افزون بر رشد کاکتوس، سبب افزایش و گسترش جامعه میکروبی خاک نیز می‌شود (Prisa and Gobbino, 2021). Lahbouki et al. (2023) نشان دادند که استفاده از مواد هیومیک به تنهایی یا در ترکیب با قارچ مایکوریزا آربسکولار می‌تواند یک رویکرد مؤثر و پایدار برای افزایش تحمل گیاهان کاکتوس به شرایط خشکی و در عین حال بهبود کیفیت خاک باشد. علاوه‌بر این، نتایج تحقیقات اخیر نشان داد که استفاده از مواد هیومیک سبب بهبود صفات مورفولوژیکی و تولید زیست‌توده کاکتوس شد (Neto et al., 2024). با توجه به مطالب ذکر شده، هدف اصلی این پژوهش بررسی اثرات منفرد و توام محرک‌های رشدی هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ مایکوریزا آربسکولار بر رشد کاکتوس اپونتیا بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و ۳ تکرار و در مجموع ۲۴ واحد آزمایشی با کاکتوس اوپنتا رقم Beaver Tail اجرا شد. در این آزمایش تیمارها به شرح ۱- شاهد، ۲- مایکوریزا (My)، ۳- هیومیک اسید (HA)، ۴- عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی، ۶- مایکوریزا + هیومیک اسید ، ۷- هیومیک اسید + عصاره جلبک

[1] Xerophilous

[2] Humic substances

دریایی، ۸- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید بود. در این پژوهش از هیومیک اسید (پودری) تهیه شده از شرکت دانش بنیان زیست نهاده پویا محتوی ۷۰ درصد هیومیک اسید و ۱۰ درصد پتاسیم به شکل K_2O و عصاره جلبک دریایی به شکل کود مایع تهیه شده از شرکت اینترجزپال[1] اسپانیا که محتوی ۲۴ درصد عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم[2] (محتوی ۱ درصد آلژینیک اسید) بود، استفاده شد. مایکوریزای مورد استفاده در این پژوهش مخلوطی از گونه‌های مختلف *گلوموس*[3] بوده که از بخش تحقیقاتی شرکت دانش بنیان زیست سپیدان حیات پایا واقع در شهرستان قائنات، استان خراسان جنوبی تهیه شد. در تیمارهای هیومیک اسید، در هر بار کوددهی ۰/۲۵ گرم هیومیک اسید در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب (یک در هزار) حل شده و به گلدان‌ها داده شد. همچنین، در تیمارهای مربوط به عصاره جلبک دریایی مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب حل و به گلدان‌ها افزوده شد.

برای آماده‌سازی بستر کشت از گلدان کیسه‌ای نایلونی و مخلوطی از ماسه و پرلیت استفاده شد. کلادودها در کیسه‌های گلدانی نایلونی، حاوی ۳۰۰ گرم بستر، کشت شدند. بستر شامل ۲۵۵ گرم ماسه شسته شده، ۲۰ گرم پرلیت و ۲۵ گرم مایه تلقیح محتوی مایکوریزا بود و در بسترهای غیرمایکوریزایی از مایکوریزای اتوکلاو شده استفاده شد. برخی ویژگی‌های بستر مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شد. گیاهان کشت شده، در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان (با میانگین دمای ۲۸ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۵۰ درصد و نور طبیعی) نگهداری و هر گلدان به میزان ثابت یک بار در هفته و به مقدار ۵۰ میلی‌لیتر آبیاری شد. قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آب مورد استفاده برای آبیاری، ۵۸۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. پس از گذراندن ۲۲۰ روز از کاشت، عملیات برداشت و بررسی صفات انجام شد. در پایان دوره رشد، پارامترهای رشدی و مورفولوژیکی کاکتوس شامل سطح، قطر و تعداد کلادود[4]، وزن تر و خشک کلادود و ریشه و همچنین ارتفاع گیاه با استفاده از کولیس دیجیتال، ترازو و متر اندازه‌گیری شد.

جدول ۱-برخی ویژگی‌های بستر مورد استفاده برای کاشت کاکتوس.

ویژگی	مقدار	واحد
شوری	۰/۸۲	$dS\ m^{-1}$
pH	۷/۸۰	-
ظرفیت نگهداری آب	۴۵	درصد

برای سنجش وزن تر و خشک نمونه‌ها، کاکتوس‌ها با آب مقطر شسته و پس از خشک شدن بخش هوایی از بخش ریشه جدا شدند و وزن تر هر قسمت با ترازوی با دقت ۰/۰۱ ± گرم اندازه‌گیری شد. پس از انجام این کار نمونه‌ها در داخل پتری دیش قرار داده شدند و به داخل آون منتقل و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ روز نگهداری و خشک شدند، سپس وزن خشک آن‌ها با ترازو توزین و ثبت شد.

برای تعیین مقدار نسبی آب برگ (RWC)، ابتدا یک گرم از نمونه برگ‌های تازه (FW) توزین گردید. سپس بافت گیاهی به قطعات کوچک یک سانتی‌متری تقسیم شد و به مدت ۲۴ ساعت درون پتری دیش حاوی آب مقطر غوطه‌ور گردید و بعد آب روی نمونه‌ها به‌آرامی خشک و دوباره توزین شد و وزن برگ‌های اشباع (TW) اندازه‌گیری شد. پس از آن دوباره نمونه‌های گیاهی داخل پتری دیش منتقل و به مدت ۲۴ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و سپس با توزین نمونه‌ها، وزن خشک گیاه (DW) تعیین شد. در نهایت مقدار نسبی آب کلادودها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (Lesk et al., 2016).

[1]-Interjespal

[2]-*Ascophyllum nodosum*

[3]-*Glomus*

[4]-Phylloclade (برگ جوانه)

$$RWC\ (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$ رابطه (۱)

اندازه‌گیری غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در نمونه‌های مربوط به هر تیمار از طریق هضم نمونه‌ها به روش مخلوط سولفوریک اسید ، سالیسیلیک اسید و آب اکسیژنه (روش هضم تر) انجام شد. برای تعیین غلظت نیتروژن نمونه های گیاهی از روش کجلدال و برای تعیین غلظت فسفر در عصاره‌ها از روش رنگ‌سنجی در طول موج ۴۲۰ نانومتر با دستگاه اسپتروفتومتر استفاده شد. همچنین، غلظت پتاسیم عصاره‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Kalra, 1997). برای تحلیل آماری داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر ا ساس نتایج به د ست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، تأثیر تیمارها بر وزن تر بخش هوایی و ریشه، تعداد کلادود، سطح برگ، غلظت نیتروژن، فسفر و پتا سیم معنادار بود. ارتفاع و ضخامت کلادود کاکتوس‌های مورد آزمایش در تیمارهای مختلف، از نظر آماری با هم تفاوت معناداری نداشتند. همچنین، در این تحقیق تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف بر زیست‌توده گیاه کاکتوس بررسی شد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر وزن تر و خشک بخش هوایی در سطح احتمال یک درصد معنادار بود. نتایج نشان داد که بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه به‌ترتیب با میانگین ۷۷/۸۷ و ۱۲/۵۴ گرم در گلدان مربوط به تیمار کاربرد هم‌زمان هیومیک اسید و عصاره جبک دریایی (HA + SW) بود که با سایر تیمارها تفاوت معناداری داشت؛ در حالی‌که وزن تیمارهای شاهد در این آزمایش به‌ترتیب ۳۳/۷۹ و ۵/۸۴ گرم بود. این بدان معنا است که استفاده هم‌زمان از عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید، میزان تولید کاکتوس اپونتیا را تا بیش از دو برابر افزایش داد. تیمار مصرف توأم مایکوریزا+ عصاره جلبک دریایی با ایجاد وزن تر ۶۱/۲۴ گرم در بخش فوقانی کاکتوس بعد از تیمار ۷ (هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی) بیشترین افزایش وزن تر معنادار را داشت. همچنین، کمترین وزن تر با میانگین ۳۲/۹۹ گرم در تیمار شاهد، مشاهده شد. در بین تیمارهای اعمال شده هیومیک اسید (HA)، عصاره جلبک (SW)، مایکوریزا (My) به تنهایی و به‌صورت هم‌زمان (HA+My+SW) از نظر وزن تر بخش‌های فوقانی گیاه تفاوت معناداری نداشتند. این موضوع در نتایج وزن خشک بخش هوایی نیز مشاهده شد. در شکل ۱ نمایی از وضعیت رشد گیاهان کاکتوس اپونتیا در گلخانه نشان داده شده‌است.

جدول ۲-تجزیه واریانس اثر تیمارها بر صفات مورد مطالعه.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد کلادود
تیمار	۷	۶۲۳۵/۵۱*	۴۲۵۷/۶۳*	۲۸/۶۴*	۱۲/۳۹*	۱۸۹/۴۸*
خطا	۱۶	۲۳۴۲/۸۱	۱۹۵۶/۱۸	۱۶/۱۲	۹/۷۲	۴۷/۹۱
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۵۰	۱۷/۷۸	۲۱/۵۸	۱۹/۵۴	۱۶/۷۴

ادامه جدول ۲

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ارتفاع	ضخامت کلادود	سطح برگ	درصد نیتروژن	درصد پتاسیم	درصد فسفر
تیمار	۷	۲۷۸/۲۵ns	۱۹۷/۴۵ns	۳۸۹۷/۶۵*	۳۶/۷۵*	۴۸۵/۶۵*	۸/۲۱*
خطا	۱۶	۷۵/۳۵	۶۹/۳۵	۱۳۰/۲۸	۱۱/۹۵	۱۴۶/۱۲	۲/۵۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۳/۵۴	۱۶/۸۵	۱۵/۷۷	۱۵/۵۸	۱۸/۱۵	۸/۱۷

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

استفاده همزمان از مایکوریزا و هیومیک اسید (تیمار ۶) باعث افزایش معنادار بیش از ۳ برابری وزن تر ریشه گیاه شد به نحوی که میانگین وزن تر ریشه گیاه در تیمار شاهد از ۱/۲۱ به ۳/۴۸ گرم افزایش یافت. همچنین، استفاده همزمان از هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی باعث افزایش وزن خشک ریشه از ۱/۲۱ در تیمار شاهد به ۲/۴۹ در تیمار ۷ (هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی) شد. مایه‌زنی مایکوریزا سبب افزایش وزن تر ریشه کاکتوس در تیمار ۶ شد. مایکوریزا با تولید ترکیبات شبه‌هورمونی می‌تواند سبب افزایش ریشه‌زایی گیاهان شود (Prisa and Spagnuolo, 2022). همچنین، در پژوهشی دیگر مشخص شد که کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای افزون بر افزایش رشد کاکتوس، سبب افزایش و گسترش جامعه میکروبی خاک نیز گردید (Prisa and Gobbino, 2021; Prisa and Spagnuolo, 2022).

شکل ۱- نمایی از وضعیت رشد گیاهان کاکتوس اپونتیا مورد مطالعه در گلخانه.

اثر تیمارهای مختلف بر تعداد کلادود و سطح برگ کاکتوس‌ها معنادار بود (جدول ۴). این در حالی است که این اثر در مورد ضخامت کلادودها و ارتفاع گیاه معنادار نشد. استفاده از عصاره جلبک دریایی (تیمار ۴) بیشترین تأثیر را در افزایش تعداد کلادودها و افزایش سطح برگ کاکتوس‌های مورد آزمایش داشت، به نحوی که میانگین تعداد کلادودها از ۲/۲ در تیمار شاهد به ۴/۶ در تیمار ۴ افزایش یافت. این افزایش در مورد سطح برگ نیز قابل‌مشاهده بود به نحوی که سطح برگ از ۲۰۰/۰ در تیمار شاهد به ۴۶۲/۲ سانتی‌متر مربع رسید. به عبارت دیگر، استفاده از عصاره جلبک دریایی تعداد کلادودها و سطح برگ کاکتوس‌ها را بیش از دو برابر افزایش داد. علی‌رغم این‌که استفاده از عصاره جلبک دریایی باعث ایجاد بلندترین کاکتوس‌ها شد ولی این تیمار از نظر آماری تفاوت معناداری با سایر تیمارها از نظر ارتفاع ظاهری گیاه نداشت. به طور کلی، تیمارهای محتوی عصاره جلبک دریایی بر ویژگی‌های رشدی کاکتوس اثرات مثبت و معناداری داشتند. به نظر می‌رسد ترکیبات محرک رشد داخل عصاره جلبک دریایی از طریق تأمین برخی عناصر غذایی، تأثیر بر ریشه‌زنی و استقرار گیاه و اثرات هورمونی سیتوکینین‌ها، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها و سایر ترکیبات هورمون مانند، مانند استرول‌ها و پلی‌آمین‌ها بر رشد کاکتوس اپونتیا مؤثر بوده است (Prisa and Gobbino, 2021). در یک تحقیق دیگر، مشابه تحقیق حاضر، گزارش شد که تمام گیاهان رشد یافته در بستر تیمار شده با عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم ندوزوم افزایش معناداری در ارتفاع بوته، وزن ریشه، قطر بوته، تعداد گل و زمان گلدهی و جوانه‌زنی بذر کاکتوس *Rebutia heliosa* و *Sulcorebutia canigueralli* نشان دادند (Prisa, 2020). همچنین در پژوهشی دیگر، گزارش شد که کاربرد عصاره جلبک قهوه‌ای، افزون بر رشد کاکتوس، سبب افزایش و گسترش جامعه میکروبی خاک نیز شد (Prisa and Gobbino, 2021). Faried and Fahmy (2023) نیز گزارش دادند که کاربرد هیومات پتاسیم به میزان ۱۰۰ گرم در سال برای هر کاکتوس باعث بهبود تشکیل میوه،

تعداد میوه در هر بوته، عملکرد، وزن میوه، طول میوه، عرض میوه، حجم میوه، وزن مواد جامد خشک و مواد جامد محلول میوه شد.

جدول ۳- تأثیر تیمارهای مختلف بر وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی کاکتوس.

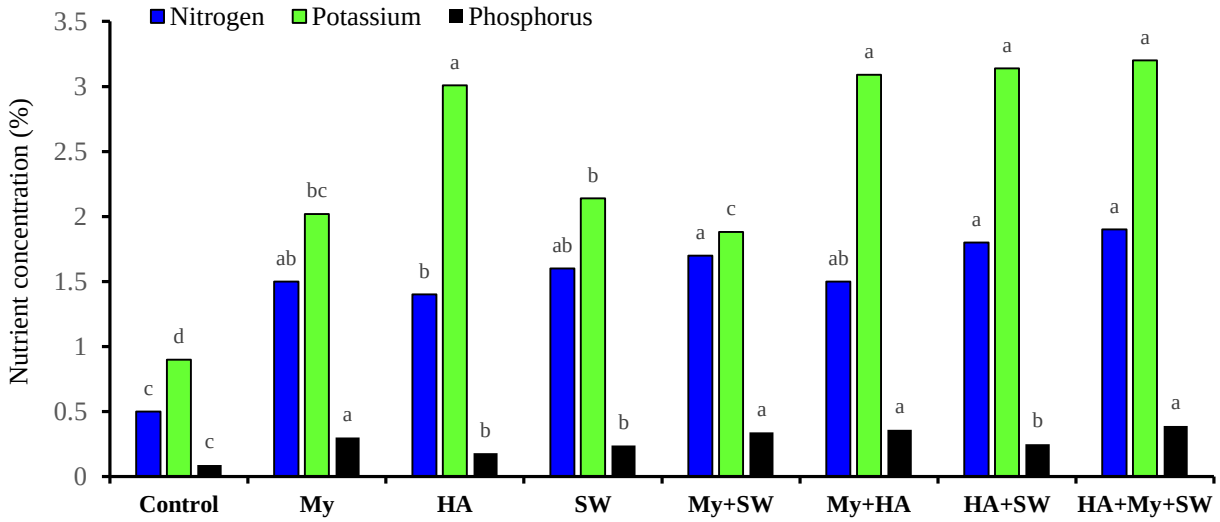
تیمار / ویژگی	وزن تر بخش هوایی (گرم)	وزن خشک بخش هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
Control	۳۳/۷۹ d	۵/۸۴ c	۱/۲۱ d	۱/۲۱ c
My	۳۹/۴۰ c	۴/۱۲ c	۲/۲۷ bc	۱/۱۱ b
HA	۳۸/۵۱ c	۶/۲۱ c	۱/۹۷ c	۱/۲۴ b
SW	۴۱/۸۱ c	۱۱/۰۱ b	۱/۸۹ c	۱/۳۷ b
My+SW	۶۱/۲۴ b	۵/۹۸ c	۲/۶۵ b	۱/۳۴ b
My+HA	۴۲/۳۵ c	۱۱/۸۹ a	۳/۴۸ a	۲/۶۴ a
HA+SW	۷۷/۸۷ a	۱۲/۵۴ a	۲/۶۰ b	۲/۴۹ a
HA+My+SW	۴۴/۲۵ c	۶/۳۵ c	۲/۸۲ b	۱/۱۸ b

میانگین‌های با کمینه یک حرف لاتین مشترک با آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنادار ندارند. شاهد (Control)، مایکوریزا (My)، هیومیک اسید (HA)، عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی (My+SW)، مایکوریزا + هیومیک اسید (My+HA)، هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی (HA+SW)، مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید (HA+My+SW).

جدول ۴-تأثیر تیمارهای مختلف بر ارتفاع، ضخامت کلادود و سطح برگ‌های گیاه کاکتوس

تیمار / ویژگی	تعداد کلادود	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	ضخامت کلادود (میلی‌متر)	سطح برگ (سانتی‌مترمربع)
Control	۲/۲ b	۱۵/۱۱ ab	۱۰/۱۰ a	۲۰۰/۰۱ d
My	۲/۳ b	۱۲/۱۰ b	۹/۸۱ a	۲۸۹/۶۵ bc
HA	۱/۷ b	۱۲/۳۰ b	۹/۹۲ a	۲۱۰/۵۴ c
SW	۴/۶ a	۱۷/۳۲ a	۹/۸۶ a	۴۶۲/۲۴ a
My+SW	۱/۶ b	۱۴/۸۰ ab	۱۰/۱۸ a	۳۷۵/۸۰ b
My+HA	۱/۲ c	۱۰/۲۱ b	۹/۹۸ a	۲۴۷/۲۴ c
HA+SW	۱/۸ b	۱۱/۵۴ b	۱۱/۲۹ a	۲۳۴/۵۲ c
HA+My+SW	۱/۴ bc	۱۲/۳۸ b	۱۰/۳۱ a	۲۴۲/۸۴ c

میانگین‌های با یک حرف لاتین مشترک با آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنادار ندارند. شاهد (Control)، مایکوریزا (My)، هیومیک اسید (HA)، عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی (My+SW)، مایکوریزا + هیومیک اسید (My+HA)، هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی (HA+SW)، مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید (HA+My+SW).



شکل ۲-تأثیر تیمارهای مختلف بر غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه. شاهد (Control)، مایکوریزا (My)، هیومیک اسید (HA)، عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی (My+SW)، مایکوریزا + هیومیک اسید (My+HA)، هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی (HA+SW)، مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید (HA+My+SW). مقایسه میانگین‌ها برای هر عنصر غذایی به‌طور جداگانه انجام شده‌است.

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که اعمال هر یک از تیمارها در افزایش میزان نیتروژن گیاه موثر بوده است به نحوی که درصد نیتروژن گیاه افزایش معناداری داشته و حداقل ۳ برابر شده است. با این وجود اعمال هم‌زمان هر سه محرک رشد (تیمار ۸)، بیشترین میزان افزایش درصد نیتروژن گیاه را به همراه داشته است به‌طوری‌که درصد نیتروژن در تیمار شاهد از ۰/۵ درصد به ۱/۹ درصد در تیمار ۸ افزایش یافته است. البته تیمارهای ۵ و ۷ نیز در سطح معناداری مشابهی با تیمار ۸ قرار داشتند و درصد نیتروژن در آن‌ها به‌ترتیب ۱/۷ و ۱/۸ درصد بود.

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است اعمال محرک‌های رشد چه به‌صورت جداگانه و چه به‌صورت هم‌زمان، سبب افزایش غلظت پتاسیم گیاهان کاکتوس شد، به نحوی که کمترین غلظت پتاسیم از ۰/۹ درصد در تیمار شاهد به بیشترین مقدار خود در تیمار ۸ رسید. این در حالی است که تیمار ۵ با وجود اینکه تفاوت معناداری با تیمار شاهد و سایر تیمارها داشت، کمترین افزایش درصد پتاسیم را تیجاد کرد. به شکل مشابهی استفاده از محرک‌های رشد باعث افزایش معنادار میزان فسفر در کاکتوس‌ها شد به نحوی که میانگین درصد فسفر در تیمار شاهد (۰/۰۹ درصد) به حداقل ۲ برابر (در تیمار ۳ با ۰/۱۸ درصد) افزایش یافت. بیشترین افزایش میانگین درصد فسفر در کاکتوس‌ها در تیمار ۸ مشاهده شد. هر چند میانگین درصد فسفر گیاه در تیمار ۸ (۰/۳۹ درصد) با تیمار ۶ (۰/۳۶ درصد)، تیمار ۵ (۰/۳۴ درصد) و تیمار ۲ (۰/۳۰) تفاوت آماری معنادار نداشت. این نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. در یکی دیگر از تحقیقات مشابه، نتو و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که استفاده از هیومیک اسید باعث ایجاد سطوح بالاتری از پتاسیم، منیزیم، گوگرد، آهن، منگنز و بور در گیاهان مورد آزمایش شد (Neto et al., 2024).

همبستگی بین تیمارهای مختلف و درصد عناصر غذایی (جدول ۵) در گیاهان نشان داد که استفاده از محرک‌های رشد با میزان درصد سه عنصر غذایی اصلی کاکتوس رابطه معنادار بالایی داشت. بر این اساس و در اذعانی مشابه با شکل ۲ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده هم‌زمان از عصاره جلبک دریایی، هیومیک اسید و مایکوریزا به شکل معناداری میزان این عناصر را در کاکتوس افزایش داد. بالا بودن ضریب همبستگی نیز موید این مطلب است. بر این اساس، ضریب همبستگی بین استفاده هم‌زمان از این سه محرک رشد و غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاه به‌ترتیب ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۴ و ۰/۹۹۶ بود.

جدول ۵- همبستگی پیرسون بین تیمارهای مختلف و میزان عناصر غذایی در گیاه

تیمارها	غلظت عنصر غذایی در گیاه	R	F	Sig.
My	نیتروژن (N)	۰/۹۹۴	۷۵/۸۴	۰/۰۰۰۰
	پتاسیم (K)	۰/۹۵۹	۱۴۷/۲۴	۰/۰۰۰۲
	فسفر (P)	۰/۹۹۱	۸۴/۱۲	۰/۰۰۰۰
HA	نیتروژن (N)	۰/۹۵۶	۸۹/۳۴	۰/۰۰۰۳
	پتاسیم (K)	۰/۹۹۰	۱۴۶/۵۸	۰/۰۰۰۰
	فسفر (P)	۰/۹۵۶	۱۶۷/۳۱	۰/۰۰۰۲
SW	نیتروژن (N)	۰/۹۸۶	۲۱۴/۶۷	۰/۰۰۰۰
	پتاسیم (K)	۰/۹۴۱	۹۸/۱۵	۰/۰۰۰۵
	فسفر (P)	۰/۹۵۶	۳۴۷/۳۱	۰/۰۰۰۵
My+SW	نیتروژن (N)	۰/۹۶۱	۶۷/۲۵	۰/۰۰۰۴
	پتاسیم (K)	۰/۹۶۷	۷۳/۴۹	۰/۰۰۰۴
	فسفر (P)	۰/۹۹۲	۱۳۸/۱۱	۰/۰۰۰۰
My+HA	نیتروژن (N)	۰/۹۴۳	۳۲۴/۳۴	۰/۰۰۰۰
	پتاسیم (K)	۰/۹۹۴	۶۸/۳۲	۰/۰۰۰۰
	فسفر (P)	۰/۹۶۳	۶۹/۷۴	۰/۰۰۰۰
HA+SW	نیتروژن (N)	۰/۹۴۶	۲۱۸/۱۴	۰/۰۰۰۵
	پتاسیم (K)	۰/۹۹۵	۳۴۵/۱۰	۰/۰۰۰۰
	فسفر (P)	۰/۹۳۷	۸۳/۰۹	۰/۰۰۰۴
HA+My+SW	نیتروژن (N)	۰/۹۹۷	۱۴۸/۳۸	۰/۰۰۰۰
	پتاسیم (K)	۰/۹۹۴	۲۱۵/۰۹	۰/۰۰۰۰
	فسفر (P)	۰/۹۹۶	۳۱۴/۱۹	۰/۰۰۰۰

شاهد (Control)، مایکوریزا (My)، هیومیک اسید (HA)، عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی (My+SW)، مایکوریزا + هیومیک اسید (My+HA)، هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی (HA+SW)، مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید (HA+My+SW).

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از محرک‌های رشد شامل عصاره جلبک دریایی، هیومیک اسید و مایکوریزا بر افزایش در صد عنا صر غذایی ا صلی در گیاه کاکتوس بود. همبستگی معنادار و بالا بین تیمارهای مختلف و در صد این عنا صر به و ضوح ن شان‌دهنده این ا ست که این محرک‌ها به طور مؤثری سبب بهبود و ضعیت تغذیه‌ای و ر شد کاکتوس‌ها شدند. عصاره جلبک دریایی غنی از هورمون‌های طبیعی مانند سیتوکینین و اکسین ا ست که به عنوان محرک‌های رشد گیاه عمل می‌کنند (Vafa et al, 2024). این هورمون‌ها می‌توانند به تحریک رشد ریشه و بهبود جذب عنا صر غذایی از خاک کمک کنند. همچنین، وجود عنا صر غذایی کم‌مصرف در این جلبک‌ها، به‌ویژه آهن و روی، موجب

بهبود عکس‌العمل‌های فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شود. هیومیک اسید به عنوان یکی از اجزای اصلی ماده آلی خاک، نقش مهمی در بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی و تسهیل جذب عناصر غذایی در ریشه‌های گیاه دارد. هیومیک اسید همچنین، باعث افزایش فعالیت میکروبی خاک و بهبود ساختار آن می‌شود و این فرایند به تحکیم فرآیندهای جذب و انتقال مواد غذایی به گیاه کمک می‌کند (Mohamed and Hassan, 2025). یافته‌های این تحقیق به‌صورت علمی و مستند نشان می‌دهد که استفاده هم‌زمان از عصاره جلبک دریایی، هیومیک اسید و مایکوریزا می‌تواند نه تنها درصد عناصر غذایی را در گیاه کاکتوس افزایش دهد، بلکه به‌عنوان یک راهکار مؤثر در بهبود کیفیت خاک و سلامت گیاهان تلقی شود. این نتایج می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای تحقیقات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی تغذیه گیاهان به کار رود و به کشاورزان و باغداران در بهبود کیفیت محصولاتشان کمک کند.

در جدول ۶ محرک رشد پیشنهادی در شرایط مختلف مشخص شده است به نحوی که نتیجه، عملکرد مطلوب یا متوسط برای ویژگی مورد نظر باشد. در برخی موارد نیز استفاده از این محرک‌ها عملکرد مناسبی نداشته است.

جدول ۶-محرک‌های رشد پیشنهادی برای کاکتوس بر اساس نتایج تحقیق

محرک رشد پیشنهادی	وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	تعداد کلادود	ارتفاع	ضخامت کلادود	سطح برگ	درصد نیتروژن گیاه	درصد پتاسیم گیاه	درصد فسفر گیاه
My	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
HA	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
SW	×	○	×	×	●	×	×	●	×	×	×
My+SW	○	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○
My+HA	×	●	●	○	×	×	×	×	×	×	○
HA+SW	●	●	×	●	×	×	×	×	○	○	×
HA+My+SW	×	×	○	×	×	×	×	×	●	●	●

● **عملکرد مطلوب** ○ **عملکرد متوسط** × **بدون عملکرد مناسب و یا اولویت کمتر نسبت به سایر محرک‌های رشد**

شاهد (Control)، مایکوریزا (My)، هیومیک اسید (HA)، عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی (My+SW)، مایکوریزا + هیومیک اسید (My+HA)، هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی (HA+SW)، مایکوریزا + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید (HA+My+SW).

نتیجه‌گیری

ترکیبات محرک رشد از طریق تأمین برخی عناصر غذایی، تأثیر بر ریشه‌زایی و استقرار گیاه و اثرات جانبی آن‌ها بر رشد کاکتوس اپونتیا مؤثر بودند. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از محرک‌های رشد طبیعی مثل هیومیک اسید، مایکوریزا و عصاره جلبک دریایی می‌تواند در رشد کمی و کیفی کاکتوس اپونتیا مؤثر و مفید باشد. البته بسته به نوع ویژگی مورد نظر هر یک از این محرک‌ها نتایج متفاوتی داشتند. به نحوی که استفاده هم‌زمان از عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید میزان تولید کاکتوس اپونتیا را تا بیش از دو برابر افزایش داد. از سویی دیگر، استفاده هم‌زمان از مایکوریزا و هیومیک اسید باعث افزایش معنادار بیش از ۳ برابری وزن تر ریشه کاکتوس‌ها شد. همچنین، بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از عصاره جلبک دریایی تعداد کلادودها و سطح برگ کاکتوس‌ها را بیش از دو برابر افزایش داد. علاوه‌بر این، استفاده هم‌زمان از سه محرک هیومیک اسید، مایکوریزا و عصاره جلبک دریایی، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای میزان جذب عناصر غذایی در کاکتوس را افزایش داد.

منابع مورد استفاده

References

Campos A.R.F., da Silva A.J.P., van Lier Q.D.J., do Nascimento F.A.L., Fernandes R.D.M, de Almeida J.N. & da Silva Paz V.P. (2021). Yield & morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. *Journal of Arid Environment*, 193, 104564. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104564

Du Jardin, P. (2012). *The Science of plant biostimulants–A bibliographic nalysis*. AD Hoc Study on Biostimulants Products, Final Report. https://orbi.uliege.be/handle/2268/169257

Estrada-Luna, A.A., & Davies Jr, F.T. (2001). Mycorrhizal fungi enhance growth and nutrient uptake of prickly-pear cactus (*Opuntia albicarpa* Scheinvar 'Reyna') plantlets after ex vitro transplantation. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(6), 739–745. https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511439

Etemadian, M., Hassani, A., Nourzadeh Haddad, M., & Hanifeie, M. (2017). Effect of organic and inorganic acids on the release of nutrients in calcareous soils. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(5), 73–91. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Faried, S. & Fahmy, F.I. (2023). Effect of Different Concentrations of Irrigation Water Salinity and Potassium Humate on Productivity and Fruit Quality of the Prickly Pears Plants (*Opuntia ficus*-indica L.)(2). *Egyptian Journal of Horticulture*. 50(2), 167–179. https://doi.org/10.21608/ejoh.2023.173097.1224

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

Jindo, K., Martim, S.A., Navarro, E.C., Pérez-Alfocea, F., Hernandez, T., Garcia, C., & Canellas, L.P. (2012). Root growth promotion by humic acids from composted and non-composted urban organic wastes. *Plant and Soil*, 353, 209–220. https://doi.org/10.1007/s11104-011-1024-3

Kalra, Y. (Ed.). (1997). *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC press.

Lahbouki, S., Fernando, A.L., Rodrigues, C., Ben-Laouane, R., Ait-El-Mokhtar, M., Outzourhit, A., & Meddich, A. (2023). Effects of Humic Substances and Mycorrhizal Fungi on Drought-Stressed Cactus: Focus on Growth, Physiology, and Biochemistry. *Plants*, 12(24), 4156. https://doi.org/10.3390/plants12244156

Lesk, C., Rowhani, P. & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84–87. https://doi.org/10.1038/nature16467

Mohamed, M. & Hassan, A.A.S.A. (2025). Influence of seaweed extract, fulvic acid and poly amino acid on the growth and productivity of *Capsicum annuum* l.super nar cultivar. *Journal of Plant Production*, 7–11. https://doi.org/10.21608/jpp.2025.349578.1426

Neto, A.C., Dobbss, L.B., de Araújo, K.V., Vieira, G.H.S., Monaco, P.A.V.L., Haddade, I.R. & Lopes, L.V. (2024). Productivity, morphology and mineral composition of forage palm clones biostimulated with humic substances. DELOS: Desarrollo Local Sostenible, 17(55), e1455–e1455. https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n55-019

Nourzadeh Hadad, M., Hasani, A, & Karami Moghadam, M. (2017). Comparison the efficiency of aquasorb and accepta superabsorbent polymers in improving physical, chemical, and biological properties of soil and tomato turnover under greenhouse condition. *Water and Soil*, 31(1), 156–167. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jsw.v31i1.53226

Prisa, D. & Gobbino, M. (2021). Biological treatments for quality improvement and production of Aloevera gel. GSC *Advanced Research and Reviews*, 9(1), 54–63. https://doi.org/10.30574/gscarr.2021.9.1.0237

Prisa, D. & Spagnuolo, D. (2022). Evaluation of the bio-stimulating activity of lake algae extracts on edible cacti mammillaria prolifera and mammillaria glassii. *Plants*, 11(24), 3586. https://doi.org/10.3390/plants11243586

Prisa, D. (2020). Gigaspora Margarita use to improve flower life in Notocactus and Gymnocalycium plants and roots protection against *Fusarium* sp. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 4(1), 51–58. https://doi.org/10.30574/wjbphs.2020.4.1.0085

Prisa, D. (2021). Biological mixture of brown algae extracts influences the microbial community of *Lobivia arachnacantha*, *Lobivia aurea*, *Lobivia jojoiana* and *Lobivia grandiflora* in pot cultivation. GSC *Advanced Research and Reviews*, 8(3), 43–53. https://doi.org/10.30574/gscarr.2021.8.3.0190

Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., Cavagnaro, T.R., Schiavon, M., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O., & Nardi, S. (2010). High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 36, 662–669. https://doi.org/10.1007/s10886-010-9790-6

Shayanmehr, S., Henneberry, S.R., Ali, E.B., Sabouhi Sabouni, M., & Shahnoushi Foroushani, N. (2024). Climate change, food security, and sustainable production: a comparison between arid and semi-arid environments of Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 359–391. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02712-w

Tomehzadeh, J., Gholami, A., Nourzadeh Hadad, M., Hasani, A., & Mohsenifar, K. (2021). The effect of humic acid concentration on alkalinity and soil elements release, germination and growth index in lawn. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(9), 87–99.

Vafa, Z.N., Sohrabi, Y., Mirzaghaderi, G., Heidari, G., Rizwan, M., & Sayyed, R.Z. (2024). Effect of bio-fertilizers and seaweed extract on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different irrigation regimes: Two-year field study. *Chemosphere*. 364, 143068 https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143068

Zhang, X., Ervin, E.H., & Schmidt, R.E. (2003). Seaweed extract humic acid, and propiconazole improve tall fescue sod heat tolerance and posttransplant quality. *Horticulture Science*, 38, 440–443. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.3.440