

Research Article

Agricultural Engineering, 46(2) (2023) 195-214

ISSN (E): 2588-526X

DOI: 10.22055/AGEN.2023.44719.1681

ISSN (P): 2588-5944

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

M. Taghizadeh^{1,*}, Z. Azimi Senejani² and M. Solgi³

- 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 *Clarodeoglossum 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%.



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 than 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*

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

مینا تقی‌زاده^{۱*}، زینب عظیمی سنجانی^۲ و موسی سلگی^۳

۱ و ۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
۲- دانش آموزخته کارشناسی ارشد گروه 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 زیستی

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 بیوجار بر ازدیاد زامیفولیا پرداخته شد. تیمارها شامل بیوجار ۵ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ۶ درصد، بیوجار ۱۰ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ۶ درصد، بیوجار ۵ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ۱۲ درصد، و بیوجار ۵ درصد+ کود زیستی آربوسکولار میکوریزا ۱۲ درصد و شاهد جهت ازدیاد قلمه برگی زامیفولیا بود که به صورت طرح کاملاً 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 بیوجار ۱۰ درصد به همراه کود زیستی میکوریزا آربوسکولار ۶ درصد سبب افزایش حدود ۳/۳ برابر ارتفاع اندام هوایی نسبت به شاهد شد. بیشترین قطر ریزوم در بیوجار ۱۰ درصد به همراه کود زیستی میکوریزا آربوسکولار ۶ درصد مشاهده شد. بیشترین تعداد شاخه در تیمار بیوجار ۱۰ درصد به همراه کود زیستی میکوریزا آربوسکولار ۶ درصد حاصل شد که ۱/۸ بیشتر از شاهد بود. کلنیزاسیون در میکوریزا آربوسکولار ۱۲ درصد، ۱/۶ برابر میکوریزا آربوسکولار ۶ 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 بیوجار و مایه تلقیح میکوریزا در بستر کشت سبب افزایش رشد گیاهچه‌های تکثیر شده زامیفولیا از طریق قلمه برگی شد.

* عهده دار مکاتبات

Email: m-taghizadeh@araku.ac.ir

مقدمه

امروزه صنعت گل و گیاهان زینتی در جهان رشد چشم گیری یافته است (۲۵). برخلاف آنچه که برای گل های شاخه بریده مشکلات حفظ کیفیت پس از برداشت به اندازه کافی پژوهش شده است، ولی در مورد گیاهان گلدانی، دانش و پژوهش های کمتری انجام شده است. با توجه به اهمیت گیاهان زینتی، مدیریت روش های ازدیادی و انتخاب بهترین روش ازدیاد و تسریع ریشه زایی آنان نقش مهمی در افزایش تولید و کاهش هزینه دارد (۳۰). گیاهان به روش های مختلفی ازدیاد می یابند اما ازدیاد از روش قلمه از بهترین روش های غیرجنسی برای بسیاری از گونه های گیاهی می باشد (۲۳). در این روش گیاهان تولید شده یکنواختی بیشتری دارند و شبیه گیاه مادری هستند. گیاهان مختلف به دلیل ساختار و فیزیولوژی خاص خود، ریشه زایی متفاوتی دارند که تحت تأثیر عوامل مختلف تغییر می یابند. عوامل مهمی مانند زمان قلمه گیری، شرایط فیزیولوژیکی و محیطی گیاه مادری، هورمون ها و بسیاری از عوامل دیگر بر ریشه زایی گیاهان اثر گذارند (۱۹).

یک ایده جدید برای افزایش مواد آلی و ذخیره طولانی مدت کربن در خاک استفاده از بیوچار^۱ است. بیوچار محصول جامد غنی از کربن است که از گرمای زبست توده های مانند چوب، کود دامی یا برگ در یک محفظه در بسته، در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود حاصل می شود (۱۷). از اثرات سودمند کاربرد بیوچار در خاک های 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 می توان 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 خاک های pH اسیدی، کاهش شستشوی عناصر غذایی، کاهش خروج

گازهای متان و نیتروژن کسید، جذب سطحی هورمون ها و فلزات سنگین می باشد (۲۲، ۳۴ و ۳۸). کودهای بیولوژیکی در برگیرنده گروهی از باکتری ها یا قارچ ها 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 قارچ ها با ریشه گیاهان است که اکثراً هر دو طرف سود می برند. در بین انواع مختلف میکوریزا، قارچ های میکوریزا آربسکولار (AM)^۲، رایج ترین نوع رابطه میکوریزی را با حدود ۸۰ درصد گیاهان تشکیل می دهند (۱۵، ۱۱ و ۳۵) گیاهانی که دارای همزیستی میکوریزی می باشند، به دلیل اینکه عناصر غذایی و آب بیشتری از خاک جذب می کنند، رشد و عملکرد بهتر و مقاومت بیشتری در برابر تنش های زنده (عوامل بیماری زایی که ریشه گیاه را مورد حمله قرار می دهند) و غیر زنده (کمبود یا مسمومیت مواد غذایی، خشکی، شوری و عناصر سنگین) از خود نشان می دهند (۴۸). این قارچ ها می توانند مواد آلی مورد نیاز خود را از گیاه دریافت کرده و در مقابل در جذب غذایی عناصر بی-تحرک مانند فسفر، مس، روی، منگنز، آهن و غیره از خاک به گیاه کمک کنند (۴۲). این قارچ ها دارای اثر هم-افزایی^۳ با سایر ریزجانداران به ویژه ریزوباکتری های محرک رشد گیاه نیز می باشند (۳۶ و ۴۶). ریشه های خارجی میکوریزا آربسکولار سبب بهبود ساختمان خاک با اتصال ذرات خاک به یکدیگر می شود و از پراکندگی ذرات خاک جلوگیری می کند. همچنین تعدادی از آنان نیز با تولید ترکیبات پلی ساکاریدی، نفوذ و انتشار در بین ذرات خاک، تهویه خاک را افزایش داده و از فرسایش آن جلوگیری می کنند و به طور کلی کیفیت خاک را بهبود می بخشد (۷). تحقیقی جهت بررسی تأثیر گونه های 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

2- Arbuscular mycorrhiza

3- Synergist

1- Biochar

خاک و بیوجار (۲ : ۱) بیشترین تعداد برگ و قلمه های ریشه‌دار در طی کم‌تر از دو هفته در هر دو گیاه را داشت و بیوجار تنها برای تکثیر فیکوس توصیه شد (۳). عرب و همکاران^۱ (۴) در طی پژوهشی به بررسی تاثیر قارچ‌های همزیست میکوریزا و کود بیوجار بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی 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 بیوجار در بهبود صفات کمی و کیفی این گل شاخه بریده موثر بود. ولی زاده قلعه‌بیگ و همکاران^۲ (۴۷) سه سطح بیوجار حاصل از پسماند گل رز 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 بیوجار گزارش کردند. در پژوهشی دیگر تأثیر بیوجار، اسید هیومیک و سطح آبیاری بر گل آهار (*Zinnia elegans*) L. بررسی شد. استفاده از بیوجار و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل a و b، کل نیتروژن و فسفر تأثیر افزایشی داشت و استفاده از بیوجار 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 و ۴۴). 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 تشکیل شده، 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

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 تلقیح شده با قارچ *Clarodeoglomus etunicatum* و کم‌ترین ارتفاع در شاهد مشاهده گردید. بیشترین میزان جذب فسفر، آهن و روی در سوسن چلچراغ و سوسن شرقی تلقیح شده 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 تحریمی 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. میکوریزایی شدن به‌طور قابل توجهی زمان لازم تا گل‌دهی لیزیانتوس را کاهش داد. مخلوط *Rhizophagus irregularis* + *Funneliformis mosseae* لیزیانتوس و میزان فسفر ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بهترین عملکرد را داشت (۳۱). در پژوهشی به‌منظور اثر بیوجار بر *Ficus pumila* و *Loxora Coccinea* و تیمارهای مخلوط خاک و بیوجار (۲ : ۱)، خاک تنها و مخلوط خاک سطحی و بیوجار (۱ : ۲) مشخص شد مخلوط

1- Arab et al.

2- Valizadeh Ghale Beig et al.

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

پرلیت به نسبت حجمی مساوی (دارای $EC=0.5 \text{ dS m}^{-1}$ 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 کنترل شده دارای دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۷۰ درصد و ۱۰ هزار لوکس نور نگهداری شدند. گلدان‌ها به صورت یک روز در میان بازمینی و در صورت خشک بودن خاک سطحی به صورت 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 و ۲۷)، 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 کاملاً سبز و کد ۷ به برگچه‌های کاملاً قهوه‌ای و خشک شده اختصاص داده شد (۸). جهت اندازه‌گیری کلروفیل 200 mg کلروفیل برگ تازه از هر تیمار به همراه 10 mL استن 80 mL درون هاون چینی سائیده شد. عصاره حاصل به مدت 10 min در دستگاه سانتریفیوژ با 10000 rpm دور در دقیقه قرار داده شد. سپس محلول رویی در دستگاه اسپکتروفتومتر در سه طول موج 663 ، 646 و 470 nm 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

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 بیوجارباگاس 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 به صورت کود جامد تجاری به نام "مایکوروت" (حداقل 100 mg 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 قارچ-های میکوریزا آربوسکولار *Clarodeoglossum etunicatum*, *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* وجود داشت. همچنین بیوجارباگاس نیشکر از شرکت نوآوران زیست‌بنیان آویسا، واقع در شهرستان اهواز تهیه شد. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیوجار مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است. این آزمایش درون گلدان‌های پلاستیکی با دهانه 8 cm سانتی‌متر و ارتفاع 15 cm سانتی‌متر به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که در هر گلدان دو برگچه کشت شد. تیمارهای این آزمایش شامل بیوجار در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد و میکوریزا آربوسکولار 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 بیوجار و میکوریزا) قرار داده شد و قلمه‌های برگچه به روش ذکر شده در آن‌ها کشت شدند (شاهد). پس از آماده کردن بستری از کوکوپیت 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 به مدت یک ساعت نگهداری شدند. جهت خنثی کردن محیط قلیائی ریشه‌های رنگ‌بری شده حاصل از مرحله قبل، ریشه‌ها با آب مقطر شسته شده و به مدت ۲-۱ دقیقه در محلول HCl ۱ مولار قرار داده شدند. ریشه‌های رنگ‌بری شده به مدت 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 اندازه‌گیری میزان کلونیزاسیون، از محلول اسید لاکتیک، گلیسرول و آب (به نسبت ۱:۱:۱) 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 بزرگنمایی ۴۰ تعداد برخورد هر یک از اندام قارچی (شامل ریشه، آربوسکول، کوپل 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 داده‌ها در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد استفاده شد. همبستگی ساده بین صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Version 16) انجام گردید. ضریب اسپیرمن برای محاسبه همبستگی بین صفات به کار رفت.

از برگچه‌های حاصل از پاجوش ارزیابی شد. در حدود ۰/۱ بافت برگی گرم در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی اولیه محلول اندازه‌گیری شد. پس از آن لوله‌های آزمایش دارای نمونه به مدت ۲۰ دقیقه حمام آبگرم در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و پس از سرد شدن در دمای اتاق دوباره هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد. میزان نشت یونی به صورت درصد از تقسیم هدایت الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده محاسبه شد. به منظور 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 به سرعت خشک شده و وزن اشباع آن اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری 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 به صورت جداگانه از بستر کشت بیرون آورده شد و پس از شستشوی خاک اطراف ریشه و بدون این که 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 به صورت مجزا قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت 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، به طوری که تمامی خاک و

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

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

نتایج و بحث

بستر ریشه زایی زامیفولیا، تعداد پاجوش تکثیر شده افزایش یافت؛ به گونه ای که بیشترین تعداد (۱ عدد) در بیوجار ۱۰ درصد به همراه میکوریزا ۶ درصد حاصل شد. طول ساقه پاجوش های تکثیر شده نیز تحت تاثیر کاربرد این دو ترکیب زیستی قرار گرفتند. بلندترین طول ساقه در ترکیب بیوجار ۱۰ درصد و کود زیستی میکوریزا آریسکولار ۶ درصد مشاهده شد (۳/۳۵ سانتی متر). با کاربرد بیوجار و کود زیستی میکوریزا آریسکولار در بستر تکثیر زامیفولیا سبزی رنگی قلمه برگی بهتر حفظ شد، به طوریکه در شاهد رنگ برگ به سمت زرد شدن و خشکیدگی پیش رفت ولی در تمامی تیمارهای بیوجار و میکوریزا قلمه های برگی سبز باقی ماندند، هرچند بین تیمارها تفاوت معنی داری وجود نداشت؛ اما با شاهد تفاوت معنی دار بود (شکل ۲). قطورترین ریزوم در تیمارهای بیوجار ۵ درصد به همراه

در این آزمایش اثر تیمار بر صفات مورفولوژیکی تعداد ریشه، تعداد پاجوش، طول ساقه و قطر ریزوم در سطح پنج درصد معنی دار بود. اثر تیمارهای اعمال شده بر صفت طول متوسط ریشه در سطح یک درصد معنی دار شد. اثر تیمار بر سایر صفات ظاهری زامیفولیا در مرحله ازدیاد اثر معنی دار نبود (جدول ۲). همچنین سطوح مختلف بیوجار و کود زیستی میکوریزا آریسکولار جهت ریشه زایی گیاه زامیفولیا اثر معنی داری بر صفات فیزیولوژیکی میزان کلینزاسیون ریشه در سطح یک درصد داشت؛ اما بر سایر صفات معنی دار نبود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین های اثر تیمارهای مختلف نشان داد با افزایش میزان کاربرد بیوجار و کود زیستی میکوریزا آریسکولار در

($r=0/96$) همبستگی مثبت و معنی داری برقرار بود. همبستگی بین کلروفیل کل با زیست توده ($r=0/95$) مثبت و معنی داری بود. بین درصد کلنیزاسیون ریشه با کلروفیل a رابطه مثبت و معنی داری ($r=0/83$) برقرار بود. رابطه منفی معنی داری بین وزن خشک اندام هوایی با وزن خشک اندام زیرزمینی ($r=0/94$) و محتوای آب نسبی ($r=0/95$) مشاهده شد (جدول ۷).

میکوریزا ۱۲ درصد (۱۵/۱ میلی متر) و بیوچار ۱۰ درصد به همراه میکوریزا ۶ درصد (۱۶/۳۳ میلی متر) مشاهده شد. تعداد ریشه های تولید شده در پاجوش های تکثیر شده در تیمار بیوچار ۱۰ درصد به همراه 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 به همراه میکوریزا ۱۲ درصد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود (۵/۷ سانتی متر). به طور کلی در بسترهایی که دارای ترکیب بیوچار و کود زیستی مایکوریزا آریسکولار بودند، نسبت به شاهد پاجوش هایی با رشد بیشتری ایجاد شد (جدول ۴ و شکل ۲).

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

درک رابطه منطقی و معنی دار بین صفات از طریق بررسی همبستگی صفات امکان پذیر است. ضرایب همبستگی ساده بین صفات نشان داد که برخی صفات اندازه گیری شده همبستگی مثبت و یا منفی معنی داری ($p<0.01$) باهم داشتند. همبستگی مثبت و معنی دار تعداد پاجوش با ارتفاع ساقه ($r=0/98$)، طول برگ ($r=0/96$) و عرض برگ ($r=0/98$)، نشن یونی ($r=0/99$) و زیست توده کل ($r=0/95$) مشاهده شد. ارتفاع ساقه با عرض برگ ($r=0/97$) و نشن یونی ($r=0/99$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت. طول برگ با وزن تر اندام هوایی ($r=0/97$)، وزن اشباع ($r=0/96$)، محتوای آب نسبی ($r=0/95$) و زیست توده کل ($r=0/99$) همبستگی مثبت و معنی داری نشان داد. عرض برگ با محتوای آب نسبی ($r=0/97$)، نشن یونی ($r=0/96$) و زیست توده کل ($r=0/98$) همبستگی مثبت و معنی داری داشت. بین وزن تر اندام هوایی با وزن اشباع ($r=0/99$) همبستگی مثبت مشاهده شد. بین وزن اشباع با کلروفیل کل ($r=0/97$) و زیست توده کل

جدول (۲) تجزیه واریانس اثر کاربرد بیوجار 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 برگ 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 بیوجار و میکوریزا بر صفات فیزیولوژیکی زامیفولیا

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

(Mean of squares) میانگین مربعات													
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	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

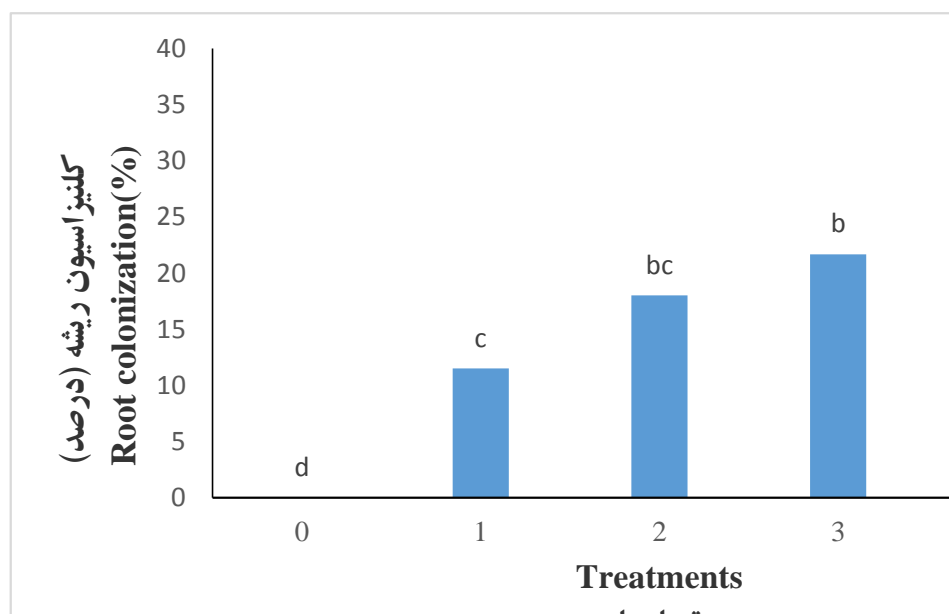
ns: Not significant, **: significant at P<0.01

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

جدول (۴) مقایسه میانگین اثر بیوجار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار بر صفات مورفولوژیکی زامیفولیا. در هر ستون میانگین‌هایی 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 arbuscular 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
بیوجار ۵٪+میکوریزا ۶٪ Biochar5%+mycorrhiza6%	0 ^b	0 ^b	2.33 ^b	12.14 ^{ab}	7.66 ^a	2.77 ^b
بیوجار ۵٪+میکوریزا ۱۲٪ Biochar5%+mycorrhiza12%	0.33 ^{ab}	0.83 ^b	2.66 ^b	15.1 ^a	6.66 ^{ab}	5.7 ^a
بیوجار ۱۰٪+میکوریزا ۶٪ Biochar10%+mycorrhiza6%	1 ^a	3.35 ^a	2.33 ^b	16.33 ^a	5.33 ^{ab}	1.05 ^c
بیوجار ۱۰٪+میکوریزا ۱۲٪ Biochar10%+mycorrhiza12%	0.66 ^{ab}	1.63 ^{ab}	2.33 ^b	12.66 ^{ab}	8 ^a	3.12



شکل (۱) مقایسه میانگین اثر بیوجار و کود زیستی میکوریزا آربسکولار بر میزان کلنیزاسیون ریشه

زامیفولیا. تیمارها شامل صفر) شاهد=بیوجار صفر+ کود زیستی میکوریزا آربسکولار صفر، (۱) بیوجار ۵٪+ کود زیستی میکوریزا آربسکولار ۶٪، (۲) بیوجار ۵٪+ کود زیستی میکوریزا ۱۲٪، (۳) بیوجار ۱۰٪+ کود زیستی میکوریزا ۶٪، (۴) بیوجار ۱۰٪+ کود زیستی میکوریزا آربسکولار ۱۲٪.

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



شکل (۲) تاثیر کاربرد همزمان بیوجار و میکوریزا آربسکولار بر ازدیاد زامیفولیا از طریق قلمه برگه (a) بیوجار ۵ درصد و میکوریزا آربسکولار ۱۲ درصد (b) بیوجار ۵ درصد و میکوریزا ۶ درصد (c) عدم کاربرد بیوجار و میکوریزا آربسکولار (d) کلنیزاسیون (نقاط صورتی تیره) در سلول های ریشه رنگ آمیزی شده در تیمارهای میکوریزا آربسکولار ۱۲ درصد و (e) صفر (بزرگنمایی 40X)

Figure (2) Simultaneous application effect of biochar and arbuscular mycorrhiza on *Zamifolia* 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

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

جدول (۷) همبستگی بین صفات مورفوفیزیولوژیکی در گیاهچه‌های ازدیاد شده از قلمه برگی زامیفولیا. tr1 تا tr21 به ترتیب 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 زیر زمینی، وزن اشباع، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نشت یونی، محتوای آب نسبی، زیست توده، درصد کلنیزاسیون می باشد.

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	

تواند به علت بهبود وضعیت بستر کشت باشد. کاربرد ترکیبی بیوچار و AMF به طور قابل توجهی سبب افزایش فعالیت قلیایی فسفومونواستراز، دهیدروناز و دی استات فلورسین و همچنین زیست توده میکروبی و اسپورهای AMF می شود (۲۷).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد ارتفاع ساقه در تیمارهایی که میکوریزا آربوسکولار استفاده شده بود افزایش داشت. همزیستی میکوریزی با داشتن توانایی های منحصر به فردی، در افزایش قابلیت دسترسی سایر عناصر از جمله روی، مس و همچنین ترشح هورمون های تحریک کننده رشد، علاوه بر تامین سفر مورد نیاز گیاه رشد و عملکرد را هرچه بیشتر افزایش می دهند (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 ریشه دهی سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی از حجم بیشتری از خاک می شود. علت این موضوع به دلیل انتشار میسلیوم قارچ های میکوریزا مرتبط با بافت های درونی ریشه در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل بر سیستم ریشه ای گیاه است (۱). در این آزمایش طول ریشه با کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار در بستر کشت افزایش یافت. طبق پژوهش هایی که بر شفلرا انجام گرفت استفاده از میکوریزا بر ریشه های گیاه اثر تحریکی داشت (۱۰) که با نتایج این آزمایش همسو بود. در پژوهشی مشابه تلقیح قارچ میکوریزا آربوسکولار با بستر کشت ارقام گل رز مینیاتوری سبب افزایش ریشه زایی و کیفیت ریشه ها گردید (۴۳). با توجه به این که قارچ میکوریزا از طریق افزایش سطح ریشه، سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی می شود، این شرایط می تواند سبب فتوسنتز بیشتر و در نهایت رشد بهتر اندام های گیاه شود (۱۱ و ۴۰). نتایج این آزمایش نشان داد

پژوهش هایی مبنی بر اثر مستقیم بیوچار بر انتقال مواد غذایی به گیاه در دسترس است (۱۳). بیوچار به دلیل اثر بر افزایش قدرت تبادل کاتیونی، سبب دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی می شود (۴۱). همان طور که از نتایج این آزمایش مشخص شد، بیوچار سبب افزایش معنی دار ارتفاع ساقه در گیاه زامیفولیا شد. بیوچار با فراهم نمودن عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه می تواند سبب بهبود شاخص های رشد گیاه از جمله افزایش ارتفاع ساقه و تعداد برگ گیاه شود. این موضوع می تواند به دلیل تاثیرات مثبت بیوچار بر خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش جذب عناصر مورد نیاز توسط گیاه باشد (۲۶). کریمی و همکاران^۱ (۲۸) در مطالعه ای بیان کردند که بیوچار دارای توانایی زیادی در نگهداری عناصر غذایی در خاک می باشد و به طور معمول توانایی خاک را برای نگهداشت و حفظ عناصر غذایی و کاتیون های تبدلی در یک فرم قابل دسترس برای گیاه را دارد. در مطالعه ای کاربرد بیوچار به عنوان جزئی از ترکیب بستر کشت به میزان ۲۰ و ۵۰ درصد حجمی سبب بهبود ریشه زایی 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 به ویژه 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 زیست توده در گیاهان می شود (۴، ۱۶ و ۳۹). نتایج تحقیق نشان داد استفاده از بیوچار نسبت به شاهد تاثیر معنی دار 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 می -

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

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 بیوچار ۱۰ 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.

سپاس‌گزاری

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

استفاده از میکوریزا آربسکولار 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 آربسکولار 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 آربسکولار 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 آربسکولار 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 می‌دهند. علاوه بر این، آنها سبب سنتز یکسری فیتوهورمون‌های درون‌زا و تولید آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شوند (۲۷). بنابراین افزایش در رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی احتمالاً به‌دلیل افزایش میزان جذب عناصر غذایی 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.

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., Lazzizzera, C. and Elia, A. 2015. Influence of biochar, mycorrhizal inoculation, and fertilizer rate on growth and flowering of *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 interaction*, 12, 79-93.
18. Farhadi, A., Enayatizamir, N., Farrokhan Firouzi, A. and Howizeh, 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 antidotale*). *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 and 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 mycorrhizal fungi in commercial propagation of *Sansevieria trifasciata* varietals. *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 Plant Interaction*, 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 Characteristics 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., Kulasoorya, 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.