"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد دوازدهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢
(ص ٨٤-٦٩)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of Seed Science and Technology
Vol.: 12, No.: 4, Winter 2024
(pp: 69-84)
DOI: 10.22092/ijsst.2023.362146.1483
Research Article

تأثیر تلقیح بذر با قارچ میکوریزا بر شاخص‌های سبزشدن و رشدی دو رقم پاپایا (*Carica papaya* L.) در بسترهای کشت مختلف

علی نجم[1]، مهدی آران[2*]، عبدالرحمن رحیمیان بوگر[3]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲. دانشیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳. استادیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳)

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی جوانه‌زنی و رشد دانهال دو رقم پاپایا (*Carica papaya* L.) در پاسخ به تلقیح قارچ میکوریزا و بسترهای کشت به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل رقم در ۲ سطح (ردلیدی (Red Lady) (V_1) و بنگلادشی (V_2))، بستر کشت در ۵ سطح (کمپوست + پرلیت + ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱) (S_1)، کمپوست + پرلیت + کوکوپیت (۱:۱:۱) (S_2)، کمپوست + ورمی‌کمپوست + کوکوپیت (۱:۱:۱) (S_3)، پرلیت + ورمی‌کمپوست + کوکوپیت (۱:۱:۱) (S_4) و کمپوست + پرلیت + ورمی‌کمپوست + کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) (S_5)) و میکوریزا در ۲ سطح (عدم تلقیح به عنوان شاهد (M_0) و تلقیح (M_1)) بود. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار بستر کشت و میکوریزا بر متغیرهای سبزشدن و رشد و نمو ارقام پاپایا بودند. در تیمار تلقیح با میکوریزا، بیشترین درصد سبزشدن (۷۷/۳۳ درصد) و شاخص سرعت سبزشدن (۰/۶۳) در رقم بنگلادشی و کمترین میانگین زمان سبزشدن برای هر دو رقم (۱۲/۸۷ و ۱۲/۴۵ روز به ترتیب برای رقم ردلیدی و بنگلادشی) مشاهده شد. بیشترین ارتفاع گیاهچه و طول ریشه برای تیمارهای $V_1S_4M_1$ و $V_2S_5M_1$ و بیشترین وزن خشک شاخساره (۰/۲۷۶ گرم) برای تیمار $V_2S_5M_1$ ثبت شد. مطابق نتایج به دست آمده، تلقیح بذرها در هر دو رقم ردلیدی و بنگلادشی پاپایا با قارچ میکوریزا و بسترهای حاوی مواد آلی به ویژه ورمی‌کمپوست، باعث بهبود صفات سبزشدن و رشدی دانهال‌ها شد. بنابراین با توجه به مزایا و سازگاری قارچ‌های میکوریزا می‌توان به عنوان یک تیمار مناسب برای بهبود سبزشدن و رشد دانهال‌های پاپایا استفاده کرد.

کلمات کلیدی: دانهال، درصد سبزشدن، سرعت سبزشدن، میکوریزا، ورمی‌کمپوست

The effect of seed inoculation with mycorrhizal fungi on germination and growth indicators of two papaya (*Carica papaya* L.) varieties in different culture substrates

A. Najm[1], M. Aran[2*], A. Rahimian Boogar[3]

1. Graduate student, Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
2. Associate Professor, Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
(Received: Apr. 29, 2023 – Accepted: Jun. 03, 2023)

Abstract

This experiment was conducted to investigate the germination and seedling growth of two papaya (*Carica papaya* L.) varieties in response to the inoculation of mycorrhizal fungi and culture substrates in a factorial in the form of a completely randomized design. The experiment factors include varieties at 2 levels (Red Lady (V_1) and Bangladeshi (V_2)), culture substrate at 5 levels (compost + perlite + vermicompost (1:1:1) (S_1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1) (S_2), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1) (S_3), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) (S_4) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1) (S_5)), and mycorrhizal at 2 levels (no inoculation as control (M_0) and inoculation (M_1)). The results indicated a significant effect of culture substrate and mycorrhizal on germination and growth characteristics of papaya varieties. In the mycorrhizal inoculation treatment, the highest germination percentage (77.33%) and germination speed index (0.63) were observed in the Bangladeshi variety and the lowest average germination time for both varieties (12.87 and 12.45 days for Red Lady and Bangladeshi varieties, respectively). The highest seedling height and root length were recorded for $V_1S_4M_1$ and $V_2S_5M_1$ treatments, and the highest shoot dry weight (0.276 g) was recorded for $V_2S_5M_1$ treatment. According to the obtained results, inoculation of seeds in both Red Lady and Bangladeshi papaya varieties with mycorrhizal fungi and substrates containing organic matter, especially vermicompost, improved the germination and growth characteristics of the seedlings. Therefore, according to the advantages and compatibility of mycorrhizal fungi, it can be used as a suitable treatment to improve the germination and growth of papaya seedlings.

Keyword: Germination percentage, Germination speed, Mycorrhizal, Seedling, Vermicompost

* Email: mehdiaran@uoz.ac.ir

مقدمه

پاپایا (*Carica papaya* L.) یک میوه گرمسیری از خانواده Caricaceae می باشد (Dotto and Abihudi, 2021) و در سطحی گسترده در آسیای جنوب‌شرقی و آمریکای مرکزی کشت و به عنوان یک میوه تازه‌خوری یا فرآوری شده مصرف می شود (Jaihan *et al*., 2022). استان سیستان و بلوچستان قطب تولید پاپایا در کشور ایران به شمار می‌رود و به دلیل مغذی بودن میوه پاپایا، کشت آن در سایر مناطق گرمسیری نیز اهمیت بسیاری دارد (Madani and Boroujerdnia, 2019). پاپایا توسط بذر تکثیر می‌شود و جوانه‌زنی بذر آن اغلب آرام، نامنظم و ناقص می‌باشد (Chacko and Singh, 1971).

کودهای زیستی شامل میکروارگانیسم‌های زنده یا ترکیبات طبیعی مشتق شده از موجودات زنده مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها هستند که باعث بهبود ساختار خاک از لحاظ شیمیایی و بیولوژیکی، حاصلخیزی خاک و تحریک رشد گیاه می‌شوند (Garcia-Gonzalez and Sommerfeld, 2016). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار همزیست‌های ریشه‌ای هستند که ۹۰٪ گیاهان آوندی را کلونیزه می‌کنند. این قارچ‌ها جذب آب و مواد معدنی گیاهان را افزایش می‌دهند و رشد گیاه را در محیطی با مواد مغذی محدود حفظ می‌کنند که ناشی از پتانسیل آن‌ها در کاهش آبشویی مواد مغذی از خاک است (Ziane *et al*., 2021).

قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار با افزایش در سرعت جوانه‌زنی، افزایش طول و وزن ریشه‌چه، تسریع در طویل شدن ریشه و استقرار گیاه و افزایش تعداد ریشه‌های جانبی منجر به بهبود صفات کمی و کیفی گیاهان مختلف می‌شوند (Dobbelaere *et al*., 2003). در مطالعه‌ای بر روی پاپایا (*Carica papaya* L. v. Solo) مشخص شد که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا آربوسکولار نسبت به گیاهان تلقیح نشده در شرایط عادی و یا در شرایط تنش آبی، وزن تر بیشتری داشتند (Cruz *et al*., 2000). با بررسی نتایج به دست آمده از مطالعه دسای و همکاران (Desai *et al*., 2022)، استفاده از قارچ *Trichoderma harzianum* با افزایش درصد جوانه‌زنی همراه با سبز شدن زودهنگام و تثبیت کلیه پارامترهای رشد، تأثیر قابل توجهی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پاپایا نشان داد.

بستر کشت نیز نقش مهمی در جوانه‌زنی بذر دارد و نه تنها به عنوان یک پشتیبان عمل می‌کند، بلکه منبعی از مواد مغذی ضروری برای رشد گیاه است. ترکیب بستر بر کیفیت نهال تأثیر می‌گذارد (Wilson *et al*., 2001). بستر های کشت غنی از مواد مغذی، دارای ظرفیت نگهداری آب بالا و تخلخل کافی (تسهیل جذب اکسیژن توسط ریشه) می‌توانند منجر به تولید گیاهان سالم و با عملکرد بالا شوند (Meng *et al*., 2018). ورمی‌کمپوست غنی از درشت مغذی‌ها و ریز مغذی‌ها، هیومیک اسیدها و محرک‌های رشد گیاهی شامل آکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها است (Čabilovski *et al*., 2023). همچنین به دلیل تخلخل کافی، هوادهی مناسب، زهکشی و ظرفیت نگهداری آب بالا، بستر مناسبی برای رشد بسیاری از گونه‌های گیاهی است (Hassan *et al*., 2022). چوداری و همکاران (Choudhary *et al*., 2022) گزارش کردند که بستر ترکیبی خاک + کود دامی + ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱) به طور قابل توجهی سبب افزایش تعداد ریشه‌های اولیه و ثانویه، طول ریشه های اولیه و ثانویه، وزن تر و خشک ریشه‌ها، ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ، قطر ساقه، سطح برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و در صد بقای گیاهچه‌های پاپایا شد.

کوکوپیت دارای pH، EC و دیگر ویژگی‌های شیمیایی مناسب است؛ اما به علت ظرفیت نگهداری آب بالا منجر به هوادهی کم در بستر می‌شود؛ بنابراین نفوذ اکسیژن به ریشه‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد؛ لذا افزودن مواد درشت‌تر مانند پرلیت به کوکوپیت می‌تواند باعث

بهبود وضعیت هوادهی بستر کشت شود (Awang, 2009). پرلیت یک ماده معدنی سیلیسی با منشا آتشفشانی است که به طور گسترده در باغبانی به عنوان محیط رشد گیاهان استفاده می شود و سبکی، یکنواختی و سهولت استخراج ریشه از مشخصات بارز آن می‌باشد (Jackson, 1974). در مطالعه انجام شده توسط شار ما و همکاران (Sharma *et al*., 2021)، کاربرد ترکیبی خاک + ماسه + ورمیکولیت + کوکوپیت + پرلیت (۱:۱:۱:۱:۱) با ادرار گاو بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه پاپایا تأثیر قابل توجهی داشت؛ به طوری که حداکثر درصد جوانه‌زنی، حداقل دوره جوانه‌زنی و بیشترین ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ و قطر ساقه برای این بستر کشت گزارش شد.

با در نظر گرفتن تأثیر همزیستی قارچ‌های میکوریزا و بستر کشت بر فرآیندهای جوانه‌زنی و رشد، این تحقیق با هدف بررسی اثر تلقیح بستر با قارچ میکوریزا بر جوانه‌زنی و رشد و نمو ارقام ردلیدی و بنگلادشی پاپایا انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر به صورت فاکتوریل با سه عامل رقم، بستر کشت و میکوریزا در قالب طرح کاملا تصادفی با ۲۰ تیمار، ۳ تکرار و ۱۰ بذر در هر تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل با شرایط دمایی ۲۶ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ۸۰٪ و طول دوره روشنایی ۱۲ ساعت انجام شد. ارقام مورد بررسی شامل ردلیدی (V_1) و بنگلاد شی (V_2)، بستر کشت شامل کمپوست + پرلیت + ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱) (S_1)، کمپوست + پرلیت + کوکوپیت (۱:۱:۱) (S_2)، کمپوست + ورمی‌کمپوست + کوکوپیت (۱:۱:۱) (S_3)، پرلیت + ورمی‌کمپوست + کوکوپیت (۱:۱:۱) (S_4) و کمپوست + پرلیت + ورمی‌کمپوست + کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) (S_5) و میکوریزا شامل عدم تلقیح به عنوان شاهد (M_0) و تلقیح (M_1) بود. بذور پاپایا از فروشگاه فردین کشت در استان البرز تهیه شد. میکوریزا بر پایه قارچ *Glomus mosseae* (هر گرم حاوی حداقل ۱۰۰ اندام فعال) از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان استان البرز خریداری شد و طبق توصیه شرکت تولیدکننده به میزان ۵۰ گرم در هر یک لیتر بستر، مورد مصرف قرار گرفت. در ابتدا بذر ها توسط محلول ۱٪ هیپوکلریت سدیم به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و پس از آن با آب مقطر چند بار شستشو داده شدند (Abdul-Baki, 1974) و در گلدان‌های پلاستیکی (ارتفاع ۱۲/۵ سانتی‌متر، قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر، عمق ۱۲/۵ سانتی‌متر) حاوی بسترهای کشت موردنظر کشت شدند (در هر گلدان ۲ عدد بذر). مشاهدات مربوط به پارامترهای جوانه‌زنی از ۱۰ بذر و پارامترهای رشد ۴۵ روز پس از کاشت با انتخاب ۳ گیاهچه به طور تصادفی اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- مشخصات ورمی‌کمپوست مورد استفاده در بسترهای کشت

Table 1- Characteristics of vermicompost used in culture substrate

pH	EC (dSm^{-1})	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mg (%)	آهن Fe (mg/kg)	منگنز Mn (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)
7.64	1.12	1.55	0.4	0.4	2.73	0.95	5000	275	20	110

اندازه‌گیری صفات

درصد سبزشدن (GP) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Tavares *et al*., 2020).

$$GP = \left(\frac{n}{t}\right) \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

n = تعداد بذرهای سبزشده در پایان آزمایش

t = تعداد کل بذرها

شاخص سرعت سبز شدن (GSI) از رابطه ۲ به د ست آمد (Maguire, 1962).

$$GSI = \sum \frac{ni}{ti} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

ni = تعداد بذرهای سبزشده در طی ۳۰ روز

ti = تعداد روزهای پس از کاشت

میانگین زمان سبزشدن (MGT) بر اساس رابطه ۳ برآورد شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$MGT = \frac{(\sum ni \times ti)}{N} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

ni = تعداد بذرهای سبزشده در هر روز

ti = تعداد روزهای پس از شروع آزمایش

N = تعداد کل بذرهای سبزشده در پایان آزمایش

شاخص بنیه گیاهچه (SVI) با استفاده از رابطه ۴ مورد محاسبه قرار گرفت (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

$$SVI = (RL + SL) \times GP \quad \text{(رابطه ۴)}$$

RL = طول ریشه (سانتی‌متر)

SL = ارتفاع گیاهچه (سانتی‌متر)

GP = درصد سبزشدن

ارتفاع گیاهچه با استفاده از خط‌کش، تعداد برگ از طریق شمارش تعداد کل آن‌ها در گیاه و قطر ساقه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری طول ریشه با روش تخریبی ریشه‌کن کردن گیاهان انجام شد. وزن خشک شاخساره و ریشه پس از قرار دادن نمونه‌ها در آون با د مای ۷۲ در جه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت (Nautiyal *et al.*, 1986) با ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمایشی مورد ا ستفاده به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار بود. داده‌ها از نظر آماری با تحلیل واریانس (ANOVA) ارزیابی شدند و از نرم‌افزار آ ماری SAS نسخه ۹/۳ برای تجز یه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح $p < 0.05$ مقایسه و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم و تهیه شدند.

نتایج

درصد سبزشدن و شاخص سرعت سبزشدن

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که در صد سبز شدن و شاخص سرعت سبزشدن به طور معنی‌داری تحت‌تأثیر رقم، بستر کشت، میکوریزا و اثر متقابل رقم در میکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). بنابر نتایج مقایسه میانگین‌ها، اثر متقابل بین رقم و میکوریزا تأثیر قابل‌توجهی بر این صفات داشت و در هر دو رقم تلقیح با قارچ میکوریزا باعث افزایش درصد سبزشدن و شاخص سرعت سبزشدن شد. بیشترین درصد سبزشدن (۷۷/۳۳ درصد) و شاخص سرعت سبزشدن (۰/۶۳) برای رقم بنگلادشی و تلقیح با قارچ میکوریزا (V_2M_1) ثبت شد و در مقابل کمترین مقادیر در هر دو رقم و تیمار بدون تلقیح با قارچ (V_1M_0) و (V_2M_0) مشاهده شد (شکل ۱ و ۲). در بین بسترهای کشت، کمترین درصد سبزشدن (۵۴/۱۶ درصد) و شاخص سرعت سبزشدن (۰/۳۸) در بستر S_2 ثبت شد و سایر بسترهای کشت بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، بیشترین میزان این دو پارامتر را نشان دادند (جدول ۳).

میانگین زمان سبزشدن

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس، اثر رقم، میکوریزا و اثر متقابل رقم و میکوریزا بر میانگین زمان سبزشدن تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین ها حاکی از کاهش معنی‌دار میانگین زمان سبزشدن در هر دو رقم با تلقیح به وسیله قارچ میکوریزا (V_2M_1 برابر با ۱۲/۴۵ و V_1M_1 برابر با ۱۲/۸۷ روز) به دست آمد. در مقابل، تیمار V_2M_0 میانگین زمان سبزشدن را به ۱۶/۴ روز افزایش داد (شکل ۳).

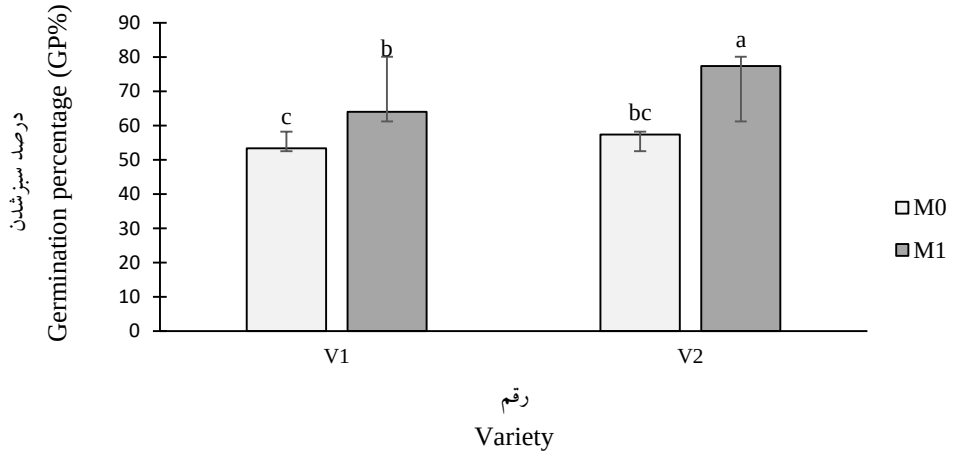
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات سبزشدن

Table 2- Analysis of variance of germination traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares			
		درصد سبزشدن Germination percentage (GP%)	شاخص سرعت سبزشدن Germination speed index (GSI)	میانگین زمان سبزشدن Mean germination time (days)	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index (SVI)
رقم Variety (V)	1	1126.667**	0.045**	7.689**	791156**
بستر کشت Culture substrate (S)	4	373.333**	0.029**	0.771ns	594430**
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	3526.667**	0.626**	119.116**	5415491**
رقم × بستر کشت V×S	4	101.667ns	0.006ns	0.353ns	211828**
رقم × میکوریزا V×M	1	326.667*	0.074**	19.244**	135489*
بستر کشت × میکوریزا S×M	4	126.667ns	0.009ns	0.024ns	78849ns
رقم × بستر کشت × میکوریزا V×S×M	4	68.333ns	0.004ns	0.072ns	58012ns
خطا Error	40	75.000	0.003	0.371	32437
ضریب تغییرات CV (%)	-	13.75	13.27	4.33	13.92

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** is no significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively

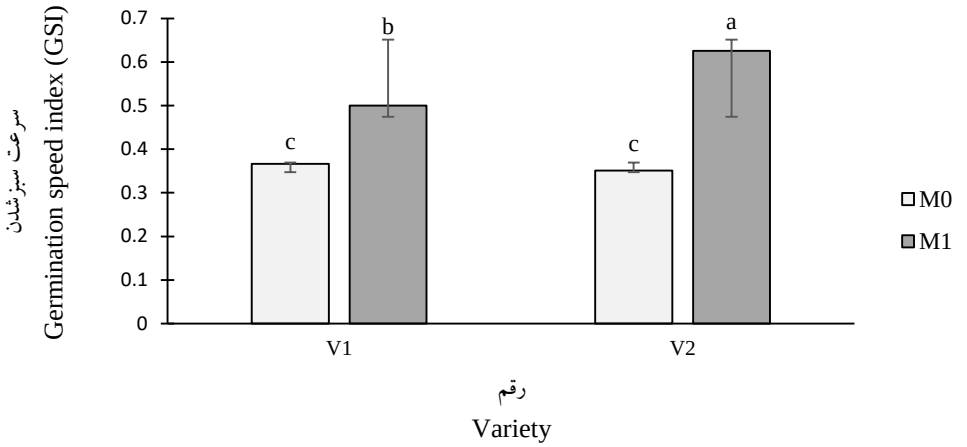


شکل ۱- اثر رقم و میکوریزا بر درصد سبزشدن

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 1- The effect of Variety and mycorrhiza on germination percentage (GP)

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza. Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۲- اثر رقم و میکوریزا بر سرعت سبزشدن

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 2- The effect of Variety and mycorrhiza on germination speed index (GSI)

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza. Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.

جدول ۳- اثرات میکوریزا بر تعداد برگ و بستر کشت بر درصد سبزشدن و شاخص سرعت سبزشدن

Table 3- Effects of mycorrhiza on number of leaves and culture substrate on germination percentage and germination speed index

تیمارها Treatments		درصد سبزشدن Germination percentage (GP%)	شاخص سرعت سبزشدن Germination speed index (GSI)	تعداد برگ Number of leaves
میکوریزا Mycorrhiza (M)	M_0	-	-	5.56 b
	M_1	-	-	5.86 a
بستر کشت Culture substrate (S)	S_1	60.83 ab	0.44 ab	-
	S_2	54.16 b	0.38 b	-
	S_3	67.50 a	0.50 a	-
	S_4	65.83 a	0.49 a	-
	S_5	66.66 a	0.49 a	-

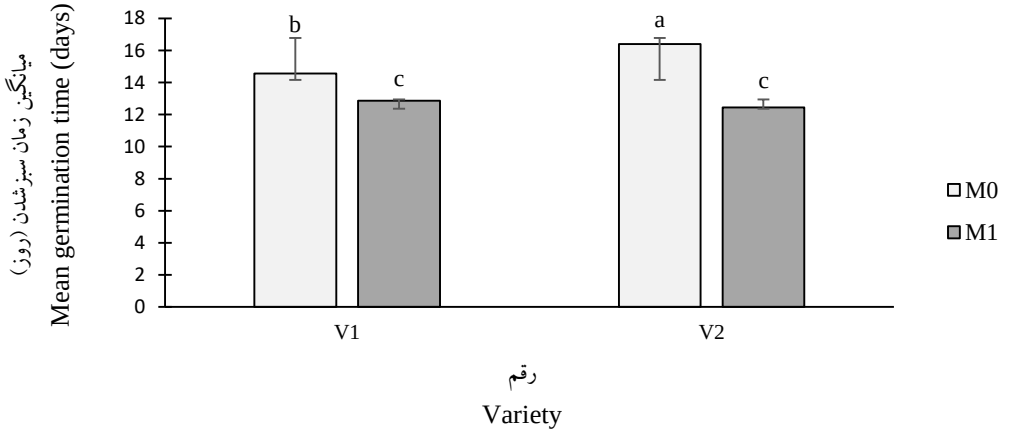
M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) و ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1).
Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.

شاخص بنیه گیاهچه

هر یک از اثرات ساده رقم، بستر کشت و میکوریزا و اثر متقابل رقم و بستر کشت و رقم و میکوریزا بر شاخص بنیه گیاهچه تأثیر معنی‌داری در سطح یک در صد دا شتند (جدول ۲). با بررسی اثر متقابل رقم و بستر کشت، بیشترین شـــاخص بنیه گیاهچه برای تیمارهای V_2S_5 (۱۷۳۰/۸۷)، V_2S_3 (۱۵۲۹/۸۵)، V_1S_4 (۱۵۲۴/۷۵) و V_2S_4 (۱۴۰۷/۳) و کمترین میزان آن برای تیمار V_1S_2 (۸۶۴/۳) به دســت آمد

که از لحاظ آماری با تیمارهای V_1S_1، V_1S_5 و V_2S_2 اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و میکوریزا نشان داد که در هر دو رقم، تلقیح با قارچ میکوریزا باعث افزایش شاخص بنیه گیاهچه شد و بیشترین میزان این پارامتر (۱۷۵۷/۰۶) در تیمار V_2M_1 و کمترین میزان (۹۲۶/۵۴ و ۱۰۶۱/۱۶ به ترتیب برای رقم ردلیدی و بنگلادشی) در گیاهان بدون تلقیح با قارچ میکوریزا مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۳- اثر رقم و میکوریزا بر میانگین زمان سبزشدن

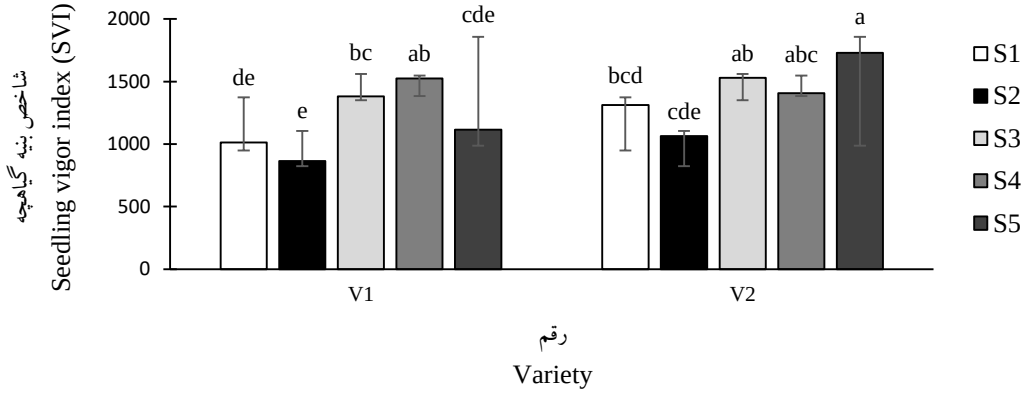
V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 3- The effect of Variety and mycorrhiza on mean germination time (MGT)

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza.

Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۴- اثر رقم و بستر کشت بر شاخص بنیه گیاهچه

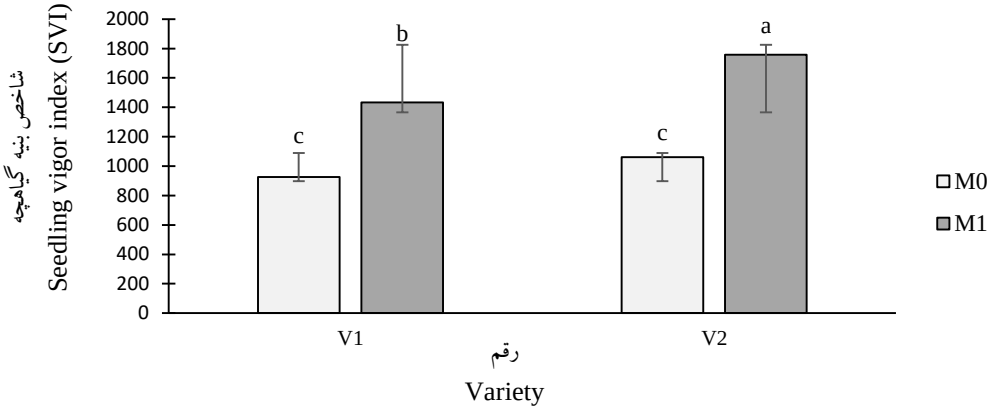
V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱).

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 4- The effect of Variety and culture substrate on seedling vigor index (SVI)

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1).

Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۵- اثر رقم و میکوریزا بر شاخص بنیه گیاهچه

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 5- The effect of Variety and mycorrhiza on seedling vigor index (SVI)

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza.

Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.

ارتفاع گیاهچه و طول ریشه

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار اثرات ساده رقم، بستر کشت، میکوریزا و اثرات متقابل این عوامل در سطح آماری یک درصد بر پارامترهای ارتفاع گیاهچه و طول ریشه بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها، گیاهان حاصل از تیمار های $V_1S_4M_1$ و $V_2S_5M_1$ به ترتیب با ۱۷/۷۳ و ۱۶/۷۱ سانتی‌متر دارای بیشترین ارتفاع گیاهچه و با ۸/۰۷ و ۸/۴۵ سانتی‌متر دارای بیشترین طول ریشه بودند. کمترین ارتفاع گیاهچه (۹/۴۱ سانتی‌متر) و طول ریشه (۳/۳۹ سانتی‌متر) را تیمار $V_1S_2M_0$ به ثبت رساند؛ با این حال از لحاظ ارتفاع گیاهچه با تیمارهای $V_1S_1M_0$ و $V_1S_5M_0$ در یک کلاس آماری قرار داشت (شکل ۶ و ۷).

تعداد برگ

بنابر داده‌های به دست آمده از تجزیه واریانس، اثر رقم، بستر کشت، میکوریزا و اثر متقابل رقم و بستر کشت بر صفت تعداد برگ در سطح یک درصد معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۴). در بررسی نتایج برهمکنش دو عامل رقم و بستر کشت، تیمارهای V_2S_5 و V_1S_4 به ترتیب با ۷/۵۶ و ۷/۵ عدد بیشترین تعداد برگ را نشان دادند و در عین حال کمترین تعداد برگ (۳/۰۶) به گیاهان به دست آمده از تیمار V_1S_2 مربوط بود (شکل ۸). مطابق نتایج مطالعه حاضر، تلقیح میکوریزا منجر به افزایش تعداد برگ در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح (شاهد) شد (جدول ۳).

قطر ساقه

با بررسی نتایج مربوط به صفت قطر ساقه مشخص شد که اثرات ساده رقم و بستر کشت و اثر متقابل بین آن‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بنابر نتایج مقایسه میانگین‌ها، میزان قطر ساقه تحت‌تأثیر تیمارها از ۱/۱۳ تا ۳/۲۱ میلیمتر متغیر بود که بیشترین و کمترین میزان به ترتیب برای تیمارهای V_1S_4 و V_1S_2 به دست آمد (شکل ۹).

وزن خشک شاخساره و ریشه

بررسی نتایج تجزیه واریانس مربوط به وزن خشک شاخساره، تأثیر معنی‌دار اثر رقم، بستر کشت، میکوریزا و برهمکنش بین آن‌ها را در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۴). از سوی دیگر، اثر ساده رقم، بستر کشت،

میکوریزا و اثر متقابل رقم و بستر کشت، بستر کشت و میکوریزا و رقم، بستر کشت و میکوریزا بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. گیاهان تلقیح شده با میکوریزا، وزن خشک شاخساره بیشتری داشتند؛ به طوری که تیمار $V_2S_5M_1$ نسبت به دیگر تیمارها برتر بود و بیشترین وزن خشک شاخساره (۰/۲۷۶ گرم) در آن مشاهده شد؛ با این حال کمترین وزن خشک شاخساره برای تیمارهای $V_2S_1M_0$ (۰/۰۸۹ گرم)، $V_2S_4M_0$ (۰/۰۷۵ گرم) و $V_2S_2M_0$ (۰/۰۶۷ گرم) ثبت شد (شکل ۱۰). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، گیاهان تلقیح شده با میکوریزا، وزن خشک ریشه بیشتری داشتند و بیشترین وزن خشک ریشه در تیمارهای $V_1S_1M_1$، $V_1S_3M_1$، $V_1S_4M_1$، $V_1S_5M_1$، $V_2S_1M_1$، $V_2S_3M_1$ و $V_2S_5M_1$ مشاهده شد (شکل ۱۱).

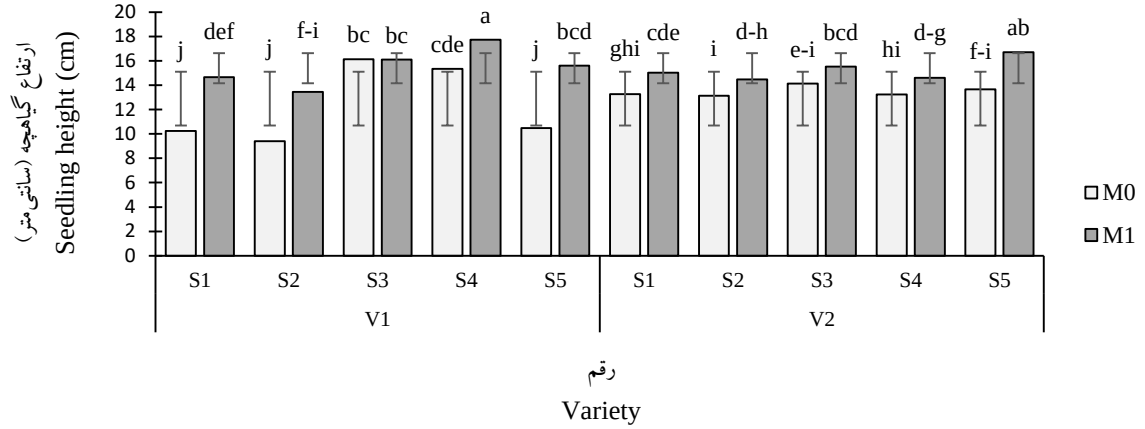
جدول ۴- تجزیه واریانس صفات رشدی و زیست‌توده گیاهچه

Table 4- Analysis of variance of growth and seedling biomass traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares					
		ارتفاع گیاهچه Seedling height (cm)	تعداد برگ Number of leaves	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول ریشه Root length (cm)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
رقم Variety (V)	1	3.183**	3.422**	0.576**	1.35**	0.079**	0.0002**
بستر کشت Culture substrate (S)	4	17.964**	22.411**	5.352**	7.042**	0.011**	0.0002**
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	92.553**	1.347**	0.00002ns	62.179**	0.037**	0.005**
رقم × بستر کشت V×S	4	15.406**	4.845**	1.097**	2.906**	0.003**	0.0001**
رقم × میکوریزا V×M	1	7.392**	0.312ns	0.023ns	1.221**	0.005**	0.00003ns
بستر کشت × میکوریزا S×M	4	4.993**	0.047ns	0.01007ns	0.370**	0.002**	0.00008*
رقم × بستر کشت × میکوریزا V×S×M	4	2.238**	0.179ns	0.012ns	0.675**	0.002**	0.0001**
خطا Error	40	0.185	0.095	0.011	0.036	0.00005	0.00002
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.04	5.42	4.67	3.20	4.59	6.37

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** is no significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively



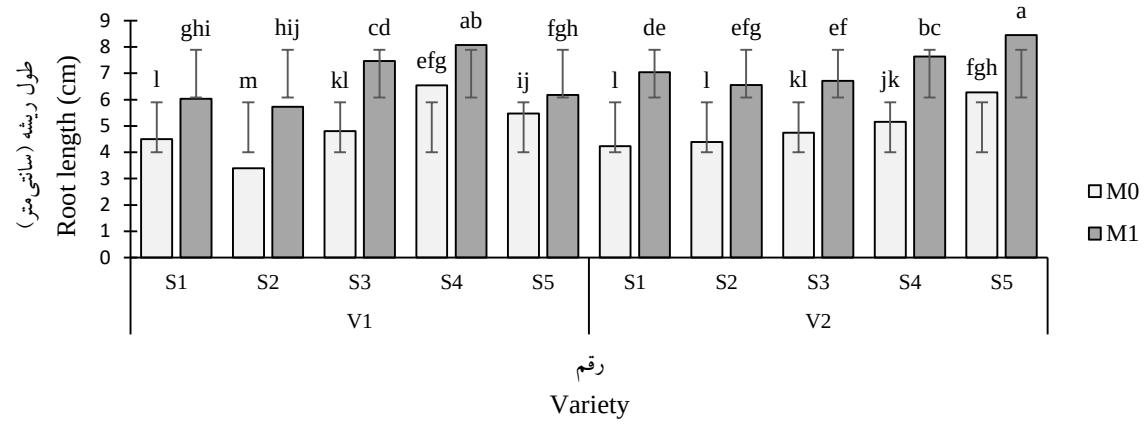
شکل ۶- اثر رقم، بستر کشت و میکوریزا بر ارتفاع گیاهچه

Figure 6- The effect of Variety, culture substrate and mycorrhiza on seedling height

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) و M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1), and M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza. Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



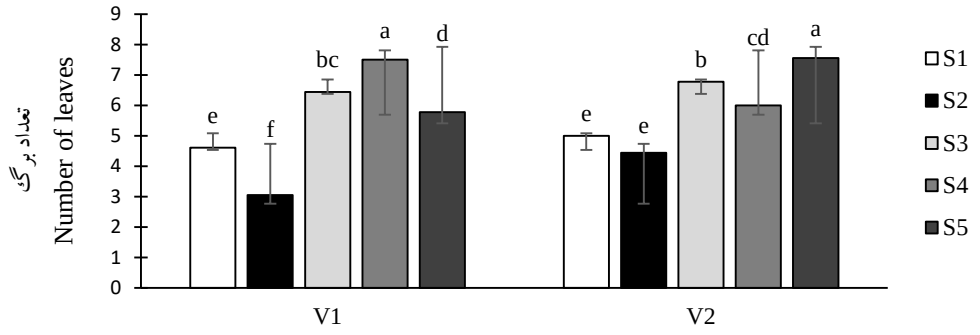
شکل ۷- اثر رقم، بستر کشت و میکوریزا بر طول ریشه

Figure 7- The effect of Variety, culture substrate and mycorrhiza on root length

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) و M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1), and M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza. Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۸- اثر رقم و بستر کشت بر تعداد برگ

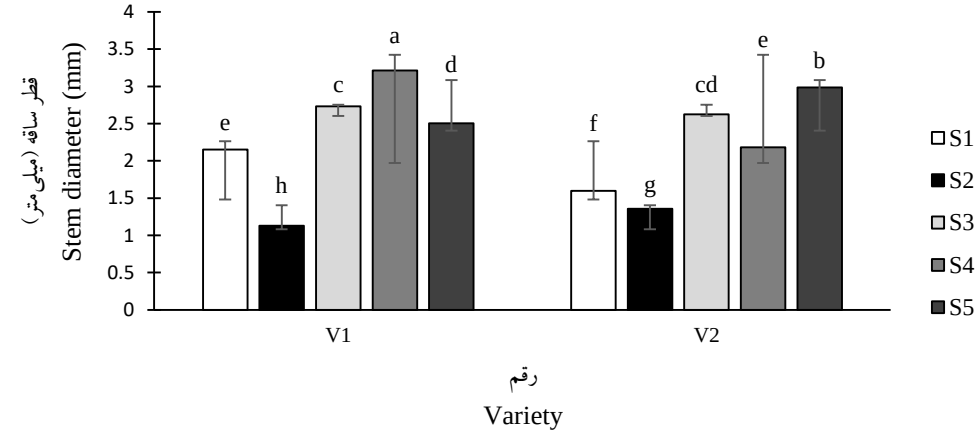
V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱).

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 8- The effect of Variety and culture substrate on number of leaves

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1).

Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۹- اثر رقم و بستر کشت بر قطر ساقه

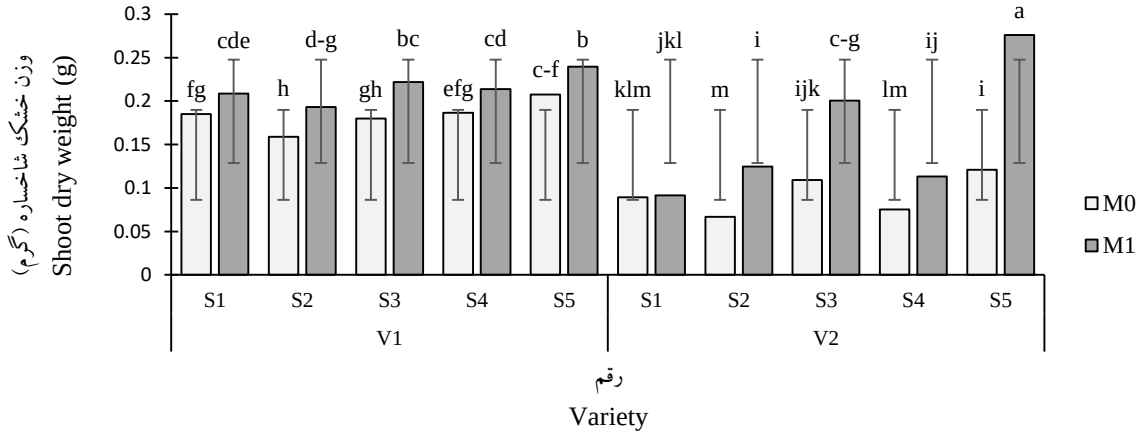
V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱).

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 9- The effect of Variety and culture substrate on stem diameter

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1).

Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



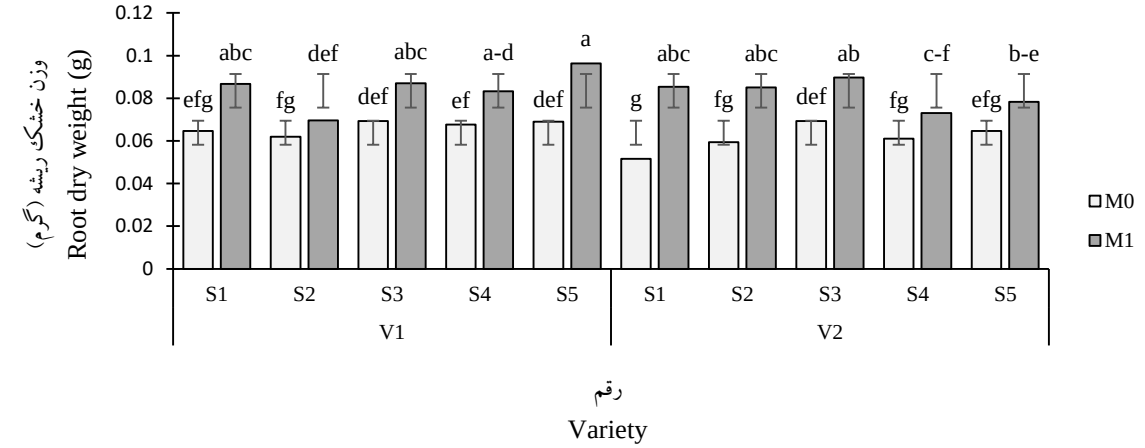
شکل ۱۰- اثر رقم، بستر کشت و میکوریزا بر وزن خشک شاخساره

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) و M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 10- The effect of Variety, culture substrate and mycorrhiza on shoot dry weight

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1), and M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza. Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.



شکل ۱۱- اثر رقم، بستر کشت و میکوریزا بر وزن خشک ریشه

V_1 و V_2 به ترتیب رقم رد لیدی و بنگلادشی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست (۱:۱:۱)، کمپوست: پرلیت: کوکوپیت (۱:۱:۱)، کمپوست: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱)، پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱) و کمپوست: پرلیت: ورمی‌کمپوست: کوکوپیت (۱:۱:۱:۱) و M_0 و M_1 به ترتیب عدم تلقیح (شاهد) و تلقیح شده با میکوریزا.

ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 11- The effect of Variety, culture substrate and mycorrhiza on root dry weight

V_1 and V_2 are Red Lady and Bangladeshi, S_1, S_2, S_3, S_4 and S_5 are compost + perlite + vermicompost (1:1:1), compost + perlite + cocopeat (1:1:1), compost + vermicompost + cocopeat (1:1:1), perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1) and compost + perlite + vermicompost + cocopeat (1:1:1:1), and M_0 and M_1 are uninoculated (control) and inoculated with mycorrhiza. Means with the same letter in each column were not significantly different using Tukey's multiple range test at $p < 0.05$.

بحث

مطابق نتایج به دست آمده از این مطالعه، تلقیح بستر کشت با قارچ میکوریزا، درصد جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی را در هر دو رقم ردلیدی و بنگلادشی افزایش داد که در این میان، رقم بنگلادشی برتر بود؛ با این حال از لحاظ کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. همچنین گیاهان تلقیح شده با میکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده از بنیه بهتری برخوردار بودند. نتایج مطالعه گوتوسکی (Gutowski, 2015) نشان داد که تلقیح میکوریزا آربوسکولار با کاهش دوره جوانه‌زنی و تسریع رشد، تأثیر قابل توجهی بر رشد شلغم (*Brassica rapa*) داشت. دلیل این امر چنین گزارش شد که استریگولاکتون‌های گیاهی در طول فرآیند کلونیزاسیون به عنوان ترکیبات سیگنال‌دهنده عمل می‌کنند و باعث تحریک جوانه‌زنی بذر می‌شوند. همچنین عنوان شد که افزایش تولید آکسین‌ها و سیتوکینین‌ها که باعث رشد گیاه می شوند، با میکوریزا آربوسکولار در ارتباط است. با بررسی تأثیر بستر بر پارامترهای جوانه‌زنی، نتایج بهتری برای بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست مشاهده شد. این امر می‌تواند ناشی از پتانسیل کود ورمی‌کمپوست در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت باشد. در پژوهشی، ترکیب ورمی‌کمپوست + ماسه + خاک (۱:۱:۱) همراه با ۲ سانتی‌متر کوکوپیت در سطح بستر منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، شاخص جوانه‌زنی، ارزش جوانه‌زنی و کاهش دوره جوانه‌زنی در پاپایا (*Carica papaya* L. v. *Red Lady*) گردید که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (Bhardwaj, 2013).

مطابق نتایج، اثر متقابل رقم، بستر کشت و میکوریزا بر متغیرهای ارتفاع گیاهچه، طول ریشه و وزن خشک شاخساره و ریشه معنی‌دار بود. در هر دو رقم مورد بررسی و همه بسترهای کشت، تلقیح با قارچ میکوریزا باعث بهبود صفات ارتفاع گیاهچه، طول ریشه و وزن خشک شاخساره و ریشه شد. بیشترین تعداد برگ در بسترهای تلقیح شده و در تیمارهای V_1S_4 و V_2S_5 مشاهده شد؛ گیاهان تلقیح شده هر دو رقم، رشد قابل توجهی در ریشه و اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد نشان دادند. این امر می‌تواند ناشی از تأثیر قارچ میکوریزا در تسریع فرآیند جوانه‌زنی باشد؛ بدین جهت که گیاهچه‌های حاصل، استقرار و زمان بیشتری برای رشد و نمو داشتند و نیز دارای بیشترین وزن خشک شاخساره و ریشه بودند. با ترشحات ریشه گیاه، به‌ویژه ترکیبات استریگولاکتون، جوانه‌زنی اسپور قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار تحریک می شود و رشد هیف و انشعاب گسترده علاوه بر تغییرات فیزیولوژیکی قارچ اتفاق می‌افتد (Akiyama *et al*., 2005; Besserer *et al*., 2006). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به نوبه خود از طریق عوامل همزیستی به گیاه سیگنال می‌دهند (Chabaud *et al*., 2002; Kosuta *et al*., 2003). شناسایی آن‌ها توسط گیاه منجر به نوسانات کلسیم در سلول‌های اپیدرمی ریشه (Kosuta *et al*., 2008) و فعالسازی ژن‌های مرتبط با همزیستی گیاه می شود (Kosuta *et al*., 2003). سپس قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار تشکیل هیفوپودیوم می‌دهند؛ در حالی که سلول‌های گیاهی یک دستگاه پیش‌نفوذ تولید می‌کنند که اجازه رشد هیف را به سلول‌های اپیدرمی و کلونیزاسیون قشر ریشه می‌دهد. پس از کلونیزاسیون ریشه، قارچ هیف‌های خود را در خاک توسعه داده و منطقه نفوذ ریشه را به میکوریزوسفر گسترش و اجازه می‌دهد حجم بیشتری از خاک، در تماس با ریشه قرار گیرد (Hodge, 2014). نتایج پژوهشی نشان داده است که ارتفاع گیاه، سطح برگ، طول ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا آربوسکولار به طور معنی‌داری بیشتر از گیاهان شاهد بود (Sohn *et al*., 2003). در تحقیقی دیگر، نرخ کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریزا

آربوسکولار در ریشه‌های جانبی نهال‌های تلقیح شده تقریبا ۱۹٪ بیشتر از ریشه‌های جانبی نهال‌های تلقیح نشده بود و ویژگی‌های رشد گیاه مانند ارتفاع گیاه، طول ریشه، سطح برگ، تعداد ریشه‌های جانبی، وزن تر اندام هوایی و ریشه و محتوای کلروفیل در نهال‌های تلقیح شده در مقایسه با نهال‌های تلقیح نشده به طور قابل توجهی افزایش یافت. همچنین محتوای عناصر ماکرو (فسفر، پتاسیم و کلسیم) و عناصر میکرو (مس، آهن و روی) اندام هوایی و ریشه نیز در نهال‌های تلقیح شده به طور قابل توجهی بیشتر بود (Cho *et al*., 2009). عملکرد بهتر بسترهای کشت حاوی ورمی‌کمپوست به دلیل جذب بیشتر عناصر غذایی توسط ریشه، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تخلخل کافی می‌باشد که متعاقبا رشد بهتر ریشه و اندام هوایی را نیز به دنبال دارد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان در بررسی تأثیر بستر کشت بر پارامترهای رشد گیاهچه پاپایا (*Carica papaya* L. v. *Red Lady*) گزارش شده است (Bhardwaj, 2013; Pant and Verma, 2022). نتایج این مطالعه بیانگر این بود که گیاهچه پاپایا در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست و کوکوپیت رشد و نمو بهتری داشت؛ بنابراین استفاده توأم ورمی‌کمپوست و کوکوپیت در ترکیب بستر کشت باعث ایجاد شرایط بهتر فیزیکی و تغذیه‌ای بستر می‌شود.

نتیجه‌گیری

قارچ میکوریزا در تسریع فرآیند جوانه‌زنی و افزایش رشد و نمو گیاهچه پاپایا نقش داشت. بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست از لحاظ جوانه‌زنی، استقرار و رشد گیاهچه برتری نشان دادند. بنابر نتایج به دست آمده، با هدف افزایش درصد جوانه‌زنی و تولید گیاهچه‌های سالم پیشنهاد می‌شود که از رقم بنگلادشی یا ردلیدی پاپایا و تلقیح قارچ‌های میکوریزا در بسترهای حاوی مواد آلی به ویژه ورمی‌کمپوست استفاده شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه زابل به دلیل تامین هزینه‌های این پژوهش (با شماره پژوهانه UOZ-GR-8414) تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

Reference

Abdul-Baki, A. A. 1974. Hypochlorite and tissue sterilization. Planta. 115(4): 373-376. Doi:10.1007/BF00388620.

Abdul-Baki, A. A., and J. D. Anderson. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Sci. 13(6): 630-633. Doi: 10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x.

Akiyama, K., K. I. Matsuzaki, and H. Hayashi. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. Nature. 435: 824-827. Doi: 10.1038/nature03608.

Awang, Y., A. S. Shaharom, R. B. Mohamad, and A. Selamat. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of Celosia cristata. Am. J. Agric. Biol. Sci. 4(1): 63-71. Doi: 10.3844/ajabssp.2009.63.71.

Besserer, A., V. Puech-Pagès, P. Kiefer, V. Gomez-Roldan, A. Jauneau, S. Roy, J. C. Portais, C. Roux, G. Bécard, and N. Séjalon-Delmas. 2006. Strigolactones stimulate Arbuscular mycorrhizal fungi by activating mitochondria. Plos Biol. 4(7): e226. Doi: 10.1371/journal.pbio.0040226.

Bhardwaj, R. L. 2013. Effects of nine different propagation media on seed germination and the initial performance of papaya (*Carica papaya* L.) seedlings. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 88(5): 531-536. Doi: 10.1080/14620316.2013.11513002.

Čabilovski, R., M. S. Manojlović, B. M. Popović, M. T. Radojčin, N. Magazin, K. Petković, D. Kovačević, and M. D. Lakićević. 2023. Vermicompost and vermicompost leachate application in strawberry production: Impact on yield and fruit quality. Horticulturae. 9: 337. Doi: 10.3390/horticulturae9030337.

Chabaud, M., C. Venard, A. Defaux-Petras, G. Bécard, and D. G. Barker. 2002. Targeted inoculation of *Medicago truncatula in vitro* root cultures reveals *MtENOD11* expression during early stages of infection by arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 156(2): 265-273. Doi: 10.1046/j.1469-8137.2002.00508.x.

Chacko, E. K., and R. N. Singh. 1971. Studies on the longevity of papaya, phalsa, guava and mango seeds. Agric. Food Sci. 36: 147-158.

Cho, E. J., D. J. Lee, C. D. Wee, H. L. Kim, Y. H. Cheong, J. S. Cho, and B. K. Sohn. 2009. Effects of AMF inoculation on growth of *Panax ginseng* C.A. Meyer seedlings and on soil structures in mycorrhizosphere. Sci. Hortic. 122(4): 633-637. Doi: 10.1016/j.scienta.2009.06.025.

Choudhary, R. C., J. Kanwar, and P. Singh. 2022. Effect of gibberellic acid (GA_3) and growing media on seedling growth parameters of papaya (*Carica papaya* L.) cv. Pusa Nanha. J. Pharm. Innov. 11(1): 247-251.

Cruz, A., T. Ishii, and K. Kadoya. 2000. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water-stress conditions. Mycorrhiza. 10: 121-123. Doi: 10.1007/s005720000067.

Desai, D. H., R. V. Tank, K. D. Desai, H. S. Desai, V. S. Mehta, and D. D. Champaneri. 2022. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi and bio-inoculants on germination and seedling growth of *carica papaya* L. Var. gujarat junagadh papaya-1. Int. J. Plant Soil Sci. 34(17): 1-10. Doi: 10.9734/IJPSS/2022/v34i1731030.

Dobbelaere, S., J. Vanderleyden, and Y. Okon. 2003. Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. Plant Sci. 22(2): 107-149. Doi: 10.9734/IJPSS/2022/v34i1731030.

Dotto, J. M., and S. A. Abihudi. 2021. Nutraceutical value of *Carica papaya*: a review. Sci. Afr. 13: e00933. Doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00933.

Ellis, R. H., and E. H. Roberts. 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci. Technol. 9: 373-409.

Garcia-Gonzalez, J., and M. Sommerfeld. 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. J. Appl. Phycol. 28: 1051-1061. Doi: 10.1007/s10811-015-0625-2.

Gutowski, V. 2015. The effect of mycorrhizae on seed germination, development, and reproductive yield of Rapid Gro Radish. Essai. 13(1): 43-46.

Hassan, S. A. M., R. A. Taha, N. S. Zaied, and E. M. Essa. 2022. Effect of vermicompost on vegetative growth and nutrient status of acclimatized Grand Naine banana plants. Heliyon. 8(10): e10914. Doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10914.

Hodge, A. 2014. Interactions between Arbuscular mycorrhizal fungi and organic material substrates. Adv. Appl. Microbiol. 89: 47-99. Doi: 10.1016/B978-0-12-800259-9.00002-0.

Jackson, D. K. 1974. Some characteristics of perlite as an experimental growth medium. Plant Soil. 40: 161-167. Doi: 10.1007/BF00011418.

Jaihan, W., V. Mohdee, S. Sanongraj, U. Pancharoen, and K. Nootong. 2022. Biosorption of lead (II) from aqueous solution using Cellulose-based Bio-adsorbents prepared from unripe papaya (*Carica papaya*) peel waste: Removal Efficiency, Thermodynamics, kinetics and isotherm analysis. Arab. J. Chem. 15(7): 103883. Doi: 10.1016/j.arabjc.2022.103883.

Kosuta, S., M. Chabaud, G. Lougnon, C. Gough, J. Dénarié, D. G. Barker, and G. Bécard. 2003. A diffusible factor from Arbuscular mycorrhizal fungi induces symbiosis-specific *MtENOD11* Expression in Roots of *Medicago truncatula*. Plant Physiol. 131(3): 952-962. Doi: 10.1104/pp.011882.

Kosuta, S., S. Hazledine, J. Sun, H. Miwa, R. J. Morris, J. A. Downie, and G. E. D. Oldroyd. 2008. Differential and chaotic calcium signatures in the symbiosis signaling pathway of legumes. Proc. Natl. Acad. Sci. 105(28): 9823-9828. Doi: 10.1073/pnas.0803499105.

Madani, B., and M. Boroujerdnia. 2019. Postharvest physiology of papaya. Res. Achiev. Field Hortic. Crops. 8(1): 106-115. (In Persian). Doi: 10.22092/rafhc.2019.122311.1148.

Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Sci. 2: 176-177. Doi: 10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x.

Meng, X., J. Dai, Y. Zhang, X. Wang, W. Zhu, X. Yuan, H. Yuan, and Z. Cui. 2018. Composted biogas residue and spent mushroom substrate as a growth medium for tomato and pepper seedlings. J. Environ. Manage. 216: 62-69. Doi: 10.1016/j.jenvman.2017.09.056.

Nautiyal, B. D., C. P. Sharma, and S. C. Agarwala. 1986. Iron, zinc and boron deficiency in papaya. Sci Hortic. 29(1): 115-123. Doi: 10.1016/0304-4238(86)90037-3.

Pant, P., and M. K. Verma. 2022. Standardization of media and container for improving seed and seedling growth in papaya (*Carica papaya*) cv. Red Lady. Indian J. Agric. Sci. 92(3): 329-333. Doi: 10.56093/ijas.v92i3.122680.

Sharma, P., R. Yadav, M. Jain, and C. Bhateshwar. 2021. Growing media and cow urine influence the seed germination and seedling growth of Papaya (*Carica papaya* L.). J. Crop Weed. 17(3): 253-259. Doi: 10.22271/09746315.2021.v17.i3.1520.

Sohn, B. K., K. Y. Kim, S. J. Chung, W. S. Kim, S. M. Park, J. G. Kang, Y. S. Rim, J. S. Cho, T. H. Kim, and J. H. Lee. 2003. Effect of the different timing of AMF inoculation on plant growth and flower quality of chrysanthemum. Sci. Hortic. 98(2): 173-183. Doi: 10.1016/S0304-4238(02)00210-8.

Tavares, A. R., P. L. F. dos Santos, A. R. Zabotto, M. V. L. do Nascimento, H. W. C. Jordão, R. L. V. Boas, and F. Broetto. 2020. Seaweed extract to enhance marigold seed germination and seedling establishment. SN Appl. Sci. 2: 1792. Doi: 10.1007/s42452-020-03603-3.

Wilson, S. B., P. J. Stoffella, and D. A. Graetz. 2001. Use of compost as a media amendment for containerized production subtropical perennials. J. Environ. Hortic. 19(1): 37-42. Doi: 10.24266/0738-2898-19.1.37.

Ziane, H., N. Hamza, and A. Meddad-Hamza. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization rates optimize tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth and yield in a Mediterranean agroecosystem. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 20(7): 454-458. Doi: 10.1016/j.jssas.2021.05.009.