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

Effects of inoculation with mycorrhizal fungus and foliar spraying of chitosan on growth characteristics, morphology, and essential oil content of *Mentha spicata* L. in an organic farming system

Mina Kaviani Darani[1], Abdollah Ghasemi Pirbalouti[2*], Hamid Mozafari[3], Mohammadreza Ardakani[4], Davoud Habibi[5]

[1] Department of Agronomy, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: kaviani.mina@gmail.com
[2] Department of Biology, TeMS.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: a.ghasemi@iau.ac.ir
[3] Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: mozafarihamid@yahoo.com
[4] Department of Agronomy, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: mreza.ardakani@iau.ac.ir
[5] Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: dhabibi@iau.ac.ir

Article type:
Research article

Article history
Received:02.05.2024
Revised:03.11.2024
Accepted:19.11.2024
Published:22.06.2025

Keywords
Bio-fertilizer
Essential oil
Mentha spicata L.
Organic farming
Root colonization
Yield

Abstract

To investigate the effects of foliar spraying with chitosan and inoculation with mycorrhizal fungi on the growth, morphological characteristics, and essential oil production of *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) under organic farming conditions, a field experiment was conducted during two crop years 2018-2019 and 2019-2020at the organic farm located on the Research and Education field of I.A.U., Karaj Branch (Mehrdasht), Iran. The experimental treatments were arranged in a factorial design with a randomized complete block design (RCBD) and four replications. The experimental treatments included factor A: foliar spraying (control, water spraying, and chitosan foliar spraying at two levels of 2000 and 4000 ppm) and inoculation (with mycorrhizal fungus and without inoculation). The results of the experimental treatments in this study on the growth and morphological characteristics of the mint plant showed that the interaction effect of mycorrhizal inoculum × chitosan foliar-spraying on some features, such as chlorophyll (in particular chlorophyll a), the fresh plant weight, phosphorus concentration, colonization, and essential oil yield per area, was significant. The use of mycorrhizal fungi, combined with foliar spraying of chitosan, can enhance the growth and morphological traits of mint plants. This combination promotes phosphorus acquisition, increases fresh plant weight, and boosts essential oil yield by improving root growth. Consequently, it further enhances both the quantitative and qualitative yield of the mint plant. Finally, it can be concluded that the foliar application of chitosan and the soil application of mycorrhizal fungi, due to the non-use of chemical fertilizers in an organic farming system, can lead to the health of agricultural products, soil, and the environment.

Cite this article as: Kaviani Darani, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Mozafari, H., Mohammadreza Ardakani, Davoud Habibi. (2025). Effects of inoculation with mycorrhizal fungus and foliar spraying of chitosan on growth characteristics, morphology, and essential oil content of *Mentha spicata* L. in an organic farming system. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 78: 39-52.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
DOI: https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1118791

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

اثرات تلقیح با قارچ میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان بر خصوصیات رشدی، مورفولوژی و میزان اسانس گیاه نعناع دشتی (*Mentha spicata* L.) در نظام کشت ارگانیک

مینا کاویانی دارانی[۱]، عبداله قاسمی پیربلوطی[۲*]، حمید مظفری[٤]، محمدرضا اردکانی[۳]، داوود حبیبی[٥]

[۱] گروه زراعت، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران، رایانامه kaviani.mina@gmail.com
[۲] گروه زیست شناسی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران، رایانامه: a.ghasemi@iau.ac.ir
[۳] گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج ایران، رایانامه: mozafarihamid@yahoo.com
[٤] گروه زراعت، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران، رایانامه: mreza.ardakani@iau.ac.ir
[٥] گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج ایران ، رایانامه: dhabibi@iau.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۲/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۳/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۸/۲۹
تاریخ چاپ: ۱٤۰٤/۰٤/۰۱

واژه‌های کلیدی:
اسانس
زراعت ارگانیک
کلونیزاسیون ریشه
کود زیستی
عملکرد
نعناع

چکیده

به منظور بررسی اثرات محلول پاشی کیتوزان پلاس و تیمار تلقیح گیاه نعناع دشتی (*Mentha spicata* L.) با قارچ میکوریزا بر خصوصیات رشدی و مورفوفیزیولوژی و میزان اسانس نعناع دشتی در شرایط ارگانیک، تحقیق طی دو سال زراعی ۹۷-۹۸ و ۹۸-۹۹ در مزرعه ارگانیک تحقیقاتی- آموزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج (مهردشت) اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل شامل محلول پاشی با کیتوزان شامل شاهد (بدون محلول پاشی)، محلول پاشی با آب، محلول پاشی کیتوزان در دو غلظت ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ قسمت بر میلیون و عامل تلقیح قارچ میکوریزا شامل شاهد و تلقیح در خاک در چهار تکرار انجام شد. نتایج اثرات تیمارهای آزمایش بر خصوصیات اندازه گیری شده در گیاه نعناع دشتی نشان داد که اثرات توأم تلقیح میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان بر برخی خصوصیات رشدی و عملکردی مانند میزان کلروفیل (به ویژه کلروفیل *a*)، وزن تر و و عملکرد اسانس در واحد سطح معنی دار بود. به طوری‌که استفاده از قارچ میکوریزا به همراه محلول پاشی کیتوزان توانست درصد کلونیزاسیون، غلظت فسفر، عملکرد اندام هوایی در واحد سطح و عملکرد اسانس گیاه نعناع دشتی را در برداشته باشد. به عبارتی تلقیح قارچ میکوریزا به همراه محلول پاشی توانست منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه نعناع دشتی در نظام کشت ارگانیک شود. در پایان می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد همزمان محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا جایگزین کودهای شیمیایی در یک نظام کشت ارگانیک می‌تواند در ارتقای سلامت و بهداشت محصول کشاورزی، خاک و محیط زیست موثر باشد.

استناد: کاویانی دارانی، مینا؛ قاسمی پیربلوطی، عبداله؛ اردکانی، محمدرضا؛ مظفری، حمید؛ حبیبی، داوود. (۱٤۰٤). اثرات تلقیح با قارچ میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان بر خصوصیات رشدی، مورفولوژی و میزان اسانس گیاه نعناع دشتی (*Mentha spicata* L.) در نظام کشت ارگانیک. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۷۸: ۵۲-۳۹.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی گرگان
DOI: https://doi.org/10.71890/IPER.2025.1118791
© نویسندگان.

مقدمه

نعناع دشتی (*Mentha spicata* L.) از تیره نعناعیان (Lamiaceae)، گیاهی چندساله، علفی و معطر یا اسانس دار از جمله گیاهانی است که به علت اهمیت اقتصادی و دارویی آن توجه بیشتر محققان را به خود جلب کرده است تا از طریق شناخت عوامل موثر بر رشد و خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی با افزایش کمیت و کیفیت ماده موثره آن یعنی اسانس، بازدهی این گیاه دارویی را بهبود بخشند (Leong Ay Kee et al., 2017). نعناع دشتی یکی از گیاهان دارویی و معطر مهم است که به دلیل خواص دارویی ارزشمند و انعطاف اکولوژیکی بسیار زیاد در اقلیم‌های متنوع، به عنوان یکی از ذخایر ژنتیک گیاهی محسوب می‌شود (Ali-Shtayeh et al., 2019; Elagbar et al., 2020). درسال‌های اخیر، تحقیق بر روی روش‌های زیستی برای جلوگیری از کاربرد ترکیبات شیمیایی در کشاورزی به عنوان محرک‌های رشد یا القاء کننده‌ها در بیوسنتز ترکیبات ثانویه منجر به استفاده از مواد مبتنی بر بیوپلیمرها شده است. فضیلی و همکاران (Fazili et al., 2020) بر وجود مقادیر زیادی از "دی اسیتیلیشن پاراستامول" در کیتین اذعان داشته اند. یکی از ویژگی‌های کیتوزان و مشتقات آن غیر سمی و زیست تخریب پذیر بودن آن است. کیتوزان به عنوان یک ماده زیست تجزیه پذیر طبیعی، که از پوست سخت پوستانی چون خرچنگ و میگو و برخی میکروارگانیسم‌ها، استخراج می‌شود دارای اهمیت ویژه‌ای است (Morin-Crini et al., 2019). نتایج تحقیقات گورو و همکاران (Guru et al., 2021) نشان داده است که استفاده از مواد مبتنی بر بیوپلیمرها، به‌طور قابل توجه‌ای بهره‌وری گیاهان را افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از محرک‌های زیستی در بسیاری از گیاهان از روش‌های افزایش عملکرد کمی و کیفی نیز می‌باشد. کیتوزان از جمله محرک‌های زیستی است که بر خصوصیات رشدی گیاهان، هم‌چون تغییرات مورفولوژیکی، ریزازدیادی و افزایش محتوی متابولیت‌های ثانویه اثر گذار است (Malerba & Cerana, 2016). ایشی و همکاران (Yeshi et al., 2022) دریافتند که استفاده از الیسیتورهای زیستی هم‌چون کیتوزان با تحریک مکانیسم‌های دفاعی باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی و معطر می‌شود (Ghasemi Pirbalouti et al., 2017; Alavi samani et al., 2022).

از دیگر راهکارهای زیستی موثر بر خصوصیات رشدی گیاهان مطرح در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی است که در راستای استفاده از کودهای زیستی انجام شده است. کودهای زیستی شامل ریزجاندارانی است که قادر به افزایش حاصل‌خیزی خاک، افزایش رشد گیاه و عملکرد محصول هستند (Bouskout et al., 2022; Yadegari et al., 2020). قارچ میکوریزا به عنوان یک راهکار زیستی موثر در بهبود جذب آب و عناصر غذایی و رشد گیاهان و همچنین به منظور حصول عملکرد قابل قبول به عنوان اصلاح کننده زیستی نامیده شده است (Ardakani et al., 2021). قارچ‌های میکوریزا گونه‌هایی از قارچ هستند که با ریشه گیاهان ارتباط همزیستی نزدیک داشته و باعث افزایش عناصر غذایی مانند فسفر در گیاه می‌شوند (Gaude et al., 2015). افزایش طول ریشه در همزیستی با قارچ در گیاهان دارویی و معطر متعددی مانند ریحان، نعناع فلفلی و آویشن گزارش شده است (French, 2017).

به منظور شناخت کارآیی و نحوه اثر کودهای زیستی به ویژه تلقیح قارچ میکوریزا در رشد و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی و معطر تحقیقات گسترده ای انجام شده است که نتایج آن‌ها حاکی از اثرات مثبت همزیستی این قارچ‌ها بر

خصوصیات رشدی، افزایش طول ریشه و افزایش عملکرد اسانس در گیاهان معطر بوده است (El Amerany et al., 2020).

طبق بررسی‌های به عمل آمده تاکنون مطالعه‌ای در خصوص اثرات توأم محلول پاشی کیتوزان همراه با کاربرد قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی نعناع دشتی (*Mentha spicata* L.) در شرایط نظام کشت ارگانیک انجام نشده است، لذا آنچه در این پژوهش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، اثرات تلفیقی تلقیح میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان بر خصوصیات رشدی، مورفولوژیکی و میزان اسانس گیاه نعناع دشتی در شرایط نظام ارگانیک است که به عنوان مدلی از توسعه، در بهره‌برداری از گیاهان دارویی و معطر مطرح شده است.

مواد و روش‌ها

محل اجرای تحقیق: این پژوهش در طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در بخش مطالعاتی مزرعه ارگانیک تحقیقاتی - آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج (مهردشت کرج)، استان البرز (با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۸۱ دقیقه شرقی) با ارتفاع ۱۱۷٤ متر از سطح دریا اجرا شد. شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه بر اساس روش کوپن دارای تابستان‌های معتدل، زمستان‌های سرد و نیمه خشک است. قبل از آماده سازی زمین با توجه به اهمیت بررسی کیفیت خاک از حیث شناسایی و بررسی عناصر غذایی و حاصل‌خیزی خاک، تجزیه شیمیایی و سنجش مواد مغذی، ارزیابی وضعیت سلامت خاک ابتدا با تعیین مسیر نمونه برداری در مزرعه، نمونه خاک‌های ۲۰ نقطه از اراضی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تهیه و مخلوط شدند. برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر اندازه گیری عناصر پر مصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم، عناصر گوگرد، کلسیم و منیزیم مورد نیاز گیاهان و سنجش عناصر ریز مغذی یا میکرو (آهن، منگنز، روی، مس و غیره)، تعیین ماده آلی خاک، pH، بافت خاک، EC یا هدایت الکتریکی بر حسب دسی زیمنس بر متر (dSm^{-1}) نمونه‌های خاک به آزمایشگاه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی واحد شهر قدس ارسال شد (جدول ۱).

عملیات خاک ورزی و کاشت: پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و پیاده کردن نقشه طرح، ۸ بلوک در ٤ ردیف، برای کاشت در نظر گرفته شد. اندازه هر کرت ۳ در ٤ مترمربع، فاصله بین ردیف کاشت ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل ۳ خط کاشت و تراکم بوته‌ها ۳/۲۵ در مترمربع بود. کاشت گیاه نعناع دشتی در تاریخ ۱۸ اردیبهشت‌ماه روی هر ردیف انجام شد. گیاه مورد نظر نعناع دشتی توده محلی کرج تهیه و کشت شد. آبیاری و وجین علف‌های هرز مزرعه بر حسب نیاز، به‌طور منظم انجام شد تا وضعیت بوته‌ها در حد مطلوب حفظ شوند.

تیمارها و طرح آزمایشی: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل محلول‌پاشی با کیتوزان شامل شاهد (بدون محلول پاشی)، محلول پاشی با آب، محلول پاشی کیتوزان در دو غلظت ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ قسمت بر میلیون و عامل تلقیح قارچ میکوریزا شامل (شاهد و تلقیح در خاک) در چهار تکرار انجام شد. ۱۲۵ گرم قارچ میکوریزا در دو سطح عدم تلقیح و تلقیح، در کرت‌هایی که به تصادفی مشخص شده بود، اعمال شد.در همین راستا، ابتدا شیاری با عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متر کنار ریشه گیاه تعبیه شد، سپس به میزان ۱۲۵ گرم قارچ میکوریزا تلقیح و سطح شیار با خاک پوشیده و آبیاری انجام شد. همچنین محلول کیتوزان

پلاس، پس از تهیه غلظت‌ها و تعدیل pH در آزمایشگاه با استفاده از سم‌پاش دستی و پس از انجام کالیبراسیون، ۱۲ تا ۱۵ روز قبل از برداشت (در تاریخ ۲۳ مرداد ماه سال ۱۳۹۸) روی اندام هوایی گیاهان در صبح زود اسپری گردید. در طول دوره داشت تا برداشت محصول عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز به‌طور مرتب انجام شد.

جدول ۱: نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

مشخصات	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	فسفر قابل جذب P ava (mm/kg)	پتاسیم قابل جذب K ava (mm/kg)	سدیم قابل جذب Na ava (mm/kg)	کلسیم قابل جذب Ca ava (mm/kg)	آهن قابل جذب Fe ava (mm/kg)	روی قابل جذب Zn ava (mm/kg)	منگنز قابل جذب Mn ava (mm/kg)
روش آزمایش	عصاره اشباع	عصاره اشباع	والکی بلک	اولسون	فیلم فتومتر	فیلم فتومتر	فیلم فتومتر	روش آزمایشگاهی	روش آزمایشگاهی	روش آزمایشگاهی
میزان	۲/۱۸	۷/۱۷	۱/٤۲	٦/٦	٤۲٥	۳/۱۱۲٥	۳/۱۸۹۲	۸/۷٥	۱/۱۱	٦/۸٥

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ۱۸/۳۳ سانتی مول بر کیلوگرم بوده و با توجه به نمونه ارسالی آب اسیدیته آب ۷/۸۱ و شوری آن ۲۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

اندازه‌گیری صفات: نمونه برداری از گیاه نعناع دشتی، در زمان گل‌دهی در تاریخ ٤ شهریور ماه همان سال از سرشاخه‌های گل‌دار صورت گرفت. ارتفاع بلندترین ساقه و گل آذین اندازه‌گیری شدند و سپس در هر کرت با استفاده از خط‌کش اندازه گیری و تعداد ساقه‌های هر بوته و تعداد گل آذین‌های آن به دقت شمارش و ثبت شد. سپس خط وسط هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت و توزین شد. خطوط اول و دوم هر کرت نیز به طور مجزا برداشت، توزین و ثبت شد. از خط وسط هر کرت ۲ شاخه به صورت تصادفی برای سنجش کلروفیل گیاه شماره گذاری و به آزمایشگاه (مرکز تحقیقات گیاهان دارویی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرقدس) منتقل و در یخچال نگهداری حدود دمای ٤ درجه سانتی‌گراد شد. نمونه-های خط وسط و خطوط ۱ و ۲ هر کرت بعد از شماره گذاری، به منظور حفظ کمّیت و کیفیت اسانس گیاه، در سایه و در درجه حرارت محیط خشک شدند و وزن خشک هر نمونه نیز ثبت گردید. همچنین برای تعیین وزن ماده خشک (DM) اندام هوایی از فرمول ذیل استفاده شد:

$$DM\ (\%) = DMW/FMW*100$$

Where DMW: dry matter weight, FMW: fresh matter weight

برای اندازه گیری کلروفیل و کارتنوئید از روش آرنون (Arnon, 1967) و برای اندازه گیری میزان فسفر گیاه از روش تاراف و همکاران استفاده شد (Tarraf et al., 2015).

کلونیزاسیون ریشه: به منظور اندازه گیری درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها با میکوریزا، همزمان با برداشت بوته‌ها از ریشه‌های آن‌ها به ویژه ریشه‌های مویین و نازک نمونه برداری به عمل آمد. سپس ریشه‌ها به طور کامل و با رعایت حداقل آسیب با استفاده از آب مقطر شسته شده و از محلول FAA[1] برای تثبیت ریشه‌ها استفاده شد. وزن ریشه خشک، با دقت 0.0001 گرم با ترازوی دقیق اندازه گیری شد. طول ریشه، سطح ریشه و حجم ریشه (از طریق اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم معین آب) با دقت ۰/۱ میلی لیتر اندازه گیری شدند. به منظور تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از روش خطوط متقاطع (Gridline Intersect Method) استفاده شد (Giovannetti & Mosse, 1980). سپس ریشه‌ها به دقت با آب مقطر شستشو شده

[1] Formalin Acetic Acid Alcohol

درصد آغشتگی میکوریزای ریشه‌ها به روش خطوط متقاطع تعیین شد.

اسانس‌گیری: پس از هر برداشت نمونه‌های خشک گیاه نعناع دشتی توزین و خرد شدند، سپس ۱۰۰ گرم نمونه‌های گیاهی داخل بالن تقطیر ریخته و به‌مدت ٤ ساعت با استفاده از دستگاه کلونجر عمل اسانس گیری انجام شد و پس از سنجش در یخچال نگهداری شدند.

تجزیه آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری مشاهدات، ابتدا برای تعیین اثرات همکنش عوامل از تحلیل دو طرفه واریانس بر اساس روش GLM با استفاده از نرم‌افزار آماری $SAS_{9.4}$، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با Excel انجام شد. فرضیات آنالیز واریانس با اطمینان از تصادفی و نرمال بودن پراکنش تیمارها مورد آزمایش قرار گرفت.

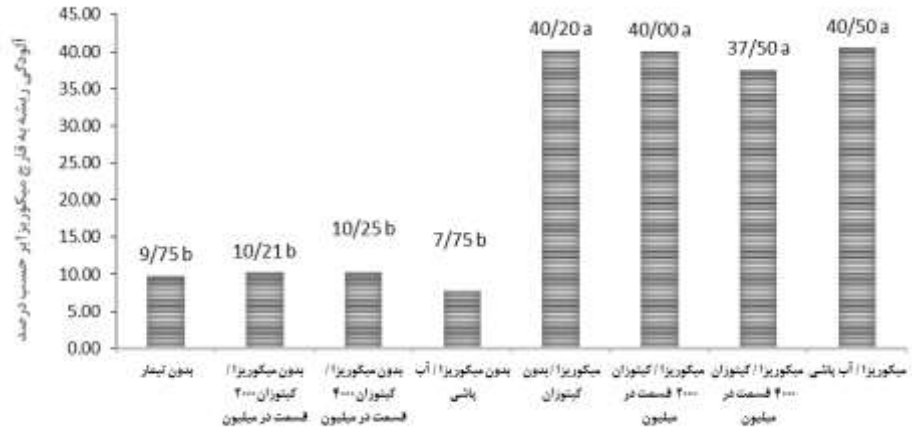
نتایج

درصد کلونیزاسیون ریشه و میزان فسفر گیاه: نتایج این تحقیق مطابق با شکل ۱ در خصوص اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح با قارچ آربسکولار میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون یا میزان آلودگی ریشه گیاه نعناع دشتی به قارچ میکوریزا نشان می‌دهد که تلقیح ریشه با میکوریزا به طور معنی داری (۰,۰۵) موجب افزایش درصد کلونیزاسیون شد. این در حالی بود که محلول‌پاشی چه در گیاهان تلقیح شده با قارچ آربسکولار میکوریزا و چه گیاهان تلقیح نشده تاثیر معنی‌داری بر درصد کلونیزاسیون ریشه نداشت (شکل ۱). در واقع بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آماری تیمارها به دو گروه آماری گروه اول با حداکثر درصد کلونیزاسیون و آلودگی ریشه به قارچ میکوریزا در تیمارهای تلقیح با قارچ میکوریزا و گروه دوم با حداقل درصد کلونیزاسیون یا آلودگی ریشه گیاه نعناع دشتی به قارچ در تیمارهای بدون تلقیح با قارچ تقسیم بندی شده‌اند (شکل ۱).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده اثر معنی‌دار تلقیح قارچ میکوریزا بر جذب فسفر در هر دو سال آزمایشی در گیاه نعناع دشتی بود (شکل ۲). مقایسه میانگین‌ها در رابطه با غلظت فسفر نشان می‌دهد که حداکثر غلظت فسفر در تیمار ترکیبی بدون محلول پاشی کیتوزان × تلقیح با قارچ میکوریزا در هر دو سال آزمایشی به ویژه سال اول آزمایش حاصل شد (شکل ۲).در برخی از تیمارها نتایج سال دوم آمایش متفاوت از سال اول بود، بیشترین غلظت‌های فسفر از تیمارهای ترکیبی محلول پاشی کیتوزان × تلقیح با قارچ میکوریزا و بدون محلول پاشی کیتوزان × تلقیح با قارچ میکوریزا به دست آمد (شکل ۲).

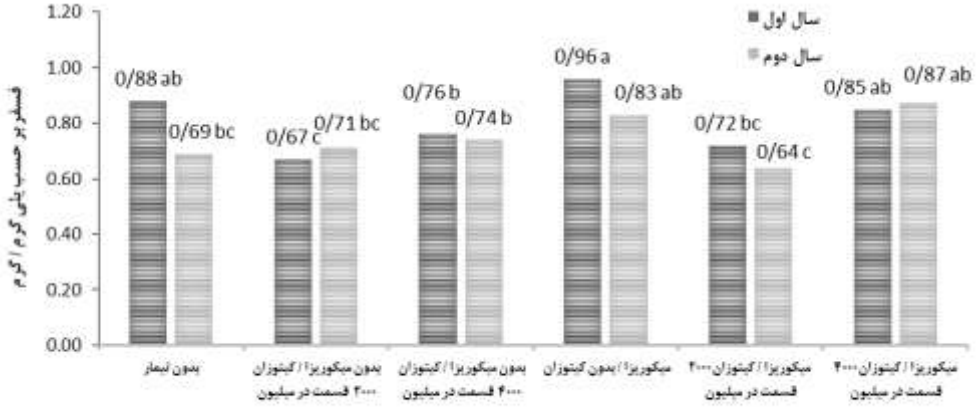
صفات مورفو-فیزیولوژیکی: با توجه نتایج این تحقیق، اثر تلقیح میکوریزا × محلول پاشی کیتوزان بر برخی صفات رشدی مانند کلروفیل a و عملکرد ماده خشک گیاه در هر دو سال و میزان وزن تر در سال دوم معنی دار بود. در تقابل تیمارهای میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان در سال آزمایش اول مشخص شد که بیشترین میزان محتوی کلروفیل a در نعناع دشتی در گروه شاهد (بدون تلقیح میکوریزا × محلول پاشی با آب) به‌دست آمد (شکل ۳). در حالی که بالاترین غلظت کلروفیل a در برگ‌های نعناع دشتی در سال دوم از تیمار تلقیح میکوریزا × محلول پاشی کیتوزان در غلظت ۲۰۰ قسمت در میلیون مشاهده شد (شکل ٤).

با توجه به شکل ۵، در اثر متقابل تلقیح میکوریزا × محلول پاشی کیتوزان بر میزان وزن تر گیاه نعناع دشتی مشخص شد که در گروه تلقیح با قارچمیکوریزا × شاهد محلول پاشی با آب، بالاترین میزان وزن تر گیاه در حدود ۲۳٦۰ گرم در متر مربع به دست آمد.



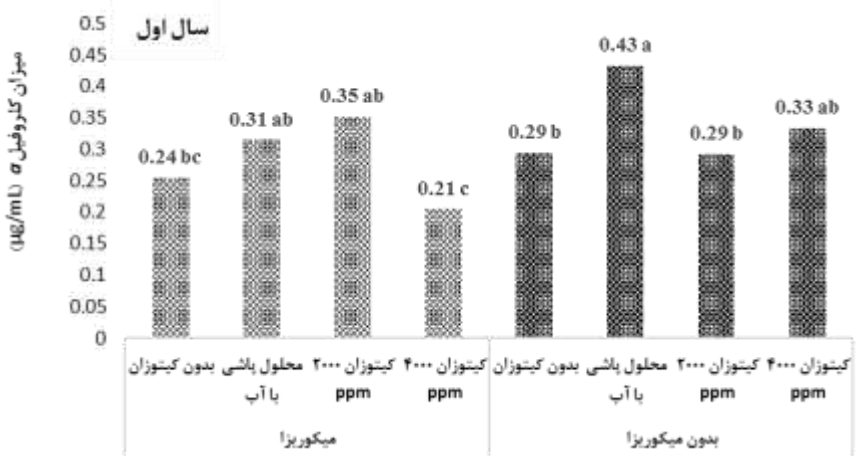
محلول پاشی کیتوزان × تلقیح میکوریزا

شکل ۱: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر کلونیزاسیون یا میزان آلودگی ریشه گیاه نعناع دشتی به قارچ میکوریزا. در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)

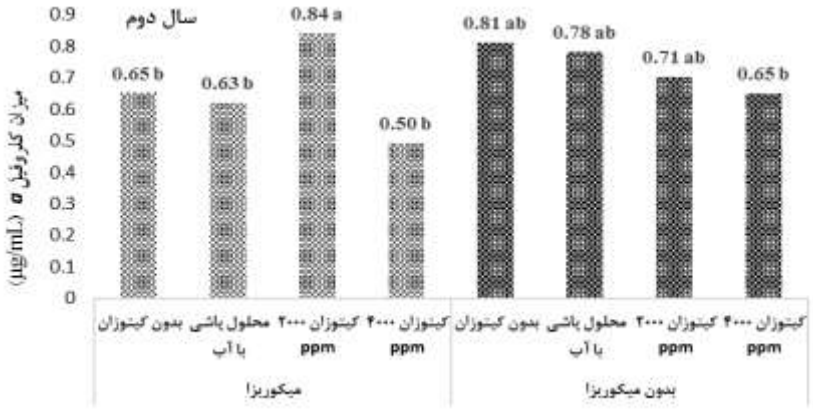


محلول پاشی کیتوزان × تلقیح میکوریزا

شکل ۲: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر میزان فسفر طی دو سال آزمایش در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)



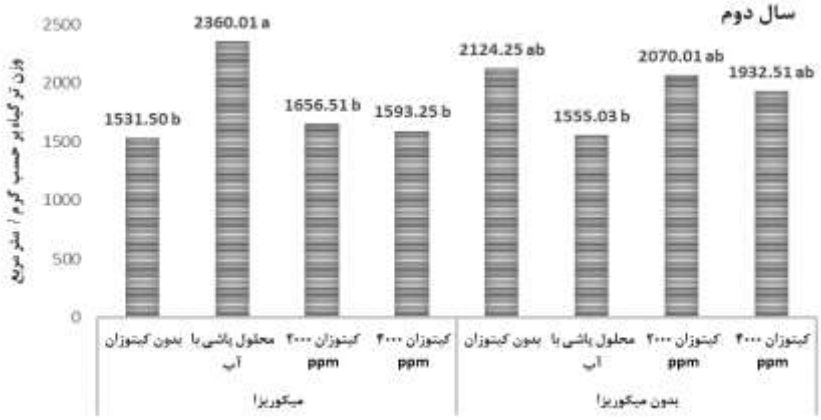
شکل ۳: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر میزان کلروفیل a در سال اول آزمایش در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)



محلول پاشی کیتوزان × تلقیح میکوریزا

شکل ٤: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر میزان کلروفیل a در سال دوم آزمایش

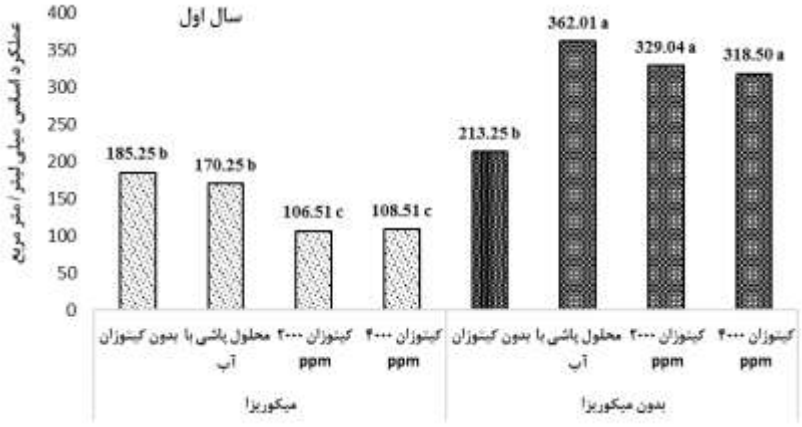
در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)



محلول پاشی کیتوزان × تلقیح میکوریزا

شکل ۵: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر میزان وزن تر گیاه در سال دوم آزمایش

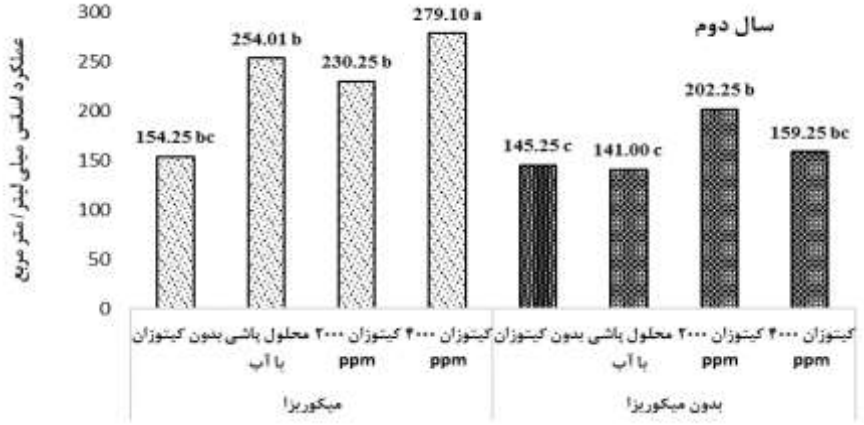
در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)



محلول پاشی کیتوزان × تلقیح میکوریزا

شکل ٦: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر میزان عملکرد اسانس در سال اول آزمایش

در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)



شکل ۷: اثر متقابل محلول پاشی کیتوزان و تلقیح قارچ میکوریزا بر میزان عملکرد اسانس در سال دوم آزمایش

در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد (روش دانکن)

عملکرد اسانس: در خصوص عملکرد اسانس گیاه نعناع دشتی نتایج سال اول آزمایش با نتایج سال دوم متغیر بود. در سال اول آزمایش، بیشترین میزان عملکرد اسانس گیاه در واحد سطح (متر مربع) از گروه تیمارهای بدون تلقیح میکوریزا به دست آمد به طوری که گروه محلول پاشی آب و کیتوزان در دو غلظت دارای بیشترین میزان عملکرد اسانس بودند (شکل ٦). اما در سال دوم آزمایش، بیشترین میزان عملکرد اسانس از تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا × محلول پاشی کیتوزان با غلظت ٤٠٠٠ قسمت در میلیون حاصل شد (شکل ۷).

بحث

برخی از میکروارگانیسم‌های مفید در خاک مانند قارچ آربسکولار میکوریزا با تلقیح ریشه یا کاربرد آن در خاک سبب افزایش جذب مواد مغذی به خصوص فسفر توسط گیاه می‌شود. همان‌طور نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که بین میزان فسفر گیاه و درصد کلونیزاسیون در تیمارهای تحت تلقیح با قارچ میکوریزا ارتباط مستقیم و مثبتی وجود دارد. قارچ میکوریزا با تولید فیتوهورمون‌های گیاهی مانند اکسین با افزایش طول ریشه و سطح جذب ریشه در خاک منجر به جذب بیشتر عناصر غذایی و آب و در نتیجه بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Miozzi et al., 2019). تحقیقات بر روی قارچ میکوریزا و همزیستی آن با ریشه گیاهان، نمایشگر افزایش رشد گیاه و جذب بیشتر فسفر شده است (Begum et al, 2019). فسفر به عنوان یکی از اصلی ترین نوع مواد مغذی برای رشد گیاه طبقه بندی شده است که هیچ‌یک از دیگر مواد مغذی را نمی توان جایگزین آن کرد (International Plant Nutrition Institute, 1999). علاوه بر این تحقیقات بر روی گیاه کپر نشان داده است که قارچ میکوریزا باعث افزایش سطح قابل توجهی از غلظت فسفر در گیاه مورد بررسی شده است (Bouskout et al., 2022). همچنین مطالعه‌ای بر روی گیاه نعناع فلفلی نشان داده است ارتباط قارچ میکوریزا با گیاه، جذب آب و مواد مغذی به‌خصوص فسفر را افزایش می‌دهد (Amani Machiani et al., 2023). فضیلی و همکاران گزارش کردند که تلقیح میکوریزا باعث افزایش جذب آب و بهبود جذب مواد مغذی خاک، به طور عمده فسفر می‌شود که بر متابولیسم گیاهان اثرات حیاتی دارد (Fazili et al.,

(2020. نتایج مطالعات انجام شده بیانگر اهمیت استفاده از قارچ میکوریزا در نظام‌های کشاورزی به ویژه ارگانیک و پایدار و تاثیر آن برروی افزایش محتوی فسفر در گونه‌های مختلف نعناع و تیره نعناعیان بوده است (Ali- Merlin et al., 2020; Shtayeh et al., 2019. ناصری و همکاران (Naseri et al., 2022) دریافتند که بیشترین میزان غلظت عنصر فسفر و همچنین کلروفیل به ویژه کلروفیل a در تیمار ترکیبی تلقیح با قارچ میکوریزا و ارقام جدید جو در شرایط دیم به دست آمد.

در همین راستا، نتایج کریمی و همکاران (Karimi et al., 2020) نشان داد که تلقیح قارچ میکوریزا بر روی رشد ریشه و اندام هوایی گیاه دارویی و معطر مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) اثرات مثبتی در مقایسه با گروه عدم تلقیح داشته است.

در رابطه با اثر توام تلقیح قارچ میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان بر روی کلروفیل *a* سال اول و سال دوم آزمایش نتایج متفاوتی به دست آمد در سال اول گروه شاهد (بدون تلقیح میکوریزا × محلول پاشی آب) دارای بیشترین غلظت روی کلروفیل a بود ولی در سال دوم آزمایش اثر متقابل تلقیح قارچ میکوریزا × محلول پاشی کیتوزان بر میزان این کلروفیل مثبت و افزایشی در مقایسه با شاهد بود. نتایج مطالعه‌ای (Bagheri et al., 2015) نشان داد که تلقیح با سه ژنوتیپ مختلف نعناع دشتی از ایران سبب افزایش صفات رشدی به خصوص کلروفیل شد. خلوندی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که تلقیح با قارچ میکوریزا توانست از طریق تحریک تولید ترکیبات فنلی و جذب رادیکال‌های آزاد تحت شرایط تنش شوری (آسیب به سلول‌های گیاهی) در نعناع فلفلی می‌شود سبب افزایش غلظت کلروفیل a در گیاه مورد مطالعه شد. همچنین در پژوهشی دیگر (Begum et al., 2022) مشخص شد که میزان کلروفیل و کارتنوئید در گیاه توتون تحت تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش یافت. اگرچه آنها گزارش کردند تحت شرایط تنش خشکی نیز قارچ میکوریزا توانست اثرات تنش منفی بر رشد و کلروفیل و فتوسنتز گیاه را کاهش دهد. نتایج تحقیقات دیگر بر روی سایر گیاهان حاکی از اثر مثبت توأم تلقیح میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان بر افزایش فتوسنتز و افزایش غلظت کلروفیل، وزن خشک برگ و دیگر صفات شد (Chang et al., 2022; Fierascu et al., 2018).

در رابطه صفت مهم کمی و کیفی گیاه نعناع دشتی یعنی عملکرد اسانس در واحد و نهایت میزان ماده موثره آن کارون که هم اسانس و کارون آن کاربردهای فراوانی در صنایع آرایشی، بهداشتی، غذایی و دارویی دارند تحت تاثیر سال و تیمارهای آزمایش قرار گرفت.در سال دوم آزمایش بالاترین میزان عملکرد اسانس در واحد سطح در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا × محلول پاشی کیتوزان مشاهده شد. نتایج تحقیقات قبلی حاکی از اثرات مثبت قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی و به خصوص افزایش عملکرد اسانس در گیاهان معطر بوده است (El Amerany et al., 2020; Amirkani et al., 2023; Samani et al., 2021). آتیکو و همکاران گزارش کردند که تلقیح میکوریزا به واسطه افزایش رشد ریشه و جذب مواد مغذی چون فسفر منجر به افزایش اسانس گونه‌های مانند نعناع *Mentha spicata* می‌شود (Ático Braga et al., 2020). در مطالعه دیگری اثر تلقیح قارچ میکوریزا بر فلورانس کلروفیل، ترکیب اسانس و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در گیاه نعناع فلفلی باعث افزایش قابل توجهی در توانایی آنتی اکسیدانی، محتوی اسانس و جذب فسفر و پتاسیم در گیاه گردید (Khalvandi et al., 2021).

در خصوص اثر محلول پاشی کیتوزان نیز نتایج مطالعات نشان می‌دهد که این ترکیب زیستی می‌تواند از طریق القای سیستم دفاعی سبب افزایش بیوسنتز و

انباشت متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس و ترپنوئیدها در گیاهان دارویی و معطر شود و همچنین منجر به تعداد بیشتر تریکوم‌ها حاوی اسانس در برگ در گیاهان معطر شود (Ghasemi Pirbalouti et al., 2017; Samani et al., 2021). به طور مشابه با نتایج تحقیق حاضر، گودرزیان و همکاران (Goudarzian et al., 2020) دریافتند که کاربرد توأم تلقیح قارچ میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان در گیاه نعناع فلفلی سبب افزایش و بهبود میزان اسانس و ترکیبات مهم موجود در آن به ویژه منتول می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

از آنجایی که کاربرد کودهای زیستی مانند قارچ میکوریزا از نظر اکولوژیکی می‌تواند در تولید ارگانیک محصولات کشاورزی به خصوص گیاهان دارویی و معطر مفید و مهم باشد و از سوی دیگر، محلول پاشی ترکیب زیستی کیتوزان می‌تواند در تولید و بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه مانند ترپنوئیدها و اسانس گیاهان معطر موثر واقع شود. در مطالعه حاصر برای نخستین بار اثر متقابل تلقیح قارچ میکوریزا به همراه محلول پاشی کیتوزان بر روی برخی صفات نعناع فلفلی طی دو سال در شرایط نظام ارگانیک مورد بررسی قرار گرفت. به طورکلی نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بود که کاربرد قارچ میکوریزا به همراه محلول پاشی کیتوزان توانست سبب افزایش درصد کلونیزاسیون در ریشه، میزان جذب فسفر، وزن اندام هوایی و عملکرد اسانس گیاه نعناع دشتی شود.نتایج مطالعات پیشین نشان داده است که استفاده از کودهای زیستی همچون قارچ میکوریزا و محلول پاشی کیتوزان نه تنها اثرات سو و مخرب محیط زیستی ندارد بلکه دارای فوایدی چون افزایش رشد و نمو گیاه، جذب فسفر و سایر مواد مغذی از طریق ازدیاد ریشه و افزایش عملکرد در گیاه را در بردارد. در نهایت می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد همزمان محلول پاشی کیتوزان و قارچ میکوریزا به واسطه عدم استفاده از کودهای شیمیایی در یک نظام کشت ارگانیک می‌تواند سلامت تولید در گیاهان دارویی و معطر و همچنین به دنبال سلامت خاک و محیط زیست را در پی داشته باشد.

References

Alavi Samany, S. M., Ghasemi Pirbalouti, A. and Malekpoor, F. (2022). Phytochemical and morpho-physiological changes of hyssop in response to chitosan-spraying under different levels of irrigation. Industrial Crops and Products, 176:114330. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114330

Ali-Shtayeh, M. S., Jamous, R. M., Abu-Zaitoun, S. Y., Khasati, A. I. and Kalbouneh, S. R. (2019). Biological properties and bioactive components of *Mentha spicata* L. essential oil: Focus on potential benefits in the treatment of obesity, Alzheimer's disease, dermatophytosis, and drug-resistant infections. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine,30: 1–11. https://doi.org/10.1155/2019/3834265

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A. and Alizadeh, K. (2023). Improvement in essential oil quantity and quality of thyme (*Thymus vulgaris* L.) by integrative application of chitosan nanoparticles and *Arbuscular mycorrhizal* fungi under water stress conditions. Plants, 12(7):1-15. https://doi.org/10.3390/plants12071422

Amirkhani, R., Aroiee, H. and Ghasemi Pirbalouti, A. (2023). Effect of the application of chemical, organic, and biological fertilizers on yield and biochemical traits of Iranian shallot (*Allium hirtifulium*). Journal of Agroecology. 15(1):31-49 DOI: 10.22067/agry.2021.69445.1030

Ardakani, M. R., Mesbah, R., Moghaddam, A. and Rafiei, F. (2021). Correlation and path analysis of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) yield vs root traits and relative water content as affected by Azotobacter, mycorrhizal symbiosis and biochar application under dry-land

farming conditions. International Agrophysics, 35(4):319–329. https://doi.org/10.31545/intagr/143945

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23(1):112–121.

Ático Braga, V. A., dos Santos Cruz, G., Arruda Guedes, C., dos Santos Silva, C. T., Santos, A. A., da Costa, H. N., Cavalcanti Lapa Neto, C. J., Aguiar Coelho Teixeira, Á. and Wanderley Teixeira, V. (2020). Effect of essential oils of *Mentha spicata* L. and Melaleuca alternifolia Cheel on the midgut of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae). Acta Histochemica, 122(3):151529. https://doi.org/10.1016/j.acthis.2020.151529

Bagheri, S., Davazdahemami, S. and Moghadam, J. M. (2015). Variation in growth characteristics, nutrient uptake, and essential oil content in three mycorrhizal genotypes of *Mentha spicata* L. International Journal of Scientific Research in Knowledge, 3(3):67.

Begum, N., Ahanger, M. A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P. and Zhang, L. (2019). Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (Zea mays) involves physiological and biochemical implications Plants, 8(12):579; https://doi.org/10.3390/plants8120579.

Begum, N., Wang, L., Ahmad, H., Akhtar, K., Roy, R., Khan, M. I. and Zhao, T. (2022). Co-inoculation of *Arbuscular mycorrhizal* fungi and the plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and photosynthesis in tobacco under drought stress by up-regulating antioxidant and mineral nutrition metabolism. Microbial Ecology, 83:971–988. https://doi.org/10.1007/s00248-021-01815-7

Bouskout, M., Bourhia, M., Al Feddy, M. N., Dounas, H., Salamatullah, A. M., Soufan, W., Nafidi, H. A. and Ouahmane, L. (2022). Mycorrhizal fungi inoculation improves Capparis spinosa's yield, nutrient uptake and photosynthetic efficiency under water deficit. Agronomy, 12(1):1–22. https://doi.org/10.3390/agronomy12010149

Chang, Y., Harmon, P. F., Treadwell, D. D., Carrillo, D., Sarkhosh, A. and Brecht, J. K. (2022). Biocontrol potential of essential oils in organic horticulture systems: from Farm to Fork. Frontiers in Nutrition, 8:1–26. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805138

El Amerany, F., Rhazi, M., Wahbi, S., Taourirte, M. and Meddich, A. (2020). The effect of chitosan, *Arbuscular mycorrhizal* fungi, and compost applied individually or in combination on growth, nutrient uptake, and stem anatomy of tomato. Scientia Horticulturae, 261: 109015. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109015

Elagbar, Z. A., Shakya, A. K., Barhoumi, L. M. and Al-Jaber, H. I. (2020). Phytochemical diversity and pharmacological properties of *Rhus coriaria*. Chemistry and Biodiversity, 17(4). https://doi.org/10.1002/cbdv.201900561

Farahbakhsh, J., Najafian, S., Hosseinifarahi, M. and Gholipour, S. (2021). Essential oil composition and phytochemical properties from leaves of Felty Germander (*Teucrium polium* L.) and Spearmint (*Mentha spicata* L.). Journal of Essential Oil-Bearing Plants, 24(1):147–159. https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1896976

Fazili, M. A., Masood, A., Wani, A. H. and Khan, N. A. (2020). Essential oil of mint: Current understanding and future prospects. Biodiversity and Biomedicine: Our Future. 293-304. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819541-3.00016-5

Fierascu, I., Dinu-Pirvu, C. E., Fierascu, R. C., Velescu, B. S., Anuta, V., Ortan, A. and Jinga, V. (2018). Phytochemical profile and biological activities of *Satureja hortensis* L.: A review of the last decade. Molecules, 23(10):1-19. https://doi.org/10.3390/molecules23102458

French, K. E. (2017). Engineering mycorrhizal symbioses to alter plant metabolism and improve crop health. Frontiers in Microbiology, 8: 1–8. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01403

Gaude, N., Bortfeld, S., Erban, A., Kopka, J. and Krajinski, F. (2015). Symbiosis dependent accumulation of primary metabolites in arbuscule-containing cells. BMC Plant Biology, 15(1):234. https://doi.org/10.1186/s12870-015-0601-7

Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A. and Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*)

under reduced irrigation. Scientia Horticulturae, 217:114-122. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031

Giovannetti. M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-*Arbuscular mycorrhizal* infection in roots. New Phytologist. 84:489–500.

Goudarzian, A., Ghasemi Pirbalouti, A. and Hossaynzadeh, M. (2020). Menthol, balance of menthol/menthone, and essential oil contents of *Mentha× Piperita* L. under foliar-applied chitosan and inoculation of *Arbuscular mycorrhizal* fungi. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 23(5):1012-1021. https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1828177

Guru, A., Dwivedi, P., Kaur, P. and Pandey, D. K. (2022). Exploring the role of elicitors in enhancing medicinal values of plants under in vitro condition. South African Journal of Botany. 149:1029-1043. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.014

IPNI (International Plant Nutrition Institute). (1999). Functions of Phosphorus in Plants. Better Crops, 83(1), 6–7.

Karimi, A., Rahmani, F., Ghasemi Pirbalouti, A. and Mohammadi, M. (2020). Growth, physiological and biochemical traits of sage under the exogenous stimulating and stress factors. Russian Journal of Plant Physiology, 67:933–944. https://doi.org/10.1134/S1021443720050076

Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H. and Keramati, S. (2021). Does co-inoculation of mycorrhiza and Piriformospora indica fungi enhance the efficiency of chlorophyll fluorescence and essential oil composition in peppermint under irrigation with saline water from the Caspian Sea? PLoS ONE, 16(7):1-21. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254076

Leong Ay Kee, L., Bakr Shori, A. and Salihin Baba, A. (2017). Bioactivity and health effects of Mentha spicata. Integrative Food, Nutrition and Metabolism, 5(1):1-2. https://doi.org/10.15761/ifnm.1000203

Malerba, M. and Cerana, R. (2016). Chitosan effects on plant systems. International Journal of Molecular Sciences, 17(7):996. https://doi.org/10.3390/ijms17070996

Merlin, E., Melato, E., Lourenço, E. L. B., Jacomassi, E., Junior, A. G., da Cruz, R. M. S., Otênio, J. K., da Silva, C. and Alberton, O. (2020). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus addition increase coarse mint (*Plectranthus amboinicus* Lour.) plant growth and essential oil content. Rhizosphere, 15:100217. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100217

Miozzi, L., Vaira, A. M., Catoni, M., Fiorilli, V., Accotto, G. P. and Lanfranco, L. (2019). *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis: Plant friend or foe in the fight against viruses? Frontiers in Microbiology, 10(JUN). https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01238

Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G. and Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. Environmental Chemistry Letters, 17(4):1667–1692. https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x

Naseri, R., Mirzaei, A. and Abbasi, A. (2022). The combined role of mycorrhizal fungi and phosphorus chemical fertilizer on nutrient uptake in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed conditions. Journal of Plant Environmental Physiology. 65(2): 24-39. https://doi.org/10.30495/iper.2022.690265

Samani, M. R., D'Urso, G., Montoro, P., Ghasemi Pirbalouti, A. and Piacente, S. (2021). Effects of bio-fertilizers on the production of specialized metabolites in *Salvia officinalis* L. leaves: An analytical approach based on LC-ESI/LTQ-Orbitrap/MS and multivariate data analysis. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 197:113951. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2021.113951

Tarraf, W., Ruta, C., De Cillis, F., Tagarelli, A., Tedone, L. and De Mastro, G. (2015). Effects of mycorrhiza on growth and essential oil production in selected aromatic plants. Italian Journal of Agronomy, 10(3):160–162. https://doi.org/10.4081/ija.2015.633

Mahmoodi,A.,,Yadegari, M. and Hamedi, B. (2020). The effect of vermicompost and nitrogen and phosphorus fertilizers on morphological and phytochemical traits of *Mentha piperita* L. Journal of Plant Environmental Physiology, 57:84-99.

Yeshi, K., Crayn, D., Ritmejerytė, E. and Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. Molecules, 27(1):313. https://doi.org/10.3390/molecules27010313