Effect of Mycorrhiza Fungus, Humic acid, and Salicylic acid on Morphological, Phytochemical Characteristics and Nutrient Uptake of *Melissa Officinalis* L. cv Citronella

M. Hamzeh Mohamadabadi[1], A.R. Ladan Moghaddam[1*], E. Danaee[2] and V. Abdossi[3]

نسخه پیش از انتشار

Abstract

Many efforts have been made to find suitable ways to improve the quality of soil and agricultural products, among which are biofertilizers and organic fertilizers. This study was performed to investigate the effect of mycorrhiza fungus (M**)** (*Funneliformis mosseae*), different levels of humic acid (HA) (0, 200, and 400 mg pot^{-1}) and salicylic acid (SA) (0, 100, and 200 mg l^{-1}) on the growth indices, phytochemical characteristics and nutrient levels of Lemon balm (*Melissa Officinalis* L. cv Citronella) in a greenhouse in northern Iran. The experiment was performed in completely randomized design with 3 replications. The results showed that all treatments had a significant effect on the measured variables. The highest fresh and dry weight of shoot, phenol and flavonoid, nitrogen, phosphorous and potassium content were observed in M + HA 400 + SA 200 treatment and the highest Fresh and dry weight of shoot and root volume were obtained in M + HA 400 + SA 100 treatment. Also, the maximum total chlorophyll content and essential oil yield was obtained in M + HA 200 + SA 200 treatment. In general, mycorrhizal fungus with humic acid 400 mg pot^{-1} and salicylic acid 200 mg l^{-1} treatment is effective to improve vegetative growth, essential oil and nutrient uptake on lemon balm (*Melissa Officinalis* L. cv Citronella).

Keywords: Bio fertilizer**,** Citronella, Essential oil, Phenol, Total chlorophyll.

Background and Objectives: Today, due to environmental considerations, the use of organic fertilizers can enhance crop yield and soil properties has been widely used. An approach to achieve sustainable agriculture is to apply microorganisms that play an important role in meeting the nutritional demand of plants including mycorrhiza fungi. Mycorrhiza fungi improve plant uptake and transport (phosphorus and nitrogen, potassium, copper and zinc) and ultimately plant growth by expanding the hyphae network and increasing plant root levels. Humic acid is a weak organic acid that improves soil fertility, provides nutrients and affects quantitative and qualitative characteristics of plants by affecting plant growth-regulating hormones and benefit plant growth by chelating unavailable nutrients to

1- Medicinal plant, Department of Horticultural Sciences, Aliabad katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad katoul, Iran

2- Department of Horticultural Sciences, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran

3- Department of Horticulture and Agronomy, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding author, Email: ladanmoghadam.Alireza@gmail.com

overcome nutrimental deficiencies (Nejati Sini et al., 2023). Salicylic acid is a phenolic compound that can increase plant growth, chlorophyll content and absorption and co-transport of ions (Kakaei et al., 2023). This study aimed to investigate the effect of mycorrhizal fungi and different levels of humic acid and salicylic acid on morphological and phytochemical characteristics and nutrients value of Lemon balm (*Melissa Officinalis* L. cv Citronella).

Methods: The research was performed in completely randomized design with 3 replications by the use of mycorrhizal fungi and different levels of humic acid (0, 200, and 400 mg pot^{-1}) and salicylic acid (0, 100, and 200 mg l^{-1}) of lemon balm. Seeds Citronella cultivars were planted directly in size 17 pots. For each kilogram of soil, 100 grams of inoculums was placed at a depth of 3 cm from the pot surface. Humic acid (HA) treatment was applied by irrigation at the time of seed sowing and foliar application of salicylic acid (SA) in two stages (second and third weeks after cultivation) based on distilled water. Sampling was done two weeks after the last treatment to evaluate the traits of fresh and dry weight of shoot and root, root volume, total chlorophyll, phenol, flavonoid, nitrogen, potassium, phosphorus, essential oil yield.

Results: The highest fresh and dry weight of shoot, phenol and flavonoid, nitrogen, phosphorous and potassium content were observed in M + HA 400 + SA 200 treatment and the highest Fresh and dry weight of shoot and root volume were obtained in M + HA 400 + SA 100 treatment. Also, the maximum total chlorophyll content and essential oil yield was obtained in M + HA 200 + SA 200 treatment

Conclusion: In general, mycorrhizal fungus with humic acid 400 mg pot^{-1} and salicylic acid 200 mg l^{-1} treatment is effective to improve vegetative growth, essential oil and nutrient uptake on lemon balm (*Melissa Officinalis* L. cv Citronella).

References:

1. Nejati Sini, H., Barzegar, R., Soodaee Mashaee, S., Ghasemi Ghahsare, M. 2023. Mycorrhizal Fungi and Bacillus sp. Along with Organic Fertilizer on The Growth and Nutrient Uptake of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.). J. Soil. Plant Interac. 13(4): 89–104. https://doi.org/10.47176/jspi.13.4.20821 (In Persian with English abstract).
2. Kakaei, H., Amirinejad, A.A., Ghobadi, M. 2023. Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Growth Characteristics in Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Under Lead Stress Conditions. J. Soil. Plant Interac. 14(3): 73–85. https://doi.org/10.47176/jspi.14.3.20162 (In Persian with English abstract).

نسخه پیش از انتشار

تأثیر قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک، بیوشیمیایی و میزان جذب عناصر غذایی در گیاه بادرنجبویه

(*Melissa Officinalis* L. cv Citronella)

مهدی حمزه محمدآبادی[1]، علیرضا لادن‌مقدم[2*]، الهام دانائی[2] و وحید عبدوسی[3]

چکیده

امروزه تلاش‌های زیادی برای یافتن راه‌های مناسب جهت ارتقاء کیفیت خاک و محصولات کشاورزی صورت گرفته است، که یکی از این راهکارها به‌کار بردن کودهای زیستی و کودهای آلی می‌باشد. این تحقیق به‌منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا (M) (*Funneliformis mosseae*) و سطوح مختلف اسید هیومیک (HA) (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در هر گلدان) و اسید سالیسلیک (SA) (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر شاخص‌های رشدی، خصوصیات بیوشیمیایی و میزان عناصر غذایی در گیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L. cv. Citronella) در گلخانه‌ای در شمال ایران اجرا گردید. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد، تمام تیمارها بر صفات مورد مطالعه اندازه‌گیری شده اثر معنی‌دار داشتند. بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی، فنل کل، فلاونوئید، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار 200 SA + 400 HA + M مشاهده شد و بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه و حجم ریشه در تیمار 100 SA + 400 HA + M بود و همچنین بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل و عملکرد اسانس در تیمار 200 SA + 200 HA + M به‌دست آمد. به‌طور کلی تیمار قارچ مایکوریزا به همراه اسید هیومیک ۴۰۰ میلی‌گرم در هر گلدان و اسید سالیسیلیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تیمار مؤثری در جهت بهبود رشد رویشی، خصوصیات بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی در گیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L. cv. Citronella) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، سیترونلا، فنل، کود زیستی، کلروفیل کل.

۱- گیاهان دارویی ادویه‌ای و نوشابه‌ای، گروه علوم باغبانی، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران

۳- گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ladanmoghadam.Alireza@gmail.com

نسخه پیش از انتشار

مقدمه

گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) یکی از مهم‌ترین گونه‌های گیاهان دارویی است که اهمیت اقتصادی بالایی دارد، بادرنجبویه گیاهی معطر و علفی از خانواده نعنائیان است، که سرشاخه‌های هوایی آن حدود ۰/۱ تا ۰/۵ درصد اسانس دارد و مهم‌ترین ماده مؤثره آن سیترونلال است. گزارشات Salamon و همکاران (۲۰۱۹) نشان داده است که اسانس رقم Citronella دارای خاصیت ضد قارچی زیادی می‌باشد و برای درمان ناراحتی‌های اعصاب و مداوای بیماری‌های معده، قلبی و روده ای که منشأ عصبی دارند استفاده می‌شود (Świąder et al., 2019).

امروزه باتوجه به ملاحظات زیست محیطی استفاده از انواع اسیدهای آلی و کودهای زیستی برای بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی رواج پیدا کرده است که یکی از راه‌های دستیابی به کشاورزی پایدار، استفاده از میکروارگانیسم‌هایی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان دارند. همزیستی گیاه و قارچ مایکوریزا یکی از راهکارهای مفید در جهت افزایش مواد آلی خاک، تقویت میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش کارایی مصرف نهاده‌های کشاورزی و آب می‌باشد و با استفاده از گسترش شبکه هیفی و افزایش سطح ریشه گیاهان، جذب و انتقال مواد غذایی (فسفر و نیتروژن، پتاسیم، مس و روی) و در نهایت رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد (Nejati Sini et al., 2023). در گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) موجب افزایش کلروفیل کل و عملکرد اسانس گردید (Weisany et al., 2015). همچنین در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus*) نیز کاربرد قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) طول ریشه، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و جذب عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و روی را افزایش داد (Yazdan panah gohari et al., 2020).

اسید هیومیک یک اسید ضعیف آلی است که حاصلخیزی خاک و قابلیت دسترسی عناصر غذایی را بهبود بخشیده و همچنین با تأثیر بر هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد گیاهی و افزایش فتوسنتز گیاه عملکرد کمی و کیفی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس اشاره کرد (Abedi and Pakniat, 2010). مطالعات Bettonia و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد، کاربرد قارچ مایکوریزا (*Rhizophagus intraradices*) به همراه محلول حاوی ۲۰ درصد اسید هیومیک میزان وزن تر اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، محتوای کلروفیل a، b و کل، قند محلول، پروتئین و پرولین را در گیاه پیاز (*Allium cepa* L.) افزایش داد. همچنین در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) نیز کاربرد محلول حاوی ۱۵ درصد اسیدهیومیک وزن تر و خشک گیاه، ارتفاع گیاه، میزان کلروفیل کل، کاروتنوئید و اسانس را افزایش داد (Mafakheri and Asghari, 2018).

اسید سالیسیلیک یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک اسید یک ترکیب فنلی است که به وسیله سلول‌های ریشه گیاهان در مقادیر کم تولید می‌شود و به‌عنوان ماده‌ای شبه هورمون شناخته می‌شود و متناسب با گونه گیاه، غلظت به‌کار رفته، دوره رشد و شرایط محیطی بر طیف وسیعی از واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی در گیاهان مؤثر است (Neisi et al., 2019). با توجه پژوهش‌های صورت گرفته کاربرد غلظت‌های پایین اسید سالیسیلیک و همزیستی آن با قارچ مایکوریزا موجب افزایش کولونیزاسیون ریشه و گسترش سامانه ریشه‌ایی می‌گردد و در نتیجه موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی و عملکرد گیاه می‌شود (Garg and Bharti, 2018). همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌شود (Kakaei et al., 2023). در گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) کاربرد قارچ اندوفیت (*Piriformospora indica*) به همراه اسید سالیسیلیک ۳۰۰ میکرومولار، ارتفاع گیاه، طول ریشه و کلونیزاسیون ریشه را افزایش داد (Mirzaei et al., 2021). همچنین در گیاه استویا (*Achillea millefolium* L.) نیز کاربرد اسید سالیسیلیک ۳۰۰ میکرو مولار وزن خشک شاخه،

نسخه پیش از انتشار

برگ و بوته، ارتفاع و تعداد شاخه فرعی را افزایش داد (Jalilvand Shirkhanitabar et al., 2020).

با توجه به اهمیت اقتصادی و ارزش دارویی گیاه بادرنجبویه کاربرد قارچ مایکوریزا و همچنین اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به دلیل تأثیر مثبت بر رشد گیاه با سیاست‌های کشاورزی پایدارو تولید محصولات ارگانیک هم راستا می‌باشد لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر قارچ مایکوریزا و سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک، بیوشیمیایی و میزان عناصر غذایی پر مصرف در گیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L.) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات موفولوژیک، بیوشیمیایی و جذب عناصر غذایی در گیاه بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L. cv. Citronella) آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای واقع در شمال ایران (طول جغرافیایی ۵۴/۵۴۳۸، عرض جغرافیایی ۳۶/۷۹۳۲ و ارتفاع از سطح دریا ۲۷۳ متر) انجام شد. میانگین دمای گلخانه حدود ۱۸ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد و شدت نور حدود ۶۰ تا ۷۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود، بذرها مستقیماً در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر که حاوی ۲ کیلوگرم خاک بودند، کشت شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. مایه تلقیح قارچ مایکوریزا *Funneliformis mosseae* (*Glomus mosseae*) از بانک میکروبی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه شد، به‌ازای هر کیلوگرم خاک، ۱۰۰ گرم مایه تلقیح (۲۰ عدد اسپور در گرم) در عمق سه سانتی‌متری از سطح گلدان قرارگرفت و بذرهای ضدعفونی شده توسط هیپوکلریت سدیم (۲ درصد) در عمق یک سانتی‌متری از سطح خاک کاشته شدند. تیمار اسید هیومیک (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در هر گلدان) به‌صورت کود آبیاری به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان در زمان کاشت بذور اعمال گردید و محلول‌پاشی برگی اسیدسالیسیلیک (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در طی دو مرحله (هفته دوم و سوم کشت در گلدان) هر مرحله ۵۰۰ میلی‌لیتر بر پایه آب مقطر، انجام شد (جدول ۲). آبیاری گلدان‌ها دو بار در هفته و در حد ظرفیت زراعی ۹۰ درصد انجام شد. ارزیابی صفات دو هفته پس از آخرین تیمار در مرحله گلدهی صورت گرفت.

صفات مورفولوژیک مورد بررسی

اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم انجام شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ابتدا نمونه‌ها در آون ۶۰ درجه نگهداری شدند. حجم ریشه با استفاده از تغییر حجم آب پس از قرار گرفتن ریشه گیاه درون استوانه مدرج، اندازه‌گیری شد (Shabani Fard et al., 2024).

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

کلروفیل کل: محتوای کلروفیل کل برگ با استفاده از استون استخراج شد. جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b خوانده شد. در نهایت محتوای کلروفیل کل برگ بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر، بیان گردید (Danaee and Abdossi, 2016).

فنل کل: میزان فنل کل با استفاده از روش Hosseinzadeh Rostam Kalaei و همکاران (۲۰۲۲) اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد و برحسب میلی‌گرم (گالیک اسید) بر گرم وزن خشک برگ محاسبه شد.

فلاونوئید: میزان فلاونوئید با استفاده از روش Soroori و همکاران (۲۰۲۱)، اندازه‌گیری و جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید و در نهایت برحسب میلی‌گرم (کوئرستین) بر گرم وزن خشک برگ بیان شد.

نسخه پیش از انتشار

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physicochemical characteristics of research soil

Soil Texture بافت	Clay رس (%)	Silt سیلت (%)	Sand شن (%)	EC (dS/m)	pH	Nitrogen (%)	Potassium (mg kg^{-1})	Phosphorus (mg kg^{-1})	Organic Carbon (%)
loam	41	48	11	0.53	7.39	0.82	210	25.5	0.50

جدول ۲. نام تیمارهای آزمایش

Table 2. Name of experiment treatment

NO ردیف	Treatments تیمارها
1	Control شاهد
2	M قارچ مایکوریزا
3	M + HA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰
4	M + HA400 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰
5	M + SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰
6	M + SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید سالیسیلیک ۲۰۰
7	M + HA200+SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰
8	M + HA400+SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰
9	M + HA200+SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰

نسخه پیش از انتشار

نیتروژن: نیتروژن برگ با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد و در نهایت بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک محاسبه شد (Jurgiel-Małecka et al., 2017).

پتاسیم: میزان پتاسیم برگ طبق روش You (۲۰۱۵) توسط دستگاه فلیم‌فتومتر (Jenway انگلستان) اندازه‌گیری شد و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک بیان گردید.

فسفر: جهت اندازه‌گیری میزان فسفر برگ به روش Jurgiel-Małecka و (۲۰۱۷)، اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر قرائت گردید و در نهایت برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان شد.

عملکرد اسانس: استخراج اسانس توسط دستگاه کلونجر (Shimadzu modelQP5050A) انجام شد و بر حسب درصد بیان گردید (Danaee and Abdossi, 2019).

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۳) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد، انجام گردید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (نسخه ۱۶) استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمارهای قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، حجم ریشه، کلروفیل کل، فنل کل، فلاونوئید، نیتروژن، پتاسیم، فسفر و عملکرد اسانس در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، بیش‌ترین وزن تر و خشک لندام هوایی با ۱۳/۲۵ و ۸/۴۶ گرم در گیاه، در تیمار M + 400 HA + 200 SA و کم‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی با ۱۶/۲۳ و ۵/۹۲ گرم در گیاه در شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

وزن تر و خشک ریشه: نتایج نشان داد، بیش‌ترین وزن تر و خشک ریشه (۴/۴۶–۲/۰۱ گرم در گیاه) در تیمار M + HA + 400 100 SA و کم‌ترین (۲/۴۷–۰/۷۸ گرم در گیاه) مربوط به شاهد بود (جدول ۲).

حجم ریشه: نتایج نشان داد، بیش‌ترین حجم ریشه با ۶/۲۰ سانتی‌متر مکعب در گیاه، در تیمار M + 400 HA + 100 SA و کم‌ترین با ۳/۴۰ سانتی‌متر مکعب در گیاه، در شاهد مشاهده شد (جدول ۱).

کلروفیل کل: نتایج بررسی‌ها نشان داد، ترکیب قارچ مایکوریزا به همراه اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک موجب بهبود محتوای کلروفیل کل گردید، به‌طوری‌که بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل برگ با ۱۸/۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر، در تیمار M + 200 HA + 200 SA و کم‌ترین با ۱۳/۴۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر، در شاهد به‌دست آمد (شکل ۱).

فنل کل: نتایج نشان داد، کاربرد قارچ مایکوریزا به همراه بالاترین غلظت اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک نقش مثبتی در افزایش میزان فنل کل گیاه داشت. بیش‌ترین محتوای فنل با ۱۳/۸۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار M + 400 HA + 200 SA و کم‌ترین با ۹/۳۴ میلی گرم در گرم وزن خشک در شاهد بود (شکل ۲).

فلاونوئید: بررسی‌ها نشان داد، افزودن قارچ مایکوریزا به خاک و کاربرد غلظت‌های بالای اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک میزان فلاونوئید گیاه را افزایش داد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فلاونوئید به‌ترتیب با ۲۲/۷۴ و ۱۷/۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار M + 400 HA + ۲۰۰ SA و شاهد بود (شکل ۳).

نیتروژن: بررسی‌ها نشان داد، با ترکیب قارچ مایکوریزا به خاک و افزایش غلظت اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک میزان جذب عناصر غذایی مورد بررسی افزایش یافت. بیش‌ترین (۰/۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و کم‌ترین (۰/۲۱ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) میزان نیتروژن برگ به‌ترتیب در تیمار M + 400 HA + 200 SA و شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

نسخه پیش از انتشار

جدول ۳. آنالیز واریانس اثر قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژی، بیوشیمیایی و جذب عناصر بادرنجبویه (*Melissa Officinalis L.* cv Citronella)

Table 3. Analysis of variance of the effects of mycorrhizal fungus, humic acid and salicylic acid on morphological, phytochemical characteristics and nutrient uptake of *Melissa Officinalis L.* cv Citronella.

		Mean Squares میانگین مربعات											
	DF درجه آزادی	Shoot fresh weight وزن تر اندام هوایی	Shoot dry weight وزن خشک اندام هوایی	Roots fresh weight وزن تر ریشه	Roots dry weight وزن خشک ریشه	Root Volume حجم ریشه	Total chlorophyll کلروفیل کل	Total Phenol فنل کل	Flavonoid فلاونوئید	Nitrogen نیتروژن	Potassium پتاسیم	Phosphorus فسفر	Essential Oil اسانس
Treatment تیمار	9	9.90**	11. 51**	6.91**	2.42**	12.82**	11.460**	18.022**	14.56**	3.019**	2.017**	4.153**	3.020**
Error خطا	20	0.082	0.012	0.024	0.005	0.02	0.050	0.045	0.076	0.011	0.017	0.023	0.021
CV (%) ضریب تغییرات	---	10.87	10.03	12.22	9.29	11.14	9.83	10.91	11.04	10.58	9.55	11.23	13.67

**, * respectively, significant at 1% and 5%

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد

نسخه پیش از انتشار

جدول ۱. اثر قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژی بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L. cv Citronella)

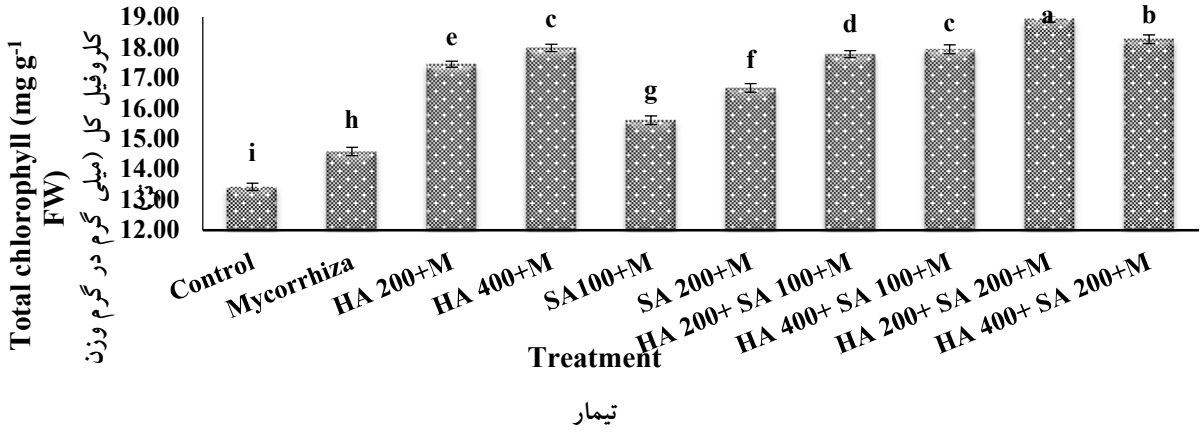
Table 1. Effect of mycorrhizal fungus (M), humic acid (HA) and salicylic acid (SA) on morphological traits of *Melissa officinalis* L. cv Citronella

Treatment تیمار	Fresh weight of Shoot (g plant $^{-1}$) وزن تر اندام هوایی (گرم در گیاه)	Dry weight of Shoot (g plant $^{-1}$) وزن خشک اندام هوایی (گرم در گیاه)	Fresh weight of Root (g plant $^{-1}$) وزن تر ریشه (گرم در گیاه)	Dry weight of Root (g plant $^{-1}$) وزن خشک ریشه (گرم در گیاه)	Root Volume (cm^3 plant $^{-1}$) حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در گیاه)
Control شاهد	16.32^{h}	5.92^{h}	2.47^{h}	0.78^{h}	3.40^{i}
M قارچ مایکوریزا	19.26^{g}	6.25^{fg}	2.78^{g}	1.02^{g}	3.80^{h}
M + HA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰	21.65^{d}	6.59^{ij}	3.24^{e}	1.38^{e}	4.40^{f}
M + HA400 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰	22.04^{d}	7.12^{e}	3.65^{d}	1.54^{d}	4.70^{e}
M + SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	19.87^{g}	6.33^{fg}	3.06^{f}	1.31^{f}	4.00^{g}
M + SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید سالیسیلیک ۲۰۰	20.45^{f}	6.95^{f}	3.41^{e}	1.47^{de}	4.30^{fg}
M + HA200+SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	22.73^{d}	7.38^{cd}	3.87^{d}	1.66^{c}	5.10^{d}
M + HA400+SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	24.36^{b}	8.05^{b}	4.46^{a}	2.01^{a}	6.20^{a}
M + HA200+SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	23.53^{c}	7.67^{c}	4.11^{b}	1.93^{b}	5.40^{c}
M + HA400+SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰+ اسید سالیسیلیک ۲۰۰	25.13^{a}	8.46^{a}	4.37^{c}	1.76^{c}	5.90^{b}

Values marked by different letters are significantly different ($P< 0.05$).

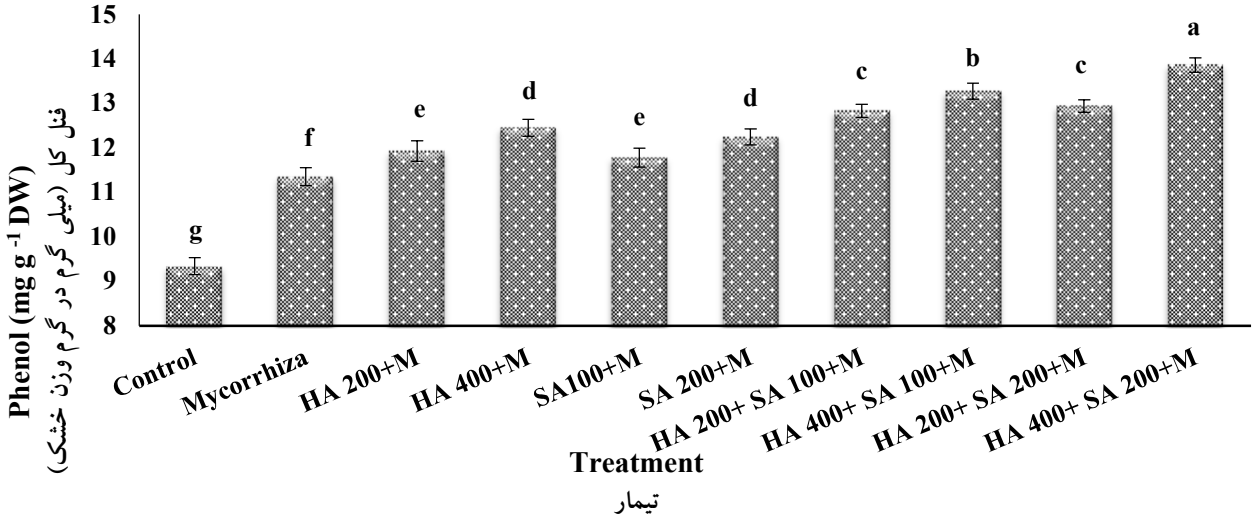
حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P\leq0.05$ است.

نسخه پیش از انتشار



شکل ۱. اثر قارچ مایکوریزا (M)، اسید هیومیک (HA) و اسید سالیسیلیک (SA) بر محتوای کلروفیل کل بادرنجبویه (cv Citronella *Melissa officinalis* L.)(P<۰/۰۵)

Fig. 1. Effect of mycorrhizal fungus (M), humic acid (HA) and salicylic acid (SA) on total chlorophyll content of *Melissa officinalis* L cv. Citronella (P< 0.05)



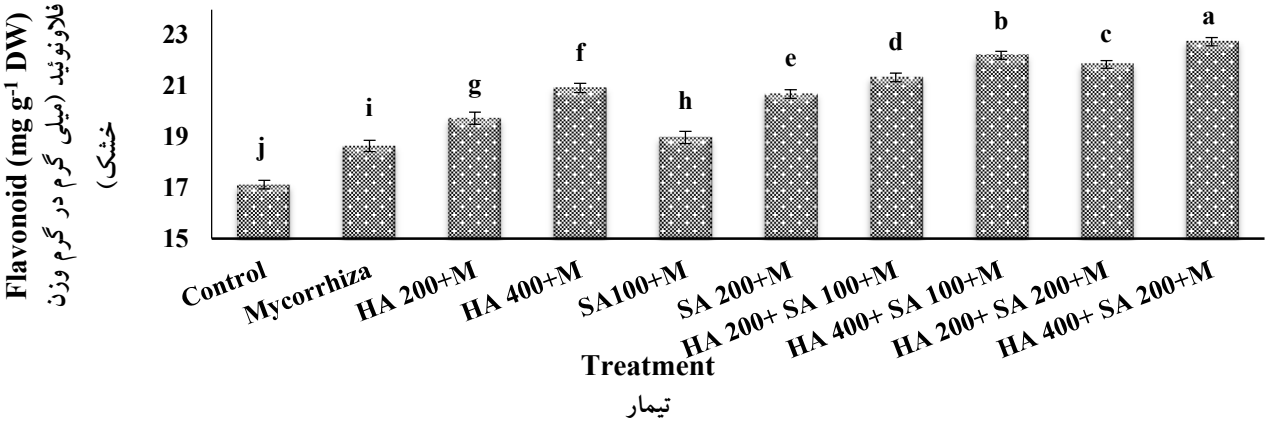
شکل ۲. اثر قارچ مایکوریزا (M)، اسید هیومیک (HA) و اسید سالیسیلیک (SA) بر محتوای فنل کل بادرنجبویه (cv Citronella *Melissa officinalis* L.)(P<۰/۰۵)

Fig. 2. Effect of mycorrhizal fungus (M), humic acid (HA) and salicylic acid (SA) on total phenol content of *Melissa officinalis* L. cv Citronella (P< 0.05)

پتاسیم: نتایج نشان داد، بیش‌ترین میزان پتاسیم با ۰/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشـــک، در تیمار M + 400 HA + 200 SA و کم‌ترین با ۰/۲۳ میلی‌گرم در شاهد به‌دست آمد (جدول ۲).

فسـفر: بررسی داده‌ها نشـان داد، بیش‌ترین میزان فسـفر با ۱/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشـک مربوط به تیمار M + 400 HA + 200 SA و کم‌ترین میزان فســفر با ۰/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک مربوط به شاهد است (جدول ۲).

عملکرد اسـانس: نتایج نشـان داد، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد اســانس با ۰/۳۲ و ۰/۲۳ درصــد به‌ترتیب مربوط به تیمار M + 400 HA + 200 SA و شاهد بود (شکل ۴).



شکل ۳. اثر قارچ مایکوریزا (M)، اسید هیومیک (HA) و اسید سالیسیلیک (SA) بر محتوای فلاونوئید بادرنجبویه (cv Citronella *Melissa officinalis* L. (P<۰/۰۵)

Fig. 3. Effect of mycorrhizal fungus (M), humic acid (HA) and salicylic acid (SA) on flavonoid content of *Melissa officinalis* L. cv Citronella (P< 0.05)

جدول ۲. اثر قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر جذب عناصر بادرنجبویه (*Melissa Officinalis* L. cv Citronella)

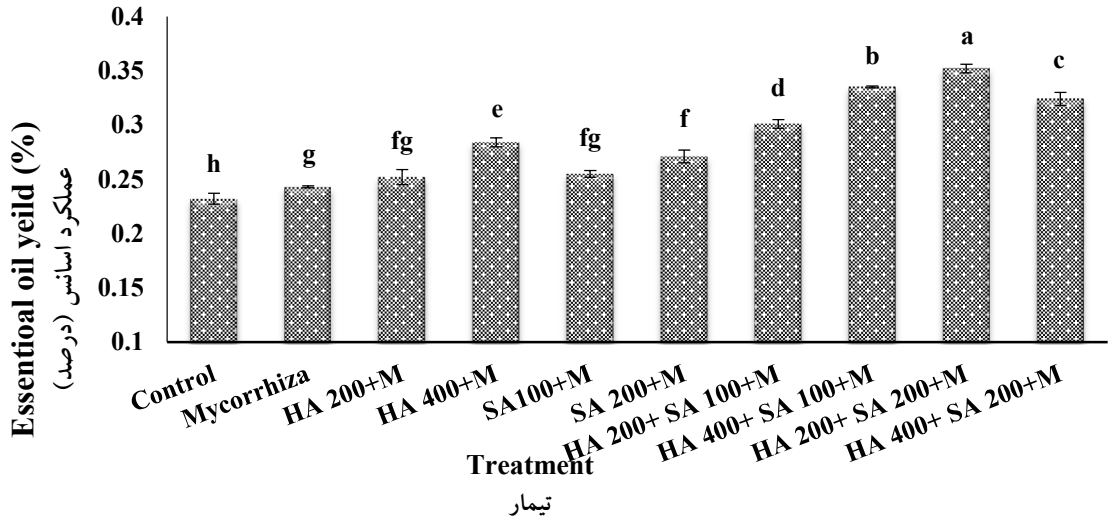
Table 2. Effect of mycorrhizal fungus (M), humic acid (HA) and salicylic acid (SA) on nutrient uptake of *Melissa officinalis* L. cv Citronella

Treatment تیمار	Nitrogen (mg g^{-1}) نیتروژن (میلی گرم در گرم)	Potassium (mg g^{-1}) پتاسیم (میلی گرم در گرم)	Phosphorus (mg g^{-1}) فسفر (میلی گرم در گرم)
Control شاهد	0.21^{h}	0.23^{i}	0.69^{lm}
M قارچ مایکوریزا	0.23^{g}	0.25^{h}	0.75^{jk}
M + HA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰	0.25^{f}	0.28^{f}	0.82^{hi}
M + HA400 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰	0.27^{d}	0.31^{e}	0.87^{ef}
M + SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	0.24^{f}	0.26^{g}	0.78^{j}
M + SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید سالیسیلیک ۲۰۰	0.25^{e}	0.28^{f}	0.81^{hi}
M + HA200+SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	0.28^{d}	0.32^{d}	0.93^{de}
M + HA400+SA100 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	0.30^{b}	0.34^{b}	1.04^{bc}
M + HA200+SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۲۰۰+ اسید سالیسیلیک ۱۰۰	0.29^{c}	0.33^{c}	0.96^{cd}
M + HA400+SA200 قارچ مایکوریزا+ اسید هیومیک ۴۰۰+ اسید سالیسیلیک ۲۰۰	0.32^{a}	0.36^{a}	1.09^{a}

Values marked by different letters are significantly different (P< 0.05).

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال P≤0.05 است.

نسخه پیش از انتشار



شکل ۴. اثر قارچ مایکوریزا (M)، اسید هیومیک (HA) و اسید سالیسیلیک (SA) بر عملکرد اسانس بادرنجبویه (cv Citronella *Melissa officinalis* L.)(P<۰/۰۵)

Fig. 4. Effect of mycorrhizal fungus (M), humic acid (HA) and salicylic acid (SA) on essential oil yield of *Melissa officinalis* L. cv Citronella (P< 0.05)

بحث

در این پژوهش همزیستی گیاه با قارچ میکوریزا رشد گیاه بادرنجبویه را بهبود بخشید ،زیرا قارچ مایکوریزا اثرات سوء ناشی از فقر عناصر غذایی را کاهش می‌دهد و رشد گیاه را از طریق جذب و انتقال عناصرغذایی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم افزایش می‌دهد که در نتیجه منجر به افزایش شاخص‌های رشدی در گیاه می‌شود (Franken, 2012). همچنین نتایج این آزمایش نشان داد، کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک وزن تر و خشک گیاه را افزایش داد، اسید هیومیک از طریق اثرات هورمونی و با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصرغذایی موجب افزایش رشد و در نتیجه وزن تر و خشک لندام هوایی گیاه می‌شود (Nardi et al., 2002) و اسید سالیسیلیک نیز از طریق تولید هورمون‌هایی چون ایندول استیک اسید و آبسزیک اسید و همچنین افزایش جذب یون‌ها و فتوسنتز نقش مثبتی در افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه دارد Karami Chame et al., (2016). Zolfaghari و همکاران (۲۰۱۳) نیز تأثیر مثبت قارچ مایکوریزا (*G.mosseae*) را بر وزن تر و خشک اندام هوایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گزارش نمودند و همچنین کاربرد اسید هیومیک با غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز به‌ترتیب در گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (Gorgini Shabankareh et al., 2017) و مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad) موجب افزایش وزن تر و خشک گیاه گردید (Sadeghian et al., 2013).

بررسی داده‌های پژوهش نشان داد، کاربرد قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک موجب افزایش وزن تر و خشک و حجم ریشه شد، قارچ‌های مایکوریزا جذب عناصر غذایی را افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش رشد و گسترش ریشه‌های جانبی می‌گردد و از این طریق به جذب آب و مواد معدنی توسط گیاه کمک می‌کند (Safari Motlagh et al., 2021). اسید هیومیک از طریق افزایش میکروارگانیسم‌های خاک، تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های ریشه، کاهش اسیدیته و بهبود چرخه عناصر غذایی نقش مثبتی در رشد ریشه دارد (García et al., 2012). همچنین اسید سالیسیلیک با کمک اکسین تقسیم سلولی را تنظیم می‌کند و با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و

بهبود فتوسنتز و جذب بیش‌تر عناصر غذایی، سبب بهبود رشد ریشه می‌شود (Popova et al., 2009). این آزمایش با نتایج Gholami و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) و Darvizheh و همکاران (۱۳۹۸) در گیاه سرخار گل (*Echinacea purpurea* L.) مطابقت دارد.

نتایج نشان داد، کاربرد قارچ مایکوریزا به همراه اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک محتوای کلروفیل کل را بهبود بخشید. همزیستی قارچ مایکوریزا با گیاه میزبان میزان هورمون‌های سیتوکنین و جیبرلین افزایش می‌یابد که بر محتوای کلروفیل مؤثر است. از طرفی، قارچ میکوریزا به جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کند و می‌تواند سنتز کلروفیل را افزایش دهد (Hashem et al., 2018). همچنین اسید هیومیک با قرار دادن آب و مواد غذایی بیش‌تر و انتقال مواد فتوسنتزی به برگ میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش دهد و کاربرد اسید سالیسیلیک نیز فعالیت آنزیم کلروفیل اکسیداز را کاهش داده و از این طریق سبب افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو می‌گردد در نتیجه میزان فتوسنتز کل را افزایش می‌دهد (Chamani et al., 2016). در گیاه بادرشبی نیز کاربرد اسید هیومیک با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان کلروفیل کل بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) را نسبت به شاهد افزایش داد (Samadimatin and Hani, 2017). همچنین Safari Kamal Abadi و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش نمودند کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک محتوای کلروفیل بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) را افزایش داده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، برهمکنش قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک تأثیر مثبتی بر میزان فنل کل و فلاونوئید بادرنجبویه نشان داد، با توجه به نقش قارچ مایکوریزا در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی مانند کربن و نیتروژن، به‌نظر می‌رسد که قارچ مایکوریزا با تأثیر مثبت بر مسیرهای متابولیکی اولیه گیاه به‌صورت غیرمستقیم بر تولید متابولیت‌های ثانویه مانند فنل و فلاونوئیدها تأثیرگذار است (Kheiri et al., 2020). همچنین بررسی‌ها نشان داد، ترکیبات فنولی مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها که مرتبط با مسیر شیکمیک هستند به وسیله مواد هیومیکی تحریک می‌شوند (Schiavon et al., 2010) و اسید سالیسیلیک نیز با بیان ژن‌های مربوط به آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در بیوسنتز فنیل پروپانوئید نقش دارند و القای این ژن موجب تجمع ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در گیاه می‌شود (Canellas et al., 2015). یافته‌های این آزمایش Mozaffari و همکاران (۲۰۱۷) پیرامون تأثیر اسید هیومیک بر میزان فنل و فلاونوئید گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.)، با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

بررسی داده‌ها نشان داد که برهمکنش قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک موجب افزایش جذب نیتروژن برگ گردید. قارچ‌های میکوریزی از طریق فعالسازی گلوتأمین سنتتاز، آرژیناز و اوره آز، غلظت نیتروژن را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهند (Ashraf, 2010). اسید هیومیک با تحریک جذب NO_3^- توسط افزایش بیان پروتئین حامل نیتروژن در سطح غشایی سلولی و همچنین تغییر در میزان کاتیون‌ها جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (Alhverdizadeh and Danaee, 2023). همچنین می‌توان اثر هورمونی شبه جیبرلین این ماده را نیز در جذب نیتروژن دخیل دانست، همچنین اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز در برگ جذب نیتروژن در گیاه را افزایش می‌دهد (Khaled and Fawy, 2011). پژوهش‌های Noroozisharaf و Kaviani (۲۰۱۸)، در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) همسو با نتایج این آزمایش می‌باشد.

دلیل افزایش جذب فسفر با کاربرد قارچ مایکوریزا می‌تواند به این دلیل باشد که هیف‌های قارچ‌های میکوریزا از طریق ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز موجب انحلال فسفر خاک می‌گردند و با توسعه منطقه تخلیه فسفر در اطراف ریشه گیاه و افزایش سرعت جذب فسفر، مقدار آن را افزایش می‌دهند (Tavasoli and Aliasgharzade, 2009). اسید هیومیک از طریق ترکیب و ایجاد کمپلکس با آنزیم فسفاتاز باعث افزایش جذب فسفر در گیاه می‌شود (Canellas et al., 2015). کاربرد اسید سالیسیلیک برون‌زا در گیاه موجب فعال شدن H+-ATPase های

نسخه پیش از انتشار

غشای پلاسمایی می‌شود و با فعال شدن آن‌ها جذب یون‌های معدنی تسریع می‌شود و تغذیه معدنی گیاه بهبود می‌یابد (Gunes et al., 2007). پژوهش‌های صورت گرفته توسط Aghaeifard و همکاران (۲۰۱۶) در گیاه توت فرنگی (Fragaria × Ananassa duch. cv. Camarosa) با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

در پژوهش حاضر، کاربرد قارچ مایکوریزا به همراه اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک میزان پتاسیم برگ را افزایش داد. قارچ‌های مایکوریزا قادرند سیلیکات را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند (Imtiaz Rashid et al., 2016). اسید هیومیک نفوذپذیری غشای زیستی برای الکترولیت‌ها را افزایش می‌دهد به همین دلیل موجب افزایش جذب پتاسیم در گیاه می‌شود (Ozfidan-Konakci et al., 2018). اسید سالیسیلیک نیز از طریق افزایش فعالیت سیستم‌ها آنتی‌اکسیدانی و غیرآنتی‌اکسیدانی گیاه، میزان سلامت غشاء سلولی را افزایش داده و باعث افزایش انتقال بیش‌تر پتاسیم به درون سیتوپلاسم از طریق انتقال‌دهنده‌های پتاسیم شده است (Zhu, 2003). نتایج Shafazadeh Shahrbabaki و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد، کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری میزان جذب پتاسیم را در گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.) افزایش داد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، برهمکنش قارچ مایکوریزا، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک میزان اسانس گیاه بادرنجبویه را افزایش داد. دلیل آن می‌تواند مربوط به همزیستی قارچ مایکوریزا و افزایش جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه نسبت داد که در نتیجه موجب افزایش اسانس گیاه می‌گردد (Kapoor et al., 2004). همچنین اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و فراهم نمودن جذب بیش‌تر فسفر و نیتروژن موجب افزایش رشد رویشی و عملکرد اسانس می‌شود (Gorgini et al., 2017)، اسید سالیسیلیک نیز به‌عنوان عامل انتقال‌دهنده سیگنال‌های دریافت تنش، سبب فعال شدن سیستم دفاعی گیاه و تحریک تولید اسانس می‌شود در نتیجه کاربرد اسید سالیسیلیک با ایجاد تنش کاذب تولید اسانس را افزایش می‌دهد (Malekian et al., 2014). مطابق با یافته‌های Sorkhi و همکاران (۲۰۱۸)، کاربرد اسید هیومیک در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris*) و Sadeghian و همکاران (۲۰۱۳)، کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاه مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad) موجب افزایش میزان اسانس گردید.

نتیجه‌گیری کلی

از نتایج این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که کاربرد قارچ مایکوریزا به همراه اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک موجب بهبود رشد رویشی، خصوصیات بیوشیمیایی و میزان جذب عناصر غذایی بادرنجبویه گردید. بنابراین تیمار قارچ مایکوریزا به همراه اسید هیومیک ۴۰۰ میلی گرم در هر گلدان و اسید سالیسیلیک ۲۰۰ میلی گرم در لیتر تیمار مؤثری در جهت بهبود رشد و ویژگی‌های دارویی گیاه بادرنجبویه می‌باشد.

سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت‌مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Abedi, T., Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech j Gen Plant Breed. https://doi.org/. 46(1), 27–34. https://doi.org/10.17221/67/2009-CJGPB.

2. Aghaeifard, F., Babalar, M., Fallahi, E., Ahmadi, A. 2016. Influence of humic acid and salicylic acid on yield, fruit

نسخه پیش از انتشار

quality, and leaf mineral elements of strawberry (*Fragaria* × *Ananassaduch*.) cv. Camarosa. J Plant Nutr. 39(13), 1821–1829. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1088023.
3. Alhverdizadeh, S., Danaee, E. 2023. Effect of Humic Acid and Vermicompost on Some Vegetative Indices and Proline Content of *Catharanthus roseous* under Low Water Stress. Env. Water Eng. 9(1), 141–152. https://doi.org/10.22034/EWE.2022.333951.1745.
4. Amanifar, S., Toghranegar, Z. 2020. The efficiency of arbuscular mycorrhiza for improving tolerance of *Valeriana officinalis* L. and enhancing valerenic acid accumulation under salinity stress. Ind Crop Prod. 147, 112234. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112234.
5. Ashraf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. Biotechnol Adv. 28, 169–183. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005.
6. Bettonia, M., Mogora, A., Paulettia, V., Goicoecheab, N. 2014.Growth and metabolism of onion seedlings as affected by the application of humic substances, mycorrhizal inoculation, and elevated CO_2. Sci Hortic. 180, 227–235. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.037
7. Canellas, LP., Olivares, F., Aguiar, NO., Jones, DL., Nebbioso, A., Mazzei, P., Piccolo, A. 2015. Review Humic and Fulvic Acids as Bio stimulants in Horticulture. Sci Horti. 196, 15–27. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013.
8. Chamani, E., Bonyadi, M., Ghanbari, A. 2016. Effects of Salicylic acid and Humic acid on Vegetative Indices of Periwinkle (*Catharanthus roseus* L.). *J. Hortic. Sci.* 29(4), 631–641. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.33521es. (In Persian with English abstract).
9. Danaee, E, Abdossi, V. 2016. Evaluation of the effect of plant growth substances on longevity of gerbera cut flowers cv. Sorbet. Iran. J. Plant Physiol. 6 (3), 1665–379. https://doi.org/10.30495/ijpp.2016.532434
10. Danaee, E, Abdossi, V. 2019. Phytochemical and morphophysiological responses in Basil (*Ocimum basilicum* L.) plant to application of polyamines. J. Med. Plant Res. 18 (69), 125–133. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2019.18.69.15.6 (In Persian with English abstract).
11. Darvizheh, H., Zahedi, M., Abayzadeh, B. 2019. The effect of foliar application of salicylic acid and spermine on the growth and root characteristics of *Echinacea purpurea* L. Plant Prod. Sci. 8(30), 225–242. https://doi.org/20.1001.1.23222727.1398.8.30.1.5 (In Persian with English abstract).
12. Franken, P. 2012. The plant strengthening root endophyte *Piriformos poraindica*: potential application and the biology behind. Appl Microbiol Biotechnol 96, 1455–1464. https://doi.org/10.1007/s00253-012-4506-1.
13. Garg, N., Bharti, A. 2018. Salicylic acid improves arbuscular mycorrhizal symbiosis, and chickpea growth and yield by modulating carbohydrate metabolism under salt stress. Mycorrhiza, 28(8), 727–746. https://doi.org/10.1007/s00572-018-0856-6.
14. García, AC., Santos, LA., Izquierdo, FG., Sperandio, M L., Castro, RN, Berbara, R. 2012.Vermicomposthumic acids as an ecological pathway to protect rice plants against oxidative stress. Ecol Eng. 47, 203–208. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.011.
15. Gholami, H., Raouf Farda, F., Jamal, M., khizab, S., Ghanic, A. 2018. Yield and physicochemical properties of inulin were obtained from Iranian chicory roots under vermicompost and humic acid treatments. Ind crop Prod. 123(1), 610–616. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.031.
16. Gorgini Shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F., Fakheri, B. A. 2017. Effects of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under different irrigation regim. Crop Sci. Rese. Arid Region. 1 (2): 166–176. https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.04 (In Persian with English abstract).
17. Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, EG., Cicek, N. 2007. Salicylic acid-induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. J Plant Physiol. 164, 728–736. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.12.009.
18. Hashem, A., Alqarawi, A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A., AbdulazizAldehaish, H., Egamberdieva, D., Fathi Abd Allah, E. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones, and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumi ssativus* L. Saudi J Biol Sci. 25(6), 1102–1114. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.009.
19. Hosseinzadeh Rostam Kalaei, M., Abdossi, V., Danaee, E. 2022. Evaluation of foliar application of selenium and flowering stages on selected properties of Iranian Borage as a medicinal plant. Sci. Rep. 12, 12568. https://doi.org/10.1038/s41598-022-16241-z.
20. Imtiaz Rashid, M., Hamid Mujawar, L., Shahzade, T., Almeelbi, T., Ismail, I., Oves, M. 2016. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. Microbiol Res. 183, 26–41. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007.
21. Jalilvand Shirkhanitabar, H., Tavakoli, A., Moradi, F., Shekari, F. 2020. Effect of salicylic acid foliar application on the morphological and biochemical traits of Stevia (*Stevia rebaudiana*). Plant Proc. Func. 9 (39), 245–256.https://doi.org/20.1001.1.23222727.1399.9.39.19.8 (In Persian with English abstract).
22. Jurgiel-Małecka, G., Gibczyńska, M., Siwek, H., Buchwał, A. 2017. Comparison of fruits chemical composition of selected cultivars wild strawberry (*Fragaria vesca* L.). Eur J Hortic Sci. 82(4), 204–210.

https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.4.6.
23. Kakaei, H., Amirinejad, A.A., Ghobadi, M. 2023. Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Growth Characteristics in Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Under Lead Stress Conditions. J. Soil. Plant Interac. 14(3): 73–85. https://doi.org/10.47176/jspi.14.3.20162 (In Persian with English abstract).
24. Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, KG. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* Mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with p-fertilizer. Bioresour. Technol. 93, 307–311. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.028.
25. Karami Chame, S., Khalil-Tahmasbi, B., ShahMahmoodi, P., Abdollahi, A., Fathi, A., Seyed Mousavi, SJ., Hossein Abad, M., Ghoreishi, S. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid, and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia. 14(2), 234–238. https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.14.2.234238.
26. Khaled, H., Fawy, H. 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil Water Res, 6(1) 21–29. https://doi.org/10.17221/4/2010-SWR
27. Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Baradaran Firoozabadi, M., Gholami, A. 2019. Study the physiological and biochemical properties of peppermint (*Mentha pipertis* L.) in response to salt stress and coexistence with *Piriformospora indica* fungi. J. Plant Prod. 26(1), 1–19. https://doi.org/10.22069/jopp.2018.11244.2041.
28. Kheiri, Z., Moghaddam, M., Moradi, M. 2020. Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower. *Horticultural Plants Nutrition.* 3(1), 37–50. https://doi.org/10.22070/HPN.2020.5007.1061.
29. Mafakheri, S., Asghari, B. 2018. Effect of Seaweed Extract, Humic Acid and Chemical Fertilizers on Morphological, Physiological and Biochemical Characteristics of *Trigonellafoenum-graecum* L. J Agr Sci Tech. 20, 1505–1516. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2018.20.7.2.6.
30. Malekian, M., Hemmati, K., Ghasemnezhad, A., Barzali, M. 2014. Effect of salicylic acid on quantitative and qualitative traits of German chamomile ecotypes. J. Crop Improv. 16(1): 185–196. https://doi.org/10.22059/jci.2014.51951. (In Persian with English abstract).
31. Mandal, Sh., Evelin, H., Giri, B., Singh, V., Kapoor, R. 2013. Arbuscular mycorrhiza enhances the production of stevioside and Rebaudioside-A in *Stevia rebaudiana* via nutritional and non-nutritional mechanisms. Appl Soil Ecol. 72, 187–194. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.07.003.
32. Mirzaei, M.S., Siadat, S. A., pakdaman sardrod, B., Moradi Telavat, M. 2021. Effect of Pre formormospora indica and Foliar Application of Salicylic Acid on morphological characteristics and antioxidant enzymes of thyme irrigation cut-off stress. *J. Crop Improv.* 23(4), 853–839. https://doi.org/10.22059/jci.2021.309204.2443 (In Persian with English abstract).
33. Mozaffari, S., Khorasaninejad, S., gorgini shabankareh, H. 2017. The effects of irrigation regimes and humic acid on some of physiological and biochemical traits of Common Purslane in greenhouse. J. Crop Improv. 19(2), 401–416. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60423 (In Persian with English abstract).
34. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biol Biochem. 34, 1527–1536. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8.
35. Neisi, A., Parsaeian, M., Gholami, A., baradaran Firoozabadi, M., Abbasdokht, H. 2019. Effects of tillage systems, salicylic acid and mycorrhizal fungi on photosynthetic pigments and some quality characteristics of maize. *Iran. J. Field Crops Res.* 50(1), 85–96. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.239089.654362 (In Persian with English abstract).
36. Nejati Sini, H., Barzegar, R., Soodaee Mashaee, S., Ghasemi Ghahsare, M. 2023. Mycorrhizal Fungi and Bacillus sp. Along with Organic Fertilizer on The Growth and Nutrient Uptake of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.). J. Soil. Plant Interac. 13(4): 89–104. https://doi.org/10.47176/jspi.13.4.20821 (In Persian with English abstract).
37. Noroozisharaf, A., Kaviani, M. 2018. Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil, and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. Physiol Mol Biol Plants. 24(3), 423–431. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0510-y.
38. Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M., Kucukoduk, M. 2018. The humic acid-induced changes in the water status, chlorophyll fluorescence, and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. Ecotoxicol. Environ. Saf. 155: 66–75. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.071.
39. Popova, LP., Maslenkova, LT., Yordanova, RY., Ivanova, AP., Krantev, AP., Szalai, G, Janda, T. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Bulgar J Plant Physiol. 47: 224–231. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.11.007.
40. Sadeghian, F., Hadian, J., Hadavi, M., Mohamadi, A., Ghorbanpour, M., Ghafarzadegan, R. 2013. Effects of Exogenous Salicylic Acid Application on Growth, Metabolic Activities and Essential Oil Composition of *Satureja khuzistanica* Jamzad. J Med Plants. 12 (47), 70–82. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2013.12.47.8.3 (In Persian with English abstract).
41. Safari Kamal Abadi, N., Mohebalipour, N., Oraei, M., Nourafcan, H., Asadi, A. (2023). Effect of Foliar Application

of Chitosan and Salicylic Acid on Morphological Traits and Essential Oil Quality of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). J. Crop Ecophysiol. 64, 475–492. https://doi.org/10.30495/JCEP.2021.1927610.1791 (In Persian with English abstract).
42. Safari Motlagh, M. R., Kaviani, B., Ansari, M. H. 2021. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus species on some growth and biochemical traits and nutrients uptake in the rooting of cutting of olive cultivars. *J. Plant Rese.* 34(2), 481–493. (In Persian with English abstract).
43. Salamon, I., Kryvtsova, M. V., Trush, K. I., Fandalyuk, A. I and Spivak, M. J. 2019. Agro-ecological cultivation, secondary metabolite characteristics and microbiological tests of lemon balm (*Melissa officinalis*) – the variety Citronella. Regul. Mech. Biosyst. 10(2), 265–269. https://doi.org/10.15421/021940.
44. Schiavon, M., Pizzeghello. D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O., Nardi, S. 2010. High molecular size humic substances enhance phenyl propanoid metabolism in maize (*zea mays* L.). J Chemic. Ecol. 36, 662–669. https://doi.org/10.1007/s10886-010-9790-6.
45. Shabani Fard, R., Aghaee Hanjani, E., Danaee E. 2024. Effects of Polyamines on Morphophysiological Traits of *Calendula officinalis* L. under Salinity Stress Caused by Potassium Chloride and Sodium Chloride Salts. IJHST. 11(2), 189–200. https://doi.org/10.22059/ijhst.2023.357306.630.
46. Shafazadeh Shahrbabaki, M., HosseiniFarhi, M., Mohammadinia, Gh. 2020. Improving salinity tolerance and nutrient uptake in bell peppers using salicylic acid and humic acid. Int J Hortic Sci. 34(1), 91–106. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i1.80187.
47. Sorkhi, F. 2020. Effect of irrigation intervals and humic acid on physiological and biochemical characteristic on medicinal plant of *Thymus vulgaris*. Iran. J. Plant Physiol. 10(4), 3367–3378. https://doi.org/10.30495/ijpp.2020.1890199.1191.
48. Soroori, S., Danaee, E. 2021**.** Hemmati Kh, Ladan Moghadam A. The metabolic response and enzymatic activity of *Calendula officinalis* L. to foliar application of spermidine, citric acid and proline under drought stress and in a postharvest condition. J Agri Sci Technol. 23 (6): 1339–1353. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2021.23.6.6.9.
49. Świąder, K., Startek, K., Wijaya, Ch. 2019. The therapeutic properties of Lemon balm (*Melissa officinalis* L.): Reviewing novel findings and medical indications. J Appl Bot Food Qual. 92, 327–335. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2019.092.044.
50. Tavasoli, AR., Aliasgharzade, N. 2009. Effect of *arbuscular mycorrhizal* on nutrient uptake and onion yield in a saline soil at field conditions. Water and Soil 35, 158–162. (In Persian with English abstract).
51. 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. 77, 295–306. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.003.
52. Yazdan panah gohari, A., Ghanbari Jahromi, M. and Zarrin nia, V. 2021. Effect of some mycorrhizal fungi species on quantitative and qualitative properties of two landraces of Chicory in greenhouse conditions. J. Crop Improv. 24 (2), 527–544. https://doi.org/10.22059/jci.2021.314730.2484.(In Persian with English abstract).
53. You, ZJ., Xing, Y., Guan, W., Ma, HP., Liu, ZE. 2015. Evaluation of the soil ecological measure for overcoming replant disorder of strawberry. Euro J Hort Sci. 80(3), 128–133. https://doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.3.5.
54. Zhu, J.K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Cur Opinion Plant Biol. 6, 441–445. https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00085-2.
55. Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., Rejali, F. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of *Ocimum basilicum* L., Iran J Plant Physiol. 3(2), 643–650. https://doi.org/10.30495/ijpp.2013.540674.

نسخه پیش از انتشار