Research Article

Agricultural Engineering., 46(2) (2023) 195-214 ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/AGEN.2023.44719.1681 ISSN (E): 2588-5944

Improvement of *Zamioculcas zamiifolia* vegetative propagation by arbuscular mycorrhiza biofertilizer and biochar application

M. Taghizadeh[1,*], Z. Azimi Senejani[2] and M. Solgi[3]

1, 3. Associate Professor, Department of Horticultural science, College of Agricultural and natural resources, Arak University, Arak, Iran.
2. Former M.Sc., Department of Horticultural science, College of Agricultural and natural resources, Arak University, Arak, Iran

Received: 4 September 2023 Accepted: 29 November 2023 *Corresponding Author: m-taghizadeh@araku.ac.ir

Abstract

Introduction: One of the important proceedings in propagation process of plants is improving the speed of rooting and shortening this propagation period. Today, use of natural materials as an alternative for chemical fertilizer is concerned with successful rooting of cuttings in ornamental plants that in some cases have perceived well and effective influence of these biofertilizer compared with chemicals. *Zamioculcas zamiifolia* is a valuable ornamental indoor plant. The production of this plant in short time is commercially important. An important stage in the process of accelerating this plant production is to improve the rooting and shortening its growth stage. Therefore, the simultaneous effect of mycorrhizal biofertilizer and biochar on *Zamioculcas zamiifolia* propagation was studied in this research.

Materials and Methods: This study was performed in the greenhouse in the faculty of agriculture and environmental science of Arak University with controlled conditions of 25 ◦C temperature, 70% humidity and 10,000 lux of light. Treatments were included biochar 5% + arbuscular mycorrhizal biofertilizer 6%, biochar 10% + arbuscular mycorrhizal biofertilizer 6%, biochar 5% + arbuscular mycorrhizal biofertilizer 12%, and biochar 10% + arbuscular mycorrhizal biofertilizer 12%, and control (without biochar and arbuscular mycorrhizal biofertilizer). The arbuscular mycorrhizal biofertilizer was mixture of *Clarodeoglomus etunicatum*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae*. The experiment was performed as a completely randomized design (CRD) at three replicates. The pots were containing cocopeat + perlite (1:1) and different treatments of arbuscular mycorrhiza biofertilizer and biochar. Morphological and physiological traits such as off-shoot number, Leafy cuttings color, Leaf width, Leaf length, Shoot length, root number, root length, rhizome diameter, chlorophyll a, b and total chlorophyll content, fresh weight (FW) of roots and shoots, the dry weight (DW) of roots and shoots, Saturation weight, relative water content (RWC), biomass, electrolyte leakage and arbuscular mycorrhizal root colonization were measured after 9 months.

Results and Discussion: Biochar and arbuscular mycorrhiza biofertilizer application in propagation medium increased off-shoot growth of *Zamioculcas zamiifolia*. The results showed that the highest roots number was obtained in the treatments of arbuscular mycorrhiza biofertilizer 12% + biochar 10% which was followed by arbuscular mycorrhiza biofertilizer 6% + biochar 5%.

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The maximum root length was observed by arbuscular mycorrhiza biofertilizer 12% + biochar 5% treatment. The root colonization had a positive correlation with the number of off-shoot, leaf size, shoot FW and leaf chlorophyll content. The application of biochar 10% + arbuscular mycorrhiza biofertilizer 6% treatment caused an increase in the height of the shoot about 3.3 times more than the control. The highest rhizome diameter was observed in biochar 10% + arbuscular mycorrhiza biofertilizer 6% treatment. The maximum off-shoot number was measured in the treatment of biochar 10% + arbuscular mycorrhizal biofertilizer 6% treatment which was 1.8 times more than control. No signs of colonization were observed in the control, but the roots colonization in the arbuscular mycorrhiza biofertilization treatment 12% was 1.6 times more that in the arbuscular mycorrhiza biofertilizer 6%. Increasing the amount of biochar and arbuscular mycorrhiza application in the propagation medium enhanced arbuscular mycorrhiza roots colonization of *Zamioculcas zamiifolia*. A significant positive correlation was observed between the number of off-shoot and the total biomass (r=0.95). A high positive correlation was observed between the fresh weight of shoot and the saturated weight (r=0.95). There was a significant positive correlation between saturated weight with total chlorophyll (r=0.97) and total biomass (r=0.96). The relationship between total chlorophyll and biomass was a significant positive (r=0.95). There was a significant positive correlation between the root colonization and chlorophyll a (r=0.83). A significant negative correlation was detected between dry weight of shoot and dry weight of root (r=0.94) and dry weight of root with relative water content (r=0.95).
Conclusion: Generally, in the most of studied traits, the use of biochar and arbuscular mycorrhiza biofertilizer in the culture medium improved the off-shoot growth and rooting characteristics of *Zamioculcas zamiifolia* compared to the control. Shortening the propagation period of this slow growth and luxury plant is significant aspects in the production of this ornamental plant that reduce production costs and make the product more cost-effective. The use of biochar 10% + arbuscular mycorrhiza biofertilizer 6% in culture medium is recommended to improve the quantitative and qualitative properties through the propagation of this ornamental houseplant.

Key words: Off-shoot, biofertilization, symbiosis, ornamental plant, rooting

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۶ شماره۲، تابستان ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

بهبود ازدیاد رویشی زامیفولیا (*Zamioculcas zamiifolia*) با استفاده از کود زیستی میکوریزا آربوسکولار و بیوچار

مینا تقی‌زاده[1*]، زینب عظیمی سنجانی[2] و موسی سلگی[3]

۱ و ۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشدگروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۳

پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۹/۰۸

کلمات کلیدی:

پاجوش،

کود زیستی،

ریشه‌زایی،

همزیستی،

گیاه زینتی

* عهده دار مکاتبات

Email: m-taghizadeh@araku.ac.ir

چکیده

زامیفولیا (*Zamioculcas zamiifolia*) جزو گیاهان زینتی آپارتمانی ارزشمند است و تولید آن در مدت زمان کم‌تر و با کیفیت بهتر، از نظر تجاری دارای اهمیت می‌باشد. در این پژوهش به بررسی تأثیر همزمان کاربرد کود زیستی آربوسکولار میکوریزا و بیوچار بر ازدیاد زامیفولیا پرداخته شد. تیمارها شامل بیوچار ۵ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ٦ درصد، بیوچار ۱۰ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ٦ درصد، بیوچار ۵ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ۱۲ درصد، و بیوچار ۵ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ۱۲درصد و شاهد جهت ازدیاد قلمه برگی زامیفولیا بود که به‌صورت طرح کاملا تصادفی اجرا شد. پس از ۹ ماه، شاخص‌های تعداد پاجوش، طول و تعداد ریشه، قطر ریزوم، میزان کلروفیل، درصد کلنیزاسیون و سایر صفات اندازه‌گیری شد. کاربرد بیوچار ۱۰ درصد به‌همراه کود زیستی میکوریزا آربوسکولار ٦ درصد سبب افزایش حدود ۳/۳ برابر ارتفاع اندام هوایی نسبت به شاهد شد. بیشترین قطر ریزوم در بیوچار ۱۰ درصد به‌همراه کود زیستی میکوریزا آربوسکولار ٦ درصد مشاهده شد. بیشترین تعداد شاخه در تیمار بیوچار ۱۰ درصد به‌همراه کود زیستی میکوریزا آربوسکولار ٦ درصد حاصل شد که ۱/۸ بیشتر از شاهد بود. کلونیزاسیون در میکوریزا آربوسکولار ۱۲ درصد، ۱/٦ برابر میکوریزا آربوسکولار ٦ درصد بود. کلنیزاسیون ریشه با میزان کلروفیل برگ همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. رابطه منفی معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی با وزن خشک اندام زیرزمینی و محتوای آب نسبی مشاهده شد. نتایج این آزمایش نشان داد مصرف بیوچار و مایه تلقیح میکوریزا در بستر کشت سبب افزایش رشد گیاهچه‌های تکثیر شده زامیفولیا از طریق قلمه برگی شد.

مقدمه

امروزه صنعت گل و گیاهان زینتی در جهان رشد چشم‌گیری یافته است (۲۵). برخلاف آنچه که برای گل‌های شاخه‌بریده مشکلات حفظ کیفیت پس از برداشت به‌اندازه کافی پژوهش شده است، ولی در مورد گیاهان گلدانی، دانش و پژوهش‌های کم‌تری انجام شده است. با توجه به اهمیت گیاهان زینتی، مدیریت روش‌های ازدیادی و انتخاب بهترین روش ازدیاد و تسریع ریشه‌زایی آنان نقش مهمی در افزایش تولید و کاهش هزینه دارد (۳۰). گیاهان به روش‌های مختلفی ازدیاد می‌یابند اما ازدیاد از روش قلمه از بهترین روش‌های غیرجنسی برای بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌باشد (۲۳). در این روش گیاهان تولید شده یکنواختی بیشتری دارند و شبیه گیاه مادری هستند. گیاهان مختلف به‌دلیل ساختار و فیزیولوژی خاص خود، ریشه‌زایی متفاوتی دارند که تحت تأثیر عوامل مختلف تغییر می‌یابند. عوامل مهمی مانند زمان قلمه‌گیری، شرایط فیزیولوژیکی و محیطی گیاه مادری، هورمون‌ها و بسیاری از عوامل دیگر بر ریشه‌زایی گیاهان اثر گذارند (۱۹).

یک ایده جدید برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی مدت کربن در خاک استفاده از بیوچار[1] است. بیوچار محصول جامد غنی از کربن است که از گرماکافت زیست توده‌هایی مانند چوب، کود دامی یا برگ در یک محفظه دربسته، در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود حاصل می‌شود (۱۷). از اثرات سودمند کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی به افزایش ماده آلی، بهبود نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با خاک و کاهش pH چرخه مواد غذایی خاک از طریق تعدیل شستشوی عناصر غذایی می‌توان اشاره کرد. اثرات بیوچار بر خصوصیات شیمیایی خاک شامل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش راندمان مصرف کودهای شیمیایی، افزایش میزان مواد آلی خاک، اصلاح خاک‌های pH اسیدی، کاهش شستشوی عناصرغذایی، کاهش خروج گازهای متان و نیتروزکسید، جذب سطحی هورمون‌ها و فلزات سنگین می‌باشد (۲۲، ۳۴ و ۳۸). کودهای بیولوژیکی در برگیرنده گروهی از باکتری‌ها یا قارچ‌ها هستند که توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و افزایش قابلیت جذب فسفات موجود در خاک توسط گیاه را دارند (۳۵ و ۴۵). همزیستی میکوریزی نوعی رابطه همزیستی بین برخی قارچ‌ها با ریشه گیاهان است که اکثراً هر دو طرف سود می‌برند. در بین انواع مختلف میکوریزا، قارچ‌های میکوریزا آربسکولار(AM)[2]، رایج‌ترین نوع رابطه‌ی میکوریزایی را با حدود ۸۰ درصد گیاهان تشکیل می‌دهند (۱۱،۱۵ و ۳۵) گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزایی می‌باشند، به‌دلیل اینکه عناصرغذایی و آب بیشتری از خاک جذب می‌کنند، رشد و عملکرد بهتر و مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زایی که ریشه گیاه را مورد حمله قرار می‌دهند) و غیر زنده (کمبود یا مسمومیت مواد غذایی، خشکی، شوری و عناصر سنگین) از خود نشان می‌دهند (۴۸). این قارچ‌ها می‌توانند مواد آلی مورد نیاز خود را از گیاه دریافت کرده و در مقابل در جذب غذایی عناصر بی‌تحرک مانند فسفر، مس، روی، منگنز، آهن و غیره از خاک به گیاه کمک کنند (۴۲). این قارچ‌ها دارای اثر هم‌افزایی[3] با سایر ریزجانداران به‌ویژه ریزوباکترهای محرک رشد گیاه نیز می‌باشند (۳۶ و۴۶). ریشه‌های خارجی میکوریزا آربسکولار سبب بهبود ساختمان خاک با اتصال ذرات خاک به یکدیگر می‌شود و از پراکندگی ذرات خاک جلوگیری می‌کند. همچنین تعدادی از آنان نیز با تولید ترکیبات پلی‌ساکاریدی، نفوذ و انتشار در بین ذرات خاک، تهویه خاک را افزایش داده و از فرسایش آن جلوگیری می‌کنند و به‌طور کلی کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند (۷). تحقیقی جهت بررسی تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا بر عملکرد دو گونه سوسن چلچراغ و سوسن شرقی انجام شد. نتایج نشان داد که ریشه سوسن چلچراغ و سوسن شرقی با قارچ مذکور در حد قابل قبولی همزیستی

1- Biochar

2- Arbuscular mycorrhiza
3- Synergist

ایجاد نموده است. بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سوسن شرقی تلقیح شده با قارچ *Clarodeoglomus etunicatum* و کم‌ترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سوسن چلچراغ تلقیح شده با قارچ *Glomus Clorum* و شاهد (بدون تلقیح) مشاهده شد. بیش‌ترین ارتفاع بوته در سوسن شرقی تلقیح‌شده با قارچ *Clarodeoglomus etunicatum* و کم‌ترین ارتفاع در شاهد مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان جذب فسفر، آهن و روی در سوسن چلچراغ و سوسن شرقی تلقیح‌شده با قارچ *Clarodeoglomus etunicatum* گزارش شد (۵). تأثیر همزیستی مخلوطی از دو گونه قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae* ، *Rhizophagus irregularis*) و بسترهای مختلف کشت (پرلایت، ۵۰ درصد پرلایت: ۵۰ درصد کوکوپیت و ماسه) بر ریشه‌زایی قلمه شفلرا (*Schefflera arboricola*) انجام شد. نتایج نشان داد بستر پرلایت تلقیح-شده با قارچ *Funneliformis mosseae* اثرات تحریکی روی فرآیند ریشه‌زایی شفلرا نشان داد (۱۰). نتایج پژوهش اثر میکوریزا روی پنج رقم گل رز مینیاتوری نشان داد که پس از گذشت چهار هفته تلقیح قارچ با بستر کشت، افزایش ریشه‌زایی و کیفیت ریشه‌های تولید شده در این گیاه مشاهده شد (۴۳). اثر چهار نوع قارچ میکوریزا و سطوح فسفر در گل‌های شاخه بریده لیزیانتوس تحت شرایط گلخانه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد گیاهان تلقیح شده وضعیت تغذیه بهتر و رشد بیش‌تری در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده داشتند و شاخص‌های زینتی آنها بهبود یافت. میکوریزایی‌شدن به‌طور قابل توجهی زمان لازم تا گل‌دهی لیزیانتوس را کاهش داد. مخلوط *Rhizophagus irregularis* + *Funneliformis mosseae* در لیزیانتوس و میزان فسفر ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بهترین عملکرد را داشت (۳۱). در پژوهشی به‌منظور اثر بیوچار بر *Loxora Coccinea* و *Ficus pumila* و تیمارهای مخلوط خاک و بیوچار (۲ : ۱)، خاک تنها و مخلوط خاک سطحی و بیوچار (۱ : ۲) مشخص شد مخلوط خاک و بیوچار (۲ : ۱) بیش‌ترین تعداد برگ و قلمه های ریشه‌دار در طی کم‌تر از دو هفته در هر دو گیاه را داشت و بیوچار تنها برای تکثیر فیکوس توصیه شد (۳). عرب و همکاران[1] (۴) در طی پژوهشی به بررسی تاثیر قارچ‌های همزیست میکوریزا و کود بیوچار بر صفات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی دو رقم Dolce vita و Anjelina گل رز شاخه‌بریده در سیستم کشت هیدروپونیک پرداختند. نتایج به-دست آمده نشان داد، کاربرد میکوریزا و ۲۰ گرم بیوچار در بهبود صفات کمی و کیفی این گل شاخه بریده موثر بود. ولی‌زاده قلعه‌بیگ و همکاران[2] (۴۷) سه سطح بیوچار حاصل از پسماند گل رُز شاخه بریده را بر رشد کاهو بررسی کردند و بیش‌ترین مقدار صفات سطح برگ، وزن تازه و خشک اندام هوایی و حجم ریشه در پنج گرم در کیلوگرم بیوچار گزارش کردند. در پژوهشی دیگر تأثیر بیوچار، اسید - هیومیک و سطح آبیاری بر گل آهار (*Zinnia elegans* L.) بررسی شد. استفاده از بیوچار و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل a و b، کل نیتروژن و فسفر تأثیر افزایشی داشت و استفاده از بیوچار برای کمبود عناصر غذایی، فسفر و نیتروژن توصیه گردید (۲۹). گیاه زامیفولیا (*Zamioculcas zamiifolia*) متعلق به خانواده شیپوری (Araceae)، گیاهی تک‌لپه‌ای، علفی، چندساله با ریزوم یا همان ساقه‌های زیرزمینی می‌باشد (۲۰۸ و ۲۴). گیاه زینتی زامیفولیا از جمله گیاهان گلدانی نسبتاً جدید در جهان محسوب می‌شود. سرعت رشد این گیاه در بسترهای کشت متداول، کم است و این مساله محدودیت‌هایی در تکثیر این گونه گیاهی ایجاد کرده است (۸ و۴۴). تکثیر غیرجنسی این گیاه از طریق تقسیم ریزوم و قلمه برگچه است. در انتهای قلمه‌ها ریزوم کوچکی تشکیل می‌شود (این فرآیند یک ماه زمان نیاز دارد)، سپس روی ریزوم تازه تشکیل‌شده، ریشه‌های نابجا ظاهر می‌شوند و در نهایت گیاه وارد مرحله تولید شاخساره می‌گردد (۸ و ۱۴). تکثیر و تولید گیاه در مقیاس بزرگ‌تر و سرعت رشد کند سبب قیمت بسیار گران آن شده است (۳۷). امروزه

1- Arab *et al.*
2- Valizadeh Ghale Beig *et al.*

پرورش و تکثیر گیاهان زینتی به‌ویژه گیاهانی که تکثیر آنها به‌سختی صورت می‌گیرد و کند رشد هستند از اهمیت زیادی برخوردار است. این تحقیق به منظور ارائه راه‌کاری برای کوتاه‌شدن دوره ازدیاد و بهبود ریشه‌زایی این گیاه انجام گرفت؛ بدین منظور به بررسی تأثیر همزمان کاربرد کود زیستی قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا و بیوچارباگاس نیشکر بر ازدیاد زامیفولیا پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش گیاه زامیفولیا (*Zamioculcas Zamifolia*) رقم سبز از یک گلخانه تجاری در اصفهان خریداری گردید. قارچ میکوریزای مورد استفاده در این آزمایش از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان که به‌صورت کود جامد تجاری به نام "مایکوروت" (حداقل ۱۰۰ اندام فعال در گرم زادمایه قارچ) تهیه شد. مایه تلقیح شامل اسپور، ریشه قارچ و قطعات ریشه کلونیزه با خاک بستر قلمه در زمان کاشت مخلوط شد. در هر گرم از مایکوروت حداقل صد اندام فعال از سویه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار *Clarodeoglomus etunicatum*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* وجود داشت. همچنین بیوچار باگاس نیشکر از شرکت نوآوران زیست‌بنیان آویسا، واقع در شهرستان اهواز تهیه شد. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیوچار مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است. این آزمایش درون گلدان‌های پلاستیکی با دهانه ۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که در هر گلدان دو برگچه کشت شد. تیمارهای این آزمایش شامل بیوچار در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد و میکوریزا آربسکولار در دو سطح ۶ و ۱۲ درصد بود. در این آزمایش جهت مقایسه میزان کلنیزاسیون قارچ و سایر صفات، گلدان‌هایی دارای بستر کشت کوکوپیت - پرلیت (بدون بیوچار و میکوریز) قرار داده شد و قلمه‌های برگچه به روش ذکر شده در آن‌ها کشت شدند (شاهد). پس از آماده کردن بستری از کوکوپیت و پرلیت به نسبت حجمی مساوی (دارای $EC=0.5\ dS\ m^{-1}$ و $pH=6$)، تیمارهای ذکر شده به بستر اضافه و برگچه‌های میانی ساقه از قسمت دمبرگ توسط کاتر استریل قطع و در بستر کشت شدند. گلدان‌ها در گلخانه با شرایط کنترل‌شده دارای دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۷۰ درصد و ۱۰ هزار لوکس نور نگهداری شدند. گلدان‌ها به‌صورت یک روز درمیان بازبینی و در صورت خشک بودن خاک سطحی به‌صورت دستی آبیاری شدند و حالت ظاهری برگچه‌ها و زنده‌مانی آن‌ها بررسی می‌شد. کوددهی توسط کود N-P-K (۲۰-۲۰-۲۰) یک ماه پس از کشت آغاز و هر ماه تکرار شد. زمان اندازه‌گیری صفات مورفوفیزیولوژیکی ۹ ماه پس از کشت با برداشت گیاهان انجام شد. فاصله زمانی کشت تا پایان آزمایش از اوایل اسفند تا اوایل آبان بود. صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از جمله تعداد ریشه، طول متوسط ریشه، طول بلندترین ریشه، قطر ریزوم، تعداد پاجوش، طول ساقه، تعداد برگ، طول و عرض برگ، رنگ برگچه مادری، وزن تر اندام زیرزمینی و هوایی، وزن خشک اندام زیرزمینی و هوایی، وزن اشباع، درصد کلنیزاسیون ریشه‌های گیاه توسط قارچ‌های میکوریزا (۱۸، ۲۱ و۲۷)، محتوای نسبی آب برگ (۱۲)، نشت یونی (۳۰)، محتوای رنگیزه کلروفیل (۶) و درصد زیست‌توده کل (۳۰) اندازه‌گیری و ثبت شدند. جهت بررسی وضعیت قلمه برگی، برگچه‌های مادری بر اساس رنگ به ۴ گروه تقسیم شدند که کد ۱ به برگچه‌های کاملا سبز و کد ۷ به برگچه‌های کاملا قهوه‌ای و خشک شده اختصاص داده شد (۸). جهت اندازه‌گیری کلروفیل ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از هر تیمار به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد درون هاون چینی سائیده شد. عصاره حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. سپس محلول رویی در دستگاه اسپکتروفتومتر در سه طول موج ۶۶۳ ، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر قرائت گردید و با استفاده از معادله مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل محاسبه شد. پایداری غشای سلولی با استفاده از اندازه‌گیری نشت یونی

از برگچه‌های حاصل از پاجوش ارزیابی شد. در حدود ۰/۱ بافت برگی گرم در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی اولیه محلول اندازه‌گیری شد. پس از آن لوله‌های آزمایش دارای نمونه به‌مدت ۲۰ دقیقه حمام آبگرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و پس از سرد شدن در دمای اتاق دوباره هدایت الکتریکی محلول اندازه-گیری شد. میزان نشت یونی به‌صورت درصد از تقسیم هدایت الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته، نمونه‌هایی تهیه شد و سپس برگ‌ها درون آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم نگه‌داری شدند. پس از آن نمونه درون دستمال کاغذی به‌سرعت خشک شده و وزن اشباع آن اندازه گیری شد. نمونه‌ها در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به-مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه گیری شد و میزان محتوای نسبی آب برگ از طریق معادله محاسبه شد. اندازه‌گیری طول بخش ریزوم و ریشه به این صورت بود که هر برگچه به‌صورت جداگانه از بستر کشت بیرون آورده شد و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه و بدون این‌که آسیبی به ریشه وارد شود توسط خط-کش میلی‌متری طول ریشه و قطر ریزوم توسط کولیس اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام‌ها بلافاصله پس از نمونه‌برداری، گیاهچه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند و پس از جداسازی ساقه از ریزوم، وزن تر با استفاده از ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۱) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه اندام‌ها داخل پاکت‌های کاغذی به‌صورت مجزا قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند. در نهایت نمونه‌های خشک شده از آون بیرون آورده شده و وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین درصد کلنیزاسیون، ابتدا ریشه‌های نمونه‌برداری شده با آب کاملاً شسته شدند، به‌طوری‌که تمامی خاک و باقیمانده گیاهی از ریشه‌ها حذف شد. بعد از نمونه‌برداری از ریشه‌های شسته شده، ریشه‌ها به‌داخل ظروف شیشه‌ای شفاف به حجم ۵۰ میلی‌لیتر منتقل شدند. سپس محلول KOH ۱۰ درصد به ریشه‌ها اضافه شده و در دمای ۹۰ درجه سلسیوس به‌مدت یک ساعت نگهداری شدند. جهت خنثی کردن محیط قلیائی ریشه‌های رنگ‌بری‌شده حاصل از مرحله قبل، ریشه‌ها با آب مقطر شسته‌شده و به‌مدت ۲-۱ دقیقه در محلول HCl ۱ مولار قرار داده شدند. ریشه‌های رنگ‌بری شده به‌مدت ۳۰ دقیقه در محلول رنگ‌آمیزی (اسید فوشین در اسید لاکتیک ۰/۰۱ درصد) در درجه حرارت اتاق نگهداری شدند. ریشه‌ها پس از خارج کردن از محلول رنگ در محلول رنگ‌بر (اسید لاکتیک) قرار داده شدند تا رنگ اضافی روی آنها حذف شود و آماده تعیین میزان کلونیزاسیون بودند. برای نگهداری ریشه‌ها تا زمان اندازه-گیری میزان کلونیزاسیون، از محلول اسید لاکتیک، گلیسرول و آب (به‌نسبت۱:۱:۱) استفاده گردید. ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری تقسیم شده و در سطح یک پتری‌دیش مشبک پخش گردیدند (۳۳). سپس با استفاده از میکروسکوپ با بزرگنمائی ۴۰ تعداد برخورد هر یک از اندام قارچی (شامل ریسه، آربوسکول، کویل و وزیکول) با خطوط شبکه پتری‌دیش شمارش و برحسب درصد محاسبه گردید (۲۱). آنالیز داده‌های حاصل از پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۱) صورت گرفت. آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای مقایسه میانگین داده‌هادر سطح احتمال ۵ و ۱ درصد استفاده شد. همبستگی ساده بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Version16) انجام گردید. ضریب اسپیرمن برای محاسبه همبستگی بین صفات به‌کار رفت.

جدول (۱) برخی ویژگی های بیوچار باگاس نیشکر مورد استفاده در این آزمایش
Table (1) Some physicochemical properties of experimental Sugarcane bagasse biochar

صفات فیزیکوشیمیایی Physicochemical characteristics	درشت مغذی‌ها Macro elements	ریزمغذی‌ها Micro elements	سایر عناصر Other elements
pH: 7.55 EC ($dS\ m^{-1}$):0.84	Carbone (%):69.65	Fe(mg/kg):1245	Cd(mg/kg):0.35
CEC(cmol/kg):36.3	N (%):0.279	Zn(mg/kg):45	Pb(mg/kg):1.75
Density(g/cm^2):0.13	O (%):19.51		Sulfate(mg/kg):301
specific surface (m^2/kg):164	H (%):3.38		Bicarbonate(mg/kg):38
Ash (%):5.6	K(mg/kg):2568		Stabilized carbon:53.4
Volatile compounds (%):31.2	P(mg/kg):459		
Humidity (%):9.8	Ca(mg/kg):1752		
O/C:0.281	Mg(mg/kg):412		
C/N:249.319			
O/H:5.78			

نتایج و بحث

در این آزمایش اثر تیمار بر صفات مورفولوژیکی تعداد ریشه، تعداد پاجوش، طول ساقه و قطر ریزوم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر تیمارهای اعمال شده بر صفت طول متوسط ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر تیمار بر سایر صفات ظاهری زامیفولیا در مرحله ازدیاد اثر معنی‌دار نبود (جدول۲). همچنین سطوح مختلف بیوچار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار جهت ریشه-زایی گیاه زامیفولیا اثر معنی‌داری بر صفات فیزیولوژیکی میزان کلینیزاسیون ریشه در سطح یک درصد داشت؛ اما بر سایر صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مختلف نشان داد با افزایش میزان کاربرد بیوچار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار در بستر ریشه‌زایی زامیفولیا، تعداد پاجوش تکثیر شده افزایش یافت؛ به-گونه‌ای‌که بیشترین تعداد (۱ عدد) در بیوچار ۱۰ درصد به همراه میکوریزا ۶ درصد حاصل شد. طول ساقه پاجوش‌های تکثیر شده نیز تحت تاثیر کاربرد این دو ترکیب زیستی قرار گرفتند. بلندترین طول ساقه در ترکیب بیوچار ۱۰ درصد و کود زیستی میکوریزا آربسکولار ۶ درصد مشاهده شد (۳/۳۵ سانتی‌متر). با کاربرد بیوچار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار در بستر تکثیر زامیفولیا سبزینگی قلمه برگی بهتر حفظ شد، به‌طوریکه در شاهد رنگ برگ به‌سمت زرد شدن و خشکیدگی پیش رفت ولی در تمامی تیمارهای بیوچار و میکوریزا قلمه‌های برگی سبز باقی ماندند، هرچند بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت؛ اما با شاهد تفاوت معنی‌دار بود (شکل c ۲). قطورترین ریزوم در تیمارهای بیوچار ۵ درصد به‌همراه

میکوریزا ۱۲ درصد (۱۵/۱ میلی‌متر) و بیوچار ۱۰ درصد به‌همراه میکوریزا ۶ درصد (۱۶/۳۳ میلی‌متر) مشاهده شد. تعداد ریشه‌های تولید شده در پاجوش‌های تکثیر شده در تیمار بیوچار ۱۰ درصد به‌همراه میکوریزا ۱۲ درصد از همه بیشتر بود (۸ عدد) که نسبت به شاهد ۲/۶ برابر بود. متوسط طول ریشه در تیمار بیوچار ۵ درصد به‌همراه میکوریزا ۱۲ درصد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود (۵/۷ سانتی‌متر). به‌طورکلی در بسترهایی که دارای ترکیب بیوچار و کود زیستی مایکوریزا آربسکولار بودند، نسبت به شاهد پاجوش‌هایی با رشد بیشتری ایجاد شد (جدول ۴ و شکل ۲).

میزان کلنیزاسیون ریشه زامیفولیا نیز به‌شدت تحت تاثیر ترکیب بستر کشت قرار گرفت به‌گونه‌ایکه بیشترین این شاخص در تیمار بیوچار ۱۰ درصد به‌همراه کود زیستی میکوریزا آربسکولار ۱۲ درصد به میزان ۳۷/۳۳ درصد حاصل شد. در بستر شاهد که فاقد این دو ترکیب زیستی بود، هیچگونه کلنیزاسیون ریشه‌ای مشاهده نشد و با افزایش میزان کودهای زیستی در بستر ازدیاد این گیاه، کلنیزاسیون ریشه‌ای هم بیشتر بود (شکل ۱ و ۲).

درک رابطه منطقی و معنی‌دار بین صفات از طریق بررسی همبستگی صفات امکان‌پذیر است. ضرایب همبستگی ساده بین صفات نشان داد که برخی صفات اندازه‌گیری شده همبستگی مثبت و یا منفی معنی‌داری ($p<0.01$) باهم داشتند. همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد پاجوش با ارتفاع ساقه (r=۰/۹۸)، طول برگ (r =۰/۹۶) و عرض برگ (r=۰/۹۸)، نشت یونی (r=۰/۹۹) و زیست توده کل (r=۰/۹۵) مشاهده شد. ارتفاع ساقه با عرض برگ (r=۰/۹۷) و نشت یونی (r=۰/۹۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. طول برگ با وزن تر اندام هوایی (r=۰/۹۷)، وزن اشباع (r=۰/۹۶) ، محتوای آب نسبی(r=۰/۹۵) و زیست توده کل (r=۰/۹۹) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. عرض برگ با محتوای آب نسبی (r=۰/۹۷) ، نشت یونی(r=۰/۹۶) و زیست توده کل (r=۰/۹۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بین وزن تر اندام هوایی با وزن اشباع (r=۰/۹۹) همبستگی مثبت مشاهده شد. بین وزن اشباع با کلروفیل کل (r=۰/۹۷) و زیست توده کل (r=۰/۹۶) همبستگی مثبت و معنی‌داری برقرار بود. همبستگی بین کلروفیل کل با زیست توده (r=۰/۹۵) مثبت ومعنی‌داری بود. بین درصد کلنیزاسیون ریشه با کلروفیل a رابطه مثبت و معنی‌داری (r=۰/۸۳) برقرار بود. رابطه منفی معنی‌داری بین وزن خشک اندام هوایی با وزن خشک اندام زیرزمینی (r=۰/۹۴) و محتوای آب نسبی (r=۰/۹۵) مشاهده شد (جدول ۷).

جدول (۲) تجزیه واریانس اثر کاربردبیوچار و میکوریزا بر صفات مورفولوژیکی زامیفولیا

Table (2) Analysis of the variance effect of biochar and mycorrhiza application on morphological traits of *Zamioculcas zamiifolia*

میانگین مربعات (Mean of squares)										
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	تعداد ریشه Root number	طول متوسط ریشه Average root length	طول بلندترین ریشه Long est root length	تعداد پاجوش Off shoots	طول ساقه Shoot length	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	رنگ قلمه برگی Leafy cuttings color	قطر ریزوم Rhizome diameter
تیمار Treatment	4	0.53 *	8.3 **	0.22 ns	0.1 *	0.83 *	0.19 ns	0.16 ns	0.73 ns	24 *
خطا Error	10	0.12	0.62	0.14	0.03	0.14	0.7	0.05	0.23	5.2
ضریب تغییرات CV		13	25	15	20	32	29	25	26	17

ns: Not significant, *: significant at P<0.05, **: significant at P<0.01

جدول (۳) تجزیه واریانس اثر کاربرد بیوچار و میکوریزا بر صفات فیزیولوژیکی زامیفولیا

Table (3) Analysis of the variance effect of biochar and mycorrhiza application on physiological traits of *Zamioculcas zamiifolia*

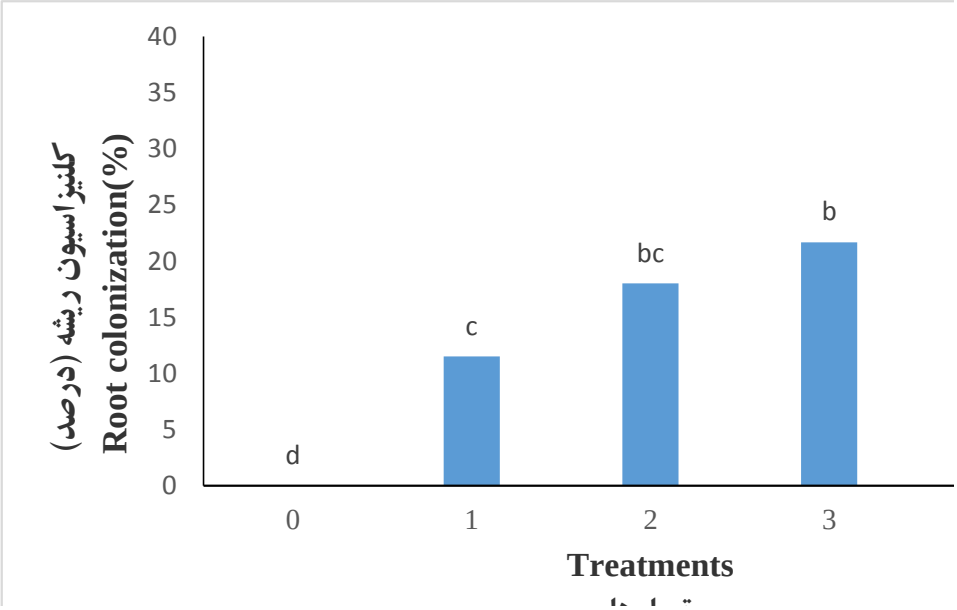
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of squares)											
		وزن تراندام هوایی Shoot FW	وزن خشک اندام هوایی Shoot DW	وزن تر ریشه Root FW	وزن خشک ریشه Root DW	زیست توده کل Total biomass	محتوای نسبی آب برگ Shoot RWC	وزن اشباع Saturation weight	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کلنیزاسیون ریشه Root colonization
تیمار Treatment	1	0.001^{ns}	0.0001^{ns}	0.21^{ns}	0.002^{ns}	174^{ns}	20.4^{ns}	0.001^{ns}	7.6^{ns}	0.08^{ns}	0.032^{ns}	0.08^{ns}	564^{**}
خطا Error	8	0.0011	0.00009	0.15	0.008	148	12.3	0.001	4.8	0.05	0.033	0.1	25
ضریب تغییرات CV		4	1.37	27	11	14.1	10.6	5	10	27	23	36	28

ns: Not significant, **: significant at P<0.01

جدول (٤) مقایسه میانگین اثر بیوچار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار بر صفات مورفولوژیکی زامیفولیا. در هر ستون میانگین-هایی با حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

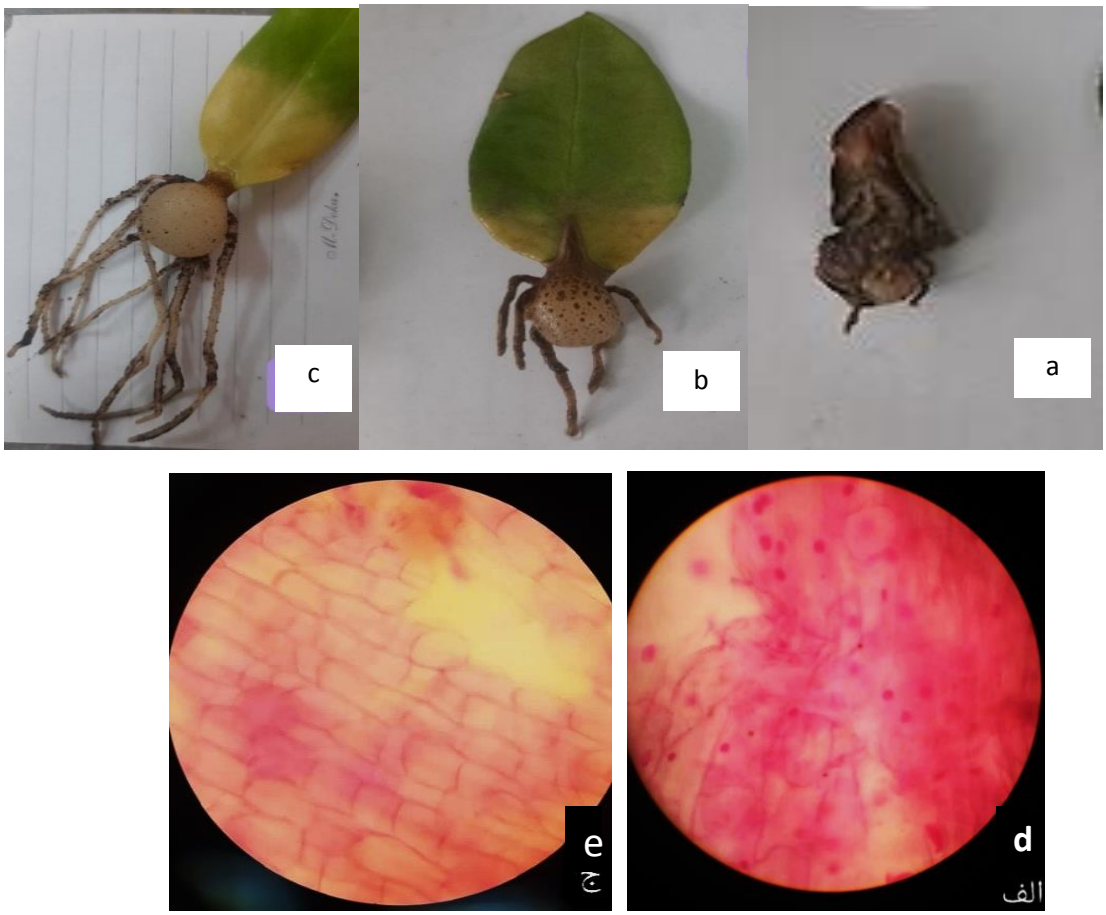
Table (4) Mean comparison of the effect of biochar and arbuscolar mycorrhizal on some morphological traits of *Zamioculcas zamiifolia*. In each column, means with the same letters are not significantly different (Duncan, p < 0.05).

تیمار Treatment	تعداد پاجوش Off shoots number	طول ساقه (سانتی‌متر) Shoot length(cm)	رنگ قلمه برگی Leafy cuttings color	قطر ریزوم (میلی‌متر) Rhizome diameter(mm)	تعداد ریشه Root number	طول متوسط ریشه Average root length(cm)
شاهد Control	0^{b}	0^{b}	7^{a}	9^{b}	3^{b}	2.9^{b}
بیوچار۵٪+میکوریزا۶٪ Biochar5%+mycorrhiza6%	0^{b}	0^{b}	2.33^{b}	12.14^{ab}	7.66^{a}	2.77^{b}
بیوچار۵٪+میکوریزا۱۲٪ Biochar5%+mycorrhiza12%	0.33^{ab}	0.83^{b}	2.66^{b}	15.1^{a}	6.66^{ab}	5.7^{a}
بیوچار۱۰٪+میکوریزا۶٪ Biochar10%+mycorrhiza6%	1^{a}	3.35^{a}	2.33^{b}	16.33^{a}	5.33^{ab}	1.05^{c}
بیوچار۱۰٪+میکوریزا۱۲٪ Biochar10%+mycorrhiza12%	0.66^{ab}	1.63^{ab}	2.33^{b}	12.66^{ab}	8^{a}	3.12



شکل (۱) مقایسه میانگین اثر بیوچار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار بر میزان کلنیزاسیون ریشه زامیفولیا. تیمارها شامل صفر) شاهد=بیوچار صفر+کود زیستی میکوریزا آربسکولار صفر، ۱)بیوچار۵٪+کود زیستی میکوریزا آربسکولار ٦٪، ۲) بیوچار ۵٪+کود زیستی میکوریزا ۱۲٪، ۳) بیوچار ۱۰٪+ کود زیستی میکوریزا ٦٪، ٤) بیوچار ۱۰٪+ کود زیستی میکوریزا آربسکولار ۱۲٪

Figure (1) Mean comparision effect of biochar and mycorrhizal arbescular on root colonization in *Zamioculcas zamiifolia.* 0) Biochar 0%+Arbescular mycorrhiza0%, 1) Biochar 5%+Arbescular mycorrhiza6%, 2) Biochar 5%+Arbescular mycorrhiza12%, 3) Biochar 10%+Arbescular mycorrhiza6%, 4) Biochar 10%+Arbescular mycorrhiza12%.



شکل (۲) تاثیر کاربرد همزمان بیوچار و میکوریزا آربسکولار بر ازدیاد زامیفولیا از طریق قلمه برگی a) بیوچار ۵ درصد و میکوریزا آربوسکولار ۱۲ درصد b) بیوچار ۵ درصد و میکوریزا ٦ درصد c) عدم کاربرد بیوچار و میکوریزا آربوسکولار d)کلنیزاسیون (نقاط صورتی تیره) در سلول‌های ریشه رنگ‌آمیزی‌شده در تیمارهای میکوریزا آربوسکولار ۱۲ درصد و e) صفر (بزرگنمایی 40X)

Figure (2) Simultaneous application effect of biochar and arbuscular mycorrhiza on *Zamioculcas zamiifolia* growth through leaf cutting a) 5% biochar and 12% arbuscular mycorrhiza b) 5% biochar and 6% mycorrhiza c) no application of biochar and arbuscular mycorrhiza d) Arbuscular mycorrhiza colonization in root at 12% arbuscular mycorrhiza e) Arbuscular mycorrhiza colonization in root at 0% arbuscular mycorrhiza

جدول (۷) همبستگی بین صفات موفوفیزیولوژیکی در گیاهچه‌های ازدیاد شده از قلمه برگی زامیفولیا. tr1 تا tr21 به‌ترتیب شامل صفات: تعداد پاجوش، ارتفاع ساقه، طول برگ، عرض برگ، قطر ریزوم، تعداد ریشه، طول بلندترین ریشه، میانگین طول ریشه، رنگ قلمه برگی، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر اندام زیر زمینی، وزن خشک اندام زیرزمینی، وزن اشباع، کلروفیلa،کلروفیلb،کلروفیل کل، نشت یونی، محتوای آب نسبی، زیست‌توده، درصد کلنیزاسیون می‌باشد.

Table (7) Correlation between morphophysiological traits in off shoots propagated from *Zamioculcas zamiifolia* leaf cuttings. tr1 to tr21, in order, including traits: Off shoots, Shoot length, Leaf length, Leaf width, Rhizome diameter, Root number, Longest root length, Average root length, Leafy cuttings color, Shoot FW, Shoot DW, Root FW, Root DW, Saturation weight, Chlorophyll a, Chlorophyll b, Total Chlorophyll, Electrolyte leakage, Shoot RWC, Total biomass and Root colonization percentage.

	tr1	tr2	tr3	tr4	tr5	tr6	tr7	tr8	tr9	tr10	tr11	tr12	tr13	tr14	tr15	tr16	tr17	tr18	tr19	tr20	tr21
tr1	1																				
tr2	0.98**	1																			
tr3	0.96**	0.91**	1																		
tr4	0.98**	0.97**	0.98**	1																	
tr6	0.17	0.071	0.27	0.17	0.39	1															
tr7	-0.35	-0.36	-0.2	-0.26	0.31	0.55	1														
tr8	-0.41	-0.5	-0.15	-0.3	-0.01	0.23	0.63	1													
tr9	-0.52	-0.48	-0.58	-0.54	-0.77	-0.86*	-0.49	-0.004	1												
tr10	0.87*	0.79	0.97**	0.9**	0.75	0.37	-0.1	0.05	-0.59	1											
tr11	0.65	0.51	0.71	0.61	0.27	0.51	-0.31	-0.03	-0.45	0.78	1										
tr12	0.004	-0.01	0.09	0.06	0.56	0.7	0.89*	0.3	-0.81*	0.15	-0.04	1									
tr13	-0.79	-0.68	-0.85*	-0.77	-0.55	-0.6	0.16	0.09	0.67	-0.89*	-0.94**	-0.17	1								
tr14	0.87*	0.79	0.96**	0.91**	0.79	0.34	-0.05	0.08	-0.59	0.99**	0.72	0.18	-0.84*	1							
tr15	0.68	0.74	0.7	0.76	0.88*	-0.08	0.1	-0.06	-0.39	0.62	0.01	0.23	-0.26	0.68	1						
tr16	0.6	0.58	0.73	0.7	0.86*	0.13	0.28	0.33	-0.46	0.75	0.21	0.34	-0.4	0.81	0.89*	1					
tr17	0.83*	0.78	0.93**	0.89*	0.87*	0.26	0.04	0.13	-0.57	0.94**	0.55	0.23	-0.71	0.97**	0.81*	0.91**	1				
tr18	0.99**	0.99**	0.92**	0.97**	0.74	0.1	-0.38	-0.5	-0.49	0.81*	0.56	-0.02	-0.72	0.8*	0.7	0.56	0.78	1			
tr19	0.92**	0.83*	0.95**	0.96**	0.62	0.37	-0.31	-0.18	-0.56	0.95**	0.88	0.02	-0.95**	0.92**	0.46	0.53	0.82*	0.86*	1		
tr20	0.95**	0.92**	0.99**	0.98**	0.84*	0.23	-0.16	-0.15	-0.57	0.95**	0.63	0.12	-0.79	0.96**	0.77	0.78	0.95**	0.93**	0.91**	1	
tr21	0.38	0.52	0.29	0.44	0.66	-0.23	0.16	-0.32	-0.24	0.13	-0.42	0.26	0.15	0.21	0.83*	0.55	0.38	0.46	0.02	0.39	1

۲۰۸
تقی زاده و همکاران: بهبود ازدیاد رویشی زامیفولیا (*Zamioculcas zamiifolia*)...

پژوهش‌هایی مبنی بر اثر مستقیم بیوچار بر انتقال مواد غذایی به گیاه در دسترس است (۱۳). بیوچار به‌دلیل اثر بر افزایش قدرت تبادل کاتیونی، سبب دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی می‌شود (۴۱). همان‌طور که از نتایج این آزمایش مشخص شد، بیوچار سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه در گیاه زامیفولیا شد. بیوچار با فراهم نمودن عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه می‌تواند سبب بهبود شاخص‌های رشد گیاه از جمله افزایش ارتفاع ساقه و تعداد برگ گیاه شود. این موضوع می‌تواند به دلیل تاثیرات مثبت بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش جذب عناصر مورد نیاز توسط گیاه باشد (۲۶). کریمی و همکاران[1] (۲۸) در مطالعه‌ای بیان کردند که بیوچار دارای توانایی زیادی در نگهداری عناصرغذایی در خاک می‌باشد و به‌طور معمول توانایی خاک را برای نگهداشت و حفظ عناصرغذایی و کاتیون‌های تبادلی در یک فرم قابل دسترس برای گیاه را دارد. در مطالعه‌ای کاربرد بیوچار به‌عنوان جزئی از ترکیب بستر کشت به‌میزان ۲۰ و ۵۰ درصد حجمی سبب بهبود ریشه‌زایی سنجد تلخ آفریقایی شد (۳۹). پاسخ مثبت به رشد گیاه با کاربرد بیوچار در مطالعات دیگر نیز مشاهده شده است (۳، ۴، ۱۳، ۱۶ و ۳۲) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. همچنین در پژوهشی مشابه روی گل رز بیوچار سبب بهبود صفات کمی و کیفی این گل شاخه بریده شد (۴). بر اساس آزمایش انجام شده بیوچار به‌ویژه کاربرد ۱۰ درصد تاثیر مثبتی بر قطر ریزوم داشت. نتایج مطالعات پیشین نشان داده است که کاربرد بیوچار سبب افزایش تولید ریشه گیاه و بهبود کیفیت زیست‌توده در گیاهان می‌شود (۴، ۱۶ و ۳۹). نتایج تحقیق نشان داد استفاده از بیوچار نسبت به شاهد تاثیر معنی‌دار بر کلنیزاسون ریشه داشت. نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش میزان مصرف بیوچار و مایه تلقیح میکوریزی در بستر کشت سبب افزایش میزان کلنیزاسیون ریشه شده است که می‌تواند به‌علت بهبود وضعیت بستر کشت باشد. کاربرد ترکیبی بیوچار و AMF به طور قابل توجهی سبب افزایش فعالیت قلیایی فسفومونواستراز، دهیدروژناز و دی استات فلورسین و همچنین زیست توده میکروبی و اسپورهای AMF می‌شود (۲۷).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد ارتفاع ساقه در تیمارهایی که میکوریزا آربوسکولار استفاده شده بود افزایش داشت. همزیستی میکوریزی با داشتن توانایی‌های منحصر به‌فردی، در افزایش قابلیت دسترسیسایر عناصر از جمله روی، مس و همچنین ترشح هورمون‌های تحریک‌کننده رشد، علاوه بر تامین فسفر مورد نیاز گیاه رشد و عملکرد را هرچه بیشتر افزایش می‌دهند (۲۷). کاربرد ترکیبی بیوچار و کودزیستی میکوریزا در افزایش ارتفاع گیاهان سانسوریا (۳۰)، شمعدانی (۱۶) و نرگس (۳۲) گزارش شده است که با نتایج این آزمایش همسو است.

محققین گزارش کردند قارچ میکوریزا آربوسکولار از طریق افزایش سطح و حجم ریشه‌دهی سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی از حجم بیشتری از خاک می‌شود. علت این موضوع به دلیل انتشار میسلیوم قارچ‌های میکوریزا مرتبط با بافت‌های درونی ریشه در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل بر سیستم ریشه‌ای گیاه است (۱). در این آزمایش طول ریشه با کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار در بستر کشت افزایش یافت. طبق پژوهش‌هایی که بر شفلرا انجام گرفت استفاده از میکوریزا بر ریشه‌های گیاه اثر تحریکی داشت (۱۰) که با نتایج این آزمایش همسو بود. در پژوهشی مشابه تلقیح قارچ مایکوریزا آربوسکولار با بستر کشت ارقام گل رز مینیاتوری سبب افزایش ریشه‌زایی و کیفیت ریشه‌ها گردید (۴۳). با توجه به این‌که قارچ میکوریزا از طریق افزایش سطح ریشه، سبب افزایش جذب آب و عناصرغذایی می‌شود، این شرایط می‌تواند سبب فتوسنتز بیشتر و در نهایت رشد بهتر اندام‌های گیاه شود (۱۱ و۴۰). نتایج این آزمایش نشان داد

1- Karami *et al.*

استفاده از میکوریزا آربوسکولار در بستر کشت بر حفظ سبزینگی برگچه مادری اثر مثبت داشت. در تحقیقی که بر عملکرد غده سیب‌زمینی صورت گرفت، نتایج نشان داد استفاده از قارچ میکوریزا آربوسکولار با تاثیر مثبت بر توسعه ریشه، سبب بهبود عملکرد رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (۲). کربن مورد نیاز برای بقا قارچ و برقراری رابطه همزیستی توسط گیاهان میزبان فراهم می‌شود. جبران این کربن مصرف شده موجب افزایش تقاضا برای کربن توسط گیاهان میکوریزایی می‌شود که به نوبه خود سرعت فتوسنتز را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهد (۴۰). نتایج این تحقیق نشان داد میکوریزا آربوسکولار مورد استفاده قادر به کلنیزاسیون ریشه زامیفولیا است. در مطالعات متعددی کاربرد قارچ میکوریزا در بستر کشت سبب تحریک کلنیزاسیون ریشه گیاهان مختلف شد (۹، ۱۰ و ۳۱). از نتایج تحقیق حاضر مشخص شد که کاربرد بیوچار و میکوریزا آربوسکولار در بستر کشت سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه، تعداد ریشه، طول بلندترین ریشه و طول متوسط ریشه در گیاهچه‌های تکثیر شده زامیفولیا شد. (۱۳). نتایج سایر پژوهشگران نشان می‌دهد کاربرد ترکیبی AMF و بیوچار به‌طور قابل توجهی میزان فتوسنتز، محتوای نسبی آب، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل، دسترسی و جذب عناصر غذایی را افزایش می دهند. علاوه بر این، آنها سبب سنتز یکسری فیتوهورمون‌های درون‌زا و تولید آنتی اکسیدان‌ها می شوند (۲۷). بنابراین افزایش در رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی احتمالا به‌دلیل افزایش میزان جذب عناصرغذایی توسط گیاه زامیفولیا بوده است.

همبستگی بالا در برخی صفات گیاهچه‌های تکثیر شده از قلمه برگی زامیفولیا می‌تواند رابطه‌ای بین صفات در طی مرحله تکثیر این گیاه زینتی کند رشد را ارائه دهد. به عنوان مثال همبستگی مثبت بین میزان کلنیزاسیون ریشه با میزان کلروفیل برگ می‌تواند نقش قارچ‌های میکوریزایی را در تحریک عملکرد فتوسنتزی نشان دهد. همبستگی مثبت شدت کلنیزاسیون ریشه با شاخص‌های عملکرد و رشد در سایر گیاهان گزارش شده است (۹ و ۳۹) .

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج کاربرد عوامل تحریک‌کننده زیستی بیوچار و کود میکوریزا آربسکولار در بستر کشت زامیفولیا جهت ازدیاد تجاری آن مثبت بود. کوتاه نمودن دوره تکثیر این گیاه لوکس و کند رشد از عوامل مهم در تولید این محصول می‌باشد که ضمن کاهش هزینه‌های تولید، سبب سودآوری محصول می‌شود. بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش کاربرد بیوچار۱۰ درصد به‌همراه کود زیستی میکوریزا آربسکولار ۶ درصد در بستر ازدیاد قلمه برگی زامیفولیا به‌دلیل تولید تعداد پاجوش بیشتر با رشد قوی‌تر اندام هوایی و ریزوم برای ازدیاد این گیاه آپارتمانی توصیه می‌شود.

سپاس گزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه اراک انجام گرفت که بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه اراک تشکر می‌شود.

References

1. Abdel-Fattah, G.M., El-Haddad, S.A., Hafez, E.E. and Rashad, Y.M. 2011. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. Microbiological Research, 166, 268-281.

2. Adavi, Z. and Baghbani-Arani, A. 2018. The effect of planting date and symbiotic Mycorrhiza fungi on physiological and growth characteristics of three cultivars of potato. Journal of Plant Biology, 10, 39-56. (in Persian with English abstract)

3. Adzraku, H.V., Tandoh, P.K. and Zurei, L.H. 2017. Use of biochar as media for propagation of some difficult-to-root ornamental plants. Environment, Earth and Ecology, 1,17-26.

4. Arab, M.A., Taghizadeh, M. and Solgi, M. 2018. The effect of symbiosis of arbuscular mycorrhizal fungus and biochar fertilizer on rose yield. Thesis for the degree of (MSc), Arak Faculty of Agriculture and Natural Resources. (in Persian)

5. Arjmand Alavi, M., Hatamzadeh, A. and Ehteshami, S.M. 2014. Effect of bulb inoculation with four species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of two lily species. Journal of Seed Sciences and Research, 1, 57-65. (in Persian with English abstract)

6. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, 24,1.

7. Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11,3-42.

8. Badizadegan, F., Solgi, M., Taghizadeh, M. and Abbasifar, A. 2023. Effect of chitosan on propagation of zamiifolia as tropical ornamental indoor plant by leaf cutting. Ornamental Horticulture, 29(2), 278-285.

9. Bahadori, F., Sharifi Ashorabadi, E., Mirza, M., Matinizade M. and Abdosi, V. 2015. The effects of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on N, P and K uptake and yield of Thymus daenensis Clak. Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 31, 527-538. (in Persian with English abstract)

10. Bidarnamani, F., Mohkami, Z. and Shabanipour. M. 2016. Using Two Species of Mycorrhizal Fungi in Different Media to Increase the Rooting of *Schefflera Arboricola* Cuttings. Flower and Ornamental plant, 1,8-16.

11. Boostani, H.R., Chorom, M., Moezzi, A.A., and Enayatizamir, N. 2014. Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae fungi to enhancement of plant growth under salinity stress: A review. Scientific Journal of Biological Sciences, 3(11), 98-107.

12. Busse, M.D., Fiddler, G.O. and Ratcliff, A.W. 2004. Ectomycorrhizal formation in herbicide treated soils of differing clay and organic matter content. Water, Air and Soil Pollution, 152, 23-34

13. Chen, H., Ma, J. Wei, J. Gong, X. Yu, X. Guo, H. and Zhao. Y. 2018. Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. Science of the Total Environment, 63, 333 –342.

14. Chen, J. and Henny, R.J. 2003. ZZ: a unique tropical ornamental foliage plant. HortTechnology, 13, 458-462.

15. Chen, J., Wang, W. Fang, J. and Varahramyan, K. 2004. Variable-focusing microlens with microfluidic chip. Journal of Micromechanics and Microengineering, 14, 675.

16. Conversa, G., Bonasia, A., Lazzizera, C. and Elia, A. 2015. Influence of biochar, mycorrhizal inoculation, and fertilizer rate on growth and flowering of Pelargonium (*Pelargonium zonale* L.) plants. Frontiers in Plant Science, 6, 429.

17. Dehestani-Ardakani, M., Khosravi, N. Shirmardi, M. Gholamnezhad, J. and Naserinasab, F. 2021. The Effect of Biofertilizers and Biochar on Morphological and Physiological Properties of Narcissus cv. 'Shahla' (*Narcissus tazetta* L. cv. 'Shahla'). Journal of soil and plant intraction, 12, 79-93.

18. Farhadi, A., Enayatizamir, N., Farrokhian Firouzi, A. and Howeizeh, H. 2016. The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Drought Stress on Some Physical and Mechanical Characteristics and Soil glomalin Content on Blue Panic Grass (*Panicum antidotal*). Journal of Water and Soil Conservation, 23(5), 267-280. (in Persian with English abstract).

19. Fathi, M., Zarei, H. and Varaste, F. 2018. Rooting of honeysuckle's (*Lonicera japonica* L.) stem cuttings under treatment of natural and chemical compounds. Journal of Plant Production Research, 25(2), 83-97. (in Persian with English abstract).

20. Feng, C.T., Ho, W.C. and Chao, Y.C. 2006. Basal petiole rot and plant kill of Zamioculcas zamiifolia caused by Phytophthora nicotianae. Plant Disease, 90,1107-1109.

21. Giovannetti, M. and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist, 84, 489-500.

22. Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 2002. Ameliorating physical an d chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–a review. Biology and Fertility of Soils, 35, 219-230.

23. Gresbach, J. 2007. Growing Temperate Fruit Trees in Kenya. World Agroforestry Centre (ICRAF), 138p.

24. Harrison, M. 2012. The Incredible ZZ plant (*Zamioculcas zamiifolia*). Available from www.davesgarden.com.

25. Heywood, V. 2001. Conservation and sustainable use of wild species as sources of new ornamentals. In International Symposium on Sustainable Use of Plant Biodiversity to Promote New Opportunities for Horticultural Production, 598, 43-53.

26. Houben, D., Evrard L. and Sonnet, P. 2013. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. Chemosphere, 92,1450-1457.

27. Jabborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H.A., Desouky, S., Ibrahim, M.F. and Elkelish, A., 2021. Beneficial features of biochar and arbuscular mycorrhiza for improving spinach plant growth, root morphological traits, physiological properties, and soil enzymatic activities. Journal of Fungi, 7(7), 571.

28. Karami, N., Clemente, R. Moreno-Jiménez, E. Lepp, N.W. and Beesley, L. 2011. Efficiency of green waste compost and Biochar Soil Amendments for Reducing Lead and Copper Mobility and Uptake to Ryegrass. Journal of Hazardous Materials, 191,41-48.

29. Keshavarz Fard, S., Solgi, M., Bagheri H. and Shahrjerdi, I. 2020. The application of Biochar with Humic acid for resistance to drought stress in Zinnia, Applied Biology, 33,148-174.

30. Khajeh, P. and Taghizadeh, M. 2022. Application effect of bagasse biochar and Arbuscular mychorrhizal fungi in commercial propagation of *Sansevieria trifaciata* variateis. Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture), 45(3), 225-246. (in Persian with English abstract).

31. Khandan Mirkohi, A., Sheikh Asadi, M., Taheri M.R. and Babalar, M. 2015. The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and different phosphorus levels on some growth aspects of Lisianthus. Journal of Soil and Pant Intraction, 6, 57-67.

32. Khosravi, N., Dehestani Ardakani, M., Shirmardi, M., Gholamnezhad, J. and Naserinasab, F., 2021. Effect of Biochar and Some Biologic Fertilizers on Flowering and Morphophysiological Charachteristics of *Narcissus tazetta* L. var. Shahla. Journal of Horticultural Science and Technology, 22(2),199-202. (in Persian with English abstract).

33. Kormanik, P.P. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. Methods and principles of mycorrhizal research, 37-46.

34. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota- a review. Soil Biology and Biochemistry, 43,1812 -1836.

35. Miyasaka, S.C., Habte, M. Friday, J.B. and Johnson, E.V. 2003. Manual on arbuscular mycorrhizal fungus production and inoculation techniques. SCM-5, 21, 1.

36. Narula, N., Kumar, V., Behl, R.K., Deubel, A., Gransee, A. and Merbach, W. 2000. Effect of P-solubilizing Azotobacter chroococcum on N, P, K uptake in P-responsive wheat genotypes grown under greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 163,393-398.

37. Nirmala, K.S. 2017. Technology protocol for in vitro and ex vitro mass propagation of Zamioculcas zamiifolia. UGC,1-15.

38. Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G. and Børresen, T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. Soil and Tillage Research, 155, 35-44.

39. Opoku, M.E., Opuni-Frimpong, E. and Owusu, A.S. 2022. Effects of Biochar Soil Amendment on the Rooting and Early Growth of African Mahogany Species: Khaya Ivorensis and Khaya Grandifoliola. Journal of Botanical Research, 5(1),149-160.

40. Parvizi, Kh. and Dashti, F. 2014. Evaluation the effect of symbiosis with mycorrhizal fungus on growing characteristics and minituber yield of potato plantlets. Journal of horticulture science, 28, 96-106. (in Persian with English abstract).

41. Pühringer, H. 2016. Effects of different biochar application rates on soil fertility and soil water retention in on-farm experiments on smallholder farms in Kenya. Master's Thesis in Environmental Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

42. Sadhana, B. 2014. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as a Biofertilizer-a Review. Int J Curr Microbiol Apply Science, 3, 384-400.

43. Scagel, C.F. 2001. Cultivar specific effects of mycorrhizal fungi on the rooting of miniature rose cuttings. Journal of Environmental Horticulture, 19, 15-20.

44. Seneviratne, K.A.C.N., Daundasekera, W.A.M., Kulasooriya, S.A. and Wijesundara, D.S.A. 2013. Development of rapid propagation methods and a miniature plant for export-oriented foliage, Zamioculcas zamiifolia. Ceylon Journal of Science (Biological Sciences), 42, 55-62.

45. Sharaf-Eldin, M., Elkholy, S., Fernández, J.A., Junge, H., Cheetham, R., Guardiola, J. and Weathers, P. 2008. Bacillus subtilis FZB24® affects flower quantity and quality of saffron (*Crocus sativus*). Planta Medica, 74,1316-1320.

46. Smith, S.E. and Read, D.J. 2010. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press.

47. Valizadeh Ghale Beig, A., Neamati, S.H., Emami H. and Aroie, H. 2021.The effect of glayol biochar on some of morphological traits and heavy metals uptake in lettuce (Lactuca sativa L. cv Syaho). Journal of Horticultural Sciences 51,773-784. (in Persian with English abstract).

48. Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C. and Reddy, S.P.P. 2023. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. Plants, 12(17), 3102.