فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۷، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۲ صفحه: ۶۹-۸۹
https://doi.org/10.22034/12.57.69

مقاله پژوهشی

کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار جنس *Glomus* بر رشد، عملکرد و ترکیب اسیدهای چرب بالنگوی شهری در خاک‌های فقیر

سعید حضرتی*، سیروس شیری، وحید سرابی و حمید محمدی
گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷)

چکیده

استفاده از کودهای زیستی و تغذیه متعادل گیاه به‌عنوان مهم‌ترین عوامل حاصلخیزکننده خاک از اولویت‌های سیستم‌های کشاورزی پایدار است. به‌منظور ارزیابی کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار بر رشد و عملکرد گیاه دارویی بالنگوی شهری در خاک‌های فقیر آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل سرکه چوب با سه سطح (عدم کاربرد، کاربرد دو و چهار لیتر در هکتار) و فاکتور دوم تلقیح با قارچ میکوریزا آربوسکولار جنس *Glomus* (عدم تلقیح، تلقیح بذر با قارچ و تلقیح بذر + خاک با قارچ) در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که صفات ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا قرار گرفتند. بیشترین میزان عملکرد دانه (۲۰۳۸ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب تلقیح بذر با قارچ میکوریزا، درصد روغن (۲۵/۱۱ درصد) و عملکرد روغن (۴۸۷/۹۵ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر با قارچ میکوریزا مشاهده شد. اسیدهای چرب پالمیتیک، لینولنیک، اولئیک، لینولئیک، پالمیتولئیک و استئاریک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا قرار گرفتند. در بین اسیدهای چرب مورد بررسی فقط اسید لینولنیک با کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش یافت، به‌طوریکه همه سطوح تیمارهای سرکه چوب، تلقیح بذر و تلقیح بذر + خاک با قارچ توانست میزان اسید لینولنیک را در مقایسه با تیمار عدم تلقیح افزایش دهد. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت که برای حصول عملکرد دانه و روغن بالای گیاه دارویی بالنگوی شهری در خاک‌های فقیر، کاربرد همزمان سرکه چوب به میزان ۲ لیتر در هکتار و تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا تیمار مطلوبی به‌شمار می‌رود.

کلمات کلیدی: حاصلخیزی، کودهای زیستی، درصد روغن، کودهای آلی

مقدمه

بالنگوی شهری گیاهی یکساله و علفی با نام علمی *Lallemantia iberica* متعلّق به تیره نعنائیان است. بذر گیاه بالنگوی شهری سرشار از بسیاری از متابولیت‌های ثانویه نظیر اسیدهای فنولیک، فلاوونوئیدها، تانن‌ها، تری‌ترپن‌ها، موسیلاژ و روغن است. دانه‌های بالنگوی شهری درصد روغن بالایی دارد و از این جهت از نظر تغذیه‌ای حائز اهمیت بوده و دارای مقدار بالایی از اسید لینولنیک است (Al-Snafi, 2019).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

بالنگوی شهری دارای اثرات فارماکولوژیک بسیاری از جمله اثرات ضددرد، ضدباکتری و آنتی‌اکسیدانی است که آن را به گیاهی با ارزش از نظر دارویی و تغذیه‌ای تبدیل کرده است (Javanmard *et al*., 2022; Al-Snafi, 2019).

امروزه با افزایش روز افزون تقاضای جهانی برای تأمین نیاز غذایی، به‌منظور جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی توجه زیادی به روش‌های مبتنی بر نظام‌های کشاورزی پایدار شده است. یکی از راه‌های دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از میکروارگانیسم‌هایی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان و پایداری در تولیدات کشاورزی دارند (Khalvandi *et al*., 2019). در همین راستا استفاده از قارچ‌های همزیست میکوریزا آرباسکولار در سیستم‌های کشاورزی مدرن جهانی به دلیل پایداری آن‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بدون شک، بهره‌برداری از میکوریزا جهت بهبود کشاورزی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش داده و در نتیجه کشاورزی سالم زیستی را ارتقا دهد (Ould Amer *et al*., 2023). مطالعات اکولوژیک و فیزیولوژیک نشان می‌دهند که همزیستی میکوریزا از طریق اتصال هیف‌های خود به سلول‌های ریشه گیاه میزبان، توانایی جذب آب و عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهد (Turhan, 2021). در واقع میکوریزا شبکه گسترده‌ای از میسلیوم‌های خود را در منطقه وسیعی از ریزوسفر پراکنده می‌کند که در هنگام همزیستی امکان جذب آب و عناصر معدنی را از فاصله بسیار دورتر از منطقه ریشه برای گیاه میزبان فراهم می‌کند (Vafa *et al*., 2021). علاوه‌براین، برخی تحقیقات انجام‌شده روی گیاهان دارویی نشان می‌دهد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش درصد روغن، اسیدهای چرب، متابولیت‌های ثانویه و خصوصیات رشدی آن می‌شود (Askari *et al*., 2019). به‌عنوان مثال، کاربرد قارچ میکوریزا در گیاه دارویی مرزه سبب افزایش مقاومت به تنش خشکی شده و شاخص‌های رشد رشدی، محتوای نسبی آب گیاه و محتوای فسفر و پتاسیم را در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش داد (اسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین، محققین دیگری افزایش قابل‌توجه درصد اسانس، روغن دانه، درصد موسیلاژ، عملکرد بیولوژیک و دانه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای پرولین و مواد مغذی در بالنگوی شهری همزیست‌شده با میکوریزا را گزارش کرده‌اند (Heydari and Pirzad, 2020). Ansari و همکاران (۲۰۲۱) نیز در بررسی اثر دو جنس میکوریزا (*Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices*) در گیاه‌پالایی سرب در گونه بالنگوی شهری گزارش کردند که میکوریزا در مقاومت گیاه مؤثر بود و رشد، سبزینگی، سیستم دفاعی و تحمل به تنش را بهبود بخشید و محتوای سرب و پراکسید هیدروژن را تحت تنش سرب کاهش داد. از طرفی، گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر میکوریزا بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی و فیزیولوژیک بالنگوی شهری حاکی از افزایش میزان موسیلاژ بذر و ترکیبات اسانس‌دار از قبیل ژرماکرن D، (E)-کاریوفیلن، بی سیکلوژرماکرن و اکسید کاریوفیلن بوده است (Javanmard *et al*., 2022).

سرکه چوب یکی از مواد زیستی بی‌ضرر است که می‌تواند به‌عنوان راهکاری مفید جهت افزایش عملکرد گیاهان زراعی و باغی در سیستم‌های کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار گیرد. سرکه چوب از سرد شدن دود حاصل از سوختن چوب یا بقایای گیاهی به‌دست می‌آید. در واقع، در تولید سرکه چوب می‌توان از زغال سنگ، پسماندهای کشاورزی و چوب محصولات جنگل استفاده کرد (Zhu *et al*., 2021). سرکه چوب با دارا بودن بیش از ۲۰۰ ترکیب به‌عنوان ماده کامل آلی می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از مواد شیمیایی مورد استفاده در صنعت کشاورزی باشد (Wei and Ma, 2010; Zhu *et al*., 2021). براساس تحقیقات انجام‌شده، سرکه چوب حاوی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف از قبیل منگنز، مولیبدن، کلسیم، آلومینیوم، نیتروژن، آهن، مس، پتاسیم، سدیم، روی، فسفر و بور است که نقش مهمی در متابولیسم گیاه و فتوسنتز دارند. علاوه‌براین، سرکه چوب حاوی ترکیبات آلی مختلف از جمله اسیدها، الکل‌ها، فنل‌ها، آلدئیدها، استرها و ترکیب‌های تحریک‌کننده رشد گیاه است و بر مقدار رشد گیاه تأثیر مثبت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

می‌گذارد که افزایش طول ساقه، مقدار وزن تر و وزن خشک گیاه و عنصرهای موجود در گیاه را به‌همراه دارد (Zhu *et al.*, 2021). یکی از اهداف کاربرد سرکه چوب افزایش خواص مورد انتظار در گیاهان دارویی است. طبق بررسی‌های صورت گرفته در گیاهان مختلف برخی مواد مؤثره گیاه به‌طور مؤثری بعد از کاربرد سرکه چوب تغییر کرده است. برای مثال در تحقیق انجام‌شده روی کاج سفید (*Pinus strobus*) که خاصیت دارویی نیز دارد، سرکه چوب موجب تحریک بیوسنتز ترکیباتی مانند فنل و فلاونوئید شده است که اثر مثبتی در افزایش کیفیت تغذیه‌ای محصول داشته است (Ofoe *et al.*, 2022). همچنین در بررسی اثر سرکه چوب بر گیاه دارویی ریحان (Becagli *et al.*, 2022)، افزایش تولید ماده خشک و عملکرد، طول ساقه، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و مقدار نفوذ ریشه گزارش شده است.

امروزه استفاده از فناوری‌های مختلف کشت‌وکار برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد گیاهان دارویی راهکاری مناسب در پاسخ به افزایش تقاضای جهانی برای استفاده از گیاهان دارویی است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا آرباسکولار و سرکه چوب بر بهبود کمیت و کیفیت گیاه بالنگوی شهری در خاک‌های فقیر طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت محل اجرای آزمایش: این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در کشت بهاره سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. طول و عرض جغرافیایی محل به‌ترتیب ۴۵/۹۳ غربی ۳۷/۸۱ شمالی بود. جهت تجزیه خاک محل اجرای طرح، نمونه خاک تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید. پس از تجزیه، وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱).

طرح آزمایشی مورد استفاده و عملیات زراعی: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت بهاره اجرا شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل سرکه چوب با سه سطح (بدون کاربرد، کاربرد ۲ لیتر و کاربرد ۴ لیتر در هکتار) و فاکتور دوم تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا آرباسکولار جنس *Glomus* با سه سطح (عدم تلقیح، تلقیح بذر با قارچ و تلقیح بذر و خاک با قارچ) در سه تکرار اجرا شد. جهت اجرای آزمایش، مراحل آماده‌سازی شامل شخم اولیه، در پاییز و تسطیح زمین توسط دیسک و همچنین ایجاد جوی و پشته توسط جوی- پشته‌ساز قبل از کاشت در اسفندماه انجام گرفت. کشت در تاریخ ۲۵ فروردین ۱۴۰۱ بر روی ردیف‌ها و بدون در نظر گرفتن تراکم انجام گرفت. ابتدا شیارهایی با عمق بسیار کم (حدود دو الی سه سانتی‌متر) به‌صورت ممتد ایجاد شد و بذرها در داخل آن ریخته شد. سپس با مقداری خاک نرم روی آن پوشانده شد. در ضمن بذر مورد استفاده با هیچ نوع ماده شیمیایی مانند قارچ‌کش تیمار نگردید.

در این آزمایش سرکه چوب از شرکت تعاونی تولیدی فصل پنجم و قارچ میکوریزای آرباسکولار (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum*) از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان تهیه و مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). سرکه چوب با توجه به نسبت مربوط به هر واحد واحد آزمایشی در چهار مرحله قبل از کاشت (به صورت خاکی) و بعد از کاشت در مراحل سه برگی، ابتدای گلدهی و انتهای گلدهی به صورت محلول‌پاشی شاخ و برگ اعمال شد. در تیمار تلقیح بذر با قارچ، ابتدا بذرها خیس و مرطوب شدند و سپس با قارچ مخلوط و درون شیارهای ایجادشده کشت شدند. برای تلقیح بذر و خاک با قارچ، قارچ را درون شیار ریخته و سپس بذر را کشت و با خاک پوشاندیم.

آبیاری اولیه در اولین روز پس از کاشت جهت تسریع در فرایند جوانه‌زنی و سبزشدن یکنواخت گیاهچه‌ها انجام شد. پس از آن به‌منظور جلوگیری از خشک‌شدن خاک و اختلال در جوانه‌زنی، دو مرحله آبیاری اولیه هر چهار روز یکبار انجام شد و پس از آن آبیاری با دور ۱۰ روز تا پایان فصل رشد انجام گرفت. به‌دلیل دارویی بودن گیاه و احتمال این‌که استفاده از علف‌کش ممکن است روی ترکیب‌های دارویی گیاه تأثیر نامناسب داشته باشد، عملیات وجین در سه مرحله به‌صورت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

جدول ۱- نتیجه آزمون تجزیه خاک و سرکه چوب مورد آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰.

خاک	بافت خاک	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب		نیتروژن کل	مواد آلی	درصد مواد خنثی شونده	pH	هدایت الکتریکی
		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			(درصد)				
	لومی شنی	۱۶۲	۷/۸		۰/۰۶۹	۰/۵۱	۴/۷۵	۸/۲	۱/۳۶
سرکه چوب	رنگ	نیتروژن کل(درصد)	متانول (درصد)	پتاسیم قابل جذب	آهن	روی	منگنز	مس	pH	هدایت الکتریکی
				(میلی‌گرم بر کیلوگرم)						
	قهوه‌ای طلایی	۰/۳۵	۰/۳۱	۵	۱۱۰۰	۱۴	۰/۱	۲	۳/۳۵	۱/۳

دستی انجام شد. مرحله اول، دوم و سوم عملیات وجین به ترتیب ۳۰، ۴۸ و ۶۹ روز پس از کاشت صورت گرفت. در نهایت، عملیات برداشت در تاریخ ۲۶ تیرماه ۱۴۰۱ انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری ارتفاع بوته‌های بالنگوی شهری، تعداد ده بوته در هر کرت آزمایشی انتخاب شدند و ارتفاع آن‌ها در زمان گلدهی به‌وسیله متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت میانگین ده نمونه محاسبه شد و برای تیمار مورد نظر ثبت گردید.

پس از حذف دو ردیف کناری و انتهایی کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، از بوته‌های باقی‌مانده در یک متر مربع به‌صورت تصادفی عملکرد دانه با ترازوی دقیق توزین شد. پس از عمل خرمن‌کوبی و بوجاری، دانه‌ها از کاه و کلش جدا و سپس با توزین دانه، عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۱-۸ درصد و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد.

طبق معادله ۱، شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده گیاه محاسبه و به صورت درصد ارائه شد.

$$HI = \left(\frac{EY}{BY}\right) \times 100$$ (معادله ۱)

در این معادله، HI: شاخص برداشت، EY: عملکرد دانه، BY: عملکرد زیست‌توده است.

به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه در هر کرت آزمایشی، نمونه بذر جمع‌آوری گردید و پس از شمارش و اندازه‌گیری با ترازوی دقیق، به عنوان وزن هزار دانه ارائه شد.

استخراج روغن با استفاده از حلال دی‌اتیل‌اتر صورت گرفت. به‌منظور استخراج روغن مقداری بذر از هر کرت آزمایشی انتخاب و پس از بوجاری و پاک‌کردن ناخالصی‌های بذر، ۲ گرم توسط ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد و بعد از آسیاب کامل داخل لوله‌های آزمایشی تمیز ریخته شد. سپس، حدود ۱۰ میلی‌لیتر از حلال دی‌اتیل‌اتر به کمک پیپت مدرج به لوله‌های آزمایش اضافه گردید. برای بدست آوردن یکنواختی در محلول آماده شده، با استفاده از دستگاه ورتکس هم زده شد. در ادامه محتوای لوله‌های آزمایشی به داخل فالکون‌های ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شدند و با کمک سانتریفیوژ تمام فالکون‌ها به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. بعد از سانتریفیوژ و رسوب تفاله‌های بذر در قسمت پایین فالکون‌ها، محلول بالایی فالکون‌ها که حاوی روغن به‌همراه دی‌اتیل‌اتر بود به لوله‌های آزمایشی که از قبل وزن شده بودند انتقال یافتند. نهایتاً لوله‌های آزمایشی به دستگاه آون با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. این کار به‌منظور جداسازی حلال از ماده روغنی بذور انجام گرفت. بعد از ۲۴ ساعت لوله‌های آزمایشی از دستگاه آون خارج گردید و با تبخیر حلال دی‌اتیل اتر، ماده باقیمانده همان روغن بذر بالنگوی شهری بود و وزن آن با کسر وزن لوله آزمایشی حاوی روغن، از لوله آزمایشی که از قبل وزن شده بود بدست آمد (Komartin *et al.*, 2021). برای محاسبه عملکرد روغن، درصد روغن در عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ضرب شده و عدد حاصل به‌عنوان عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) در محاسبات آماری استفاده شد که فرمول مربوط به آن در معادله ۲ آورده شده است.

(معادله ۲)

عملکرد دانه × درصد روغن = عملکرد روغن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

برای تهیه متیل استر روغن، از نمونه روغن به‌دست آمده ۰/۰۵ گرم توزین شده و به آن ۵ میلی‌لیتر سود متانولی ۲ درصد و ۲ میلی‌گرم اسید پنتادکانوئیک (Pentadecanoic acid) به‌عنوان استاندارد داخلی اضافه شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه درون یک بشر حاوی آب در حال جوش حرارت داده شد. سپس ۲/۱۸ میلی‌لیتر بور تری‌فلورید متانولی به آن اضافه شد و عمل رفلاکس به‌مدت ۲ تا ۳ دقیقه دیگر ادامه یافت. در ادامه ۱/۵ میلی‌لیتر هگزان به نمونه اضافه و کمی تکان داده شد تا اسیدهای چرب، مشتق‌سازی شده (متیل استر شده) در آن حل شوند، سپس برای رسوب دادن مولکول‌های گلیسرول، یک میلی‌لیتر نمک اشباع کلرید سدیم (۳۰۰ گرم در لیتر) به محلول اضافه و مخلوط حاصل به‌شدت تکان داده شد. در پایان برای آب‌گیری از نمونه‌های اسید چرب، ۱ میلی‌لیتر از فاز رویی جدا و به‌همراه ۰/۵ گرم سدیم سولفات (به‌عنوان ماده جاذب رطوبت) به‌وسیله سانتریفیوژ با ۲۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲ تا ۵ دقیقه قرار داده شد. سپس، فاز رویی به دستگاه GC تزریق شد (Metcalfe *et al*., 1966).

به‌منظور آنالیز متیل استر اسیدهای چرب، از دستگاه گاز کروماتوگرافی ساخت شرکت Varian مدل ۶۸۹۰ مجهز به ستون مویینی سیلیکائی BPX70 (SGE, Austin, USA) با طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۲ میلی‌متر با ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای اولیه ۱۵۸ درجه سانتی‌گراد بود و با افزایش ۲ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد رسید و در این دما ۲۰ دقیقه نگهداری شد. دمای دریچه تزریق ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد و دمای آشکارساز ۲۴۰ سانتی‌گراد و سرعت جریان گاز حامل (هلیم) ۱/۲ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. همچنین تزریق به GC به روش Split انجام گرفت (Azadmard-Damirchi and Dutta, 2008).

در پایان آزمایش، داده‌های حاصل ابتدا با روش کولموگروف اسمیرنف نرمال گردیده و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ۹/۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) در سطح احتمال آماری پنج درصد انجام شد و سپس نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم گردیدند. همچنین، برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار XLSTAT (2016) استفاده شد. برای تعیین ضرایب همبستگی براساس کلیه صفات مورد مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر سرکه چوب ($P < 0.01$) قرار گرفت. همچنین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر ارتفاع بوته ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح قارچ نشان داد که بیشترین ارتفاع (۳۲/۱ سانتی‌متر) گیاه مربوط به تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ بود که با تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۳۰/۹۱ سانتی‌متر) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). کمترین ارتفاع بوته در تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح (۲۴/۴۷ سانتی‌متر) بدست آمد. ارتفاع بوته در تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح) ۲۵ درصد افزایش نشان داد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در شرایط عدم کاربرد سرکه چوب و کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب، تلقیح با قارچ توانست ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دهد، اما اثر افزایشی در تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ در مقایسه با تیمار تلقیح بذر با قارچ بیشتر بود. در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب تلقیح قارچ نتوانست تغییر معنی‌داری در صفت ارتفاع بوته ایجاد کند (شکل ۱).

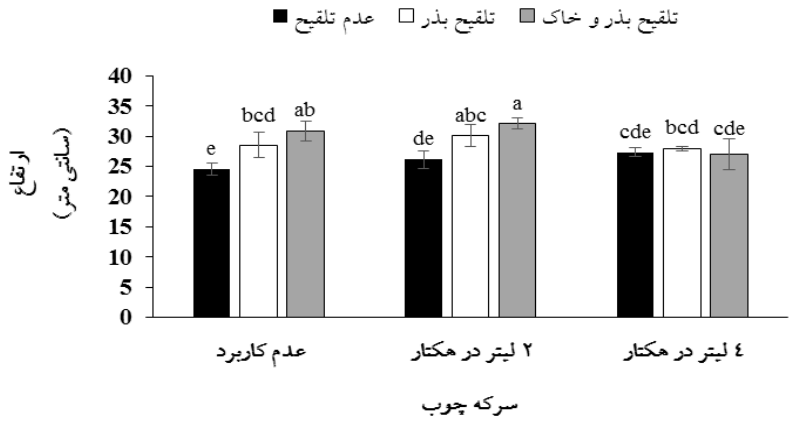
اولین تأثیر مثبت تیمار سرکه چوب را می‌توان در افزایش رشد گیاهان دید که این ویژگی را معمولاً به تأثیر ترکیب‌های متانول و فرفورال موجود در آن نسبت می‌دهند (Fedeli *et al*., 2023; Ofoe *et al*., 2022; Jindo *et al*., 2022). در آزمایش حاضر، میزان ارتفاع در تیمارهای ۲ و ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب در مقایسه با تیمار عدم کاربرد آن بیشتر بود که نشان‌دهنده تأثیر مثبت سرکه چوب بر افزایش رشد و ارتفاع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

جدول ۲- تجزیه واریانس ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در گیاه بالنگو تحت تیمارهای سرکه چوب و تلقیح قارچ

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	زیست‌توده	شاخص برداشت
تکرار	۲	۰/۸۰ ns	۰/۰۲۵۷ns	۱۹۰۱/۷۶ ns	۶۶۴۲۴/۸۷ ns	۱/۹۷ ns
سرکه چوب (A)	۲	۳۸/۶۹**	۰/۰۷۸۴*	۵۷۰۳۱۹/۰۹*	۱۱۶۷۶۰۶/۶۰*	۲۲۳/۳۵*
تلقیح قارچ (B)	۲	۹/۳۶ ns	۰/۰۵۷۶ ns	۳۸۷۲۷۹/۴۷*	۱۴۷۱۵۸۱/۱۶**	۱۶۴/۳۱*
A × B	۴	۰/۷۴*	۰/۰۳۴۱ *	۳۱۶۴۸۴*	۱۰۵۹۰۰۲/۴۲*	۸۴/۹۳ **
خطای آزمایشی	۱۶	۳/۲۶	۰/۰۱۸۱	۱۱۳۴۴۱/۳۶	۲۸۸۹۴۶/۵۷	۴۶/۷۴
ضریب تغییرات (درصد)	–	۶/۳۹	۷/۲۴	۲۱/۳۹	۹/۸۳	۲۳/۳۹

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.



شکل ۱- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر صفت ارتفاع بوته گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

بوته است. Ozdemir و Turp (۲۰۲۲) نشان دادند که کاربرد سرکه چوب موجب افزایش ارتفاع بوته لوبیا شده است که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. در این راستا سایر محققان در آزمایش روی گیاهانی نظیر بادمجان (Siriwardena *et al*., 2020)، گوجه‌فرنگی (Ofoe *et al*., 2022)، شلغم (Jindo *et al*., 2022) و نخود (Fedeli *et al*., 2023) نشان دادند که کاربرد سرکه چوب موجب افزایش ارتفاع این گیاهان شده است. در آزمایش حاضر، تلقیح بذر با قارچ میکوریزا توانست ارتفاع بوته را افزایش دهد که با نتایج Goudarzian و همکاران (۲۰۲۰) در گیاه نعناع فلفلی مطابقت داشت. افزایش رشد و نمو در گیاهانی که با قارچ میکوریزا تلقیح شده‌اند در مقایسه با گیاهان شاهد (عدم تلقیح) توسط محققان متعددی به اثبات رسیده است (Liu *et al*., 2023; Geneva *et al*., 2023; Ould Amer *et al*., 2023). قارچ میکوریزا با تولید هورمون‌های رشد به ویژه جیبرلین نقش مهمی در تقسیم سلولی و افزایش ارتفاع بوته دارد (Olson *et al*., 2022; Binglei *et al*., 2023). به‌نظر می‌رسد در آزمایش حاضر کاربرد میکوریزا با تولید هورمون‌های رشد به‌خصوص جیبرلین موجب افزایش ارتفاع بوته دارویی بالنگوی شهری شده است. کاربرد همزمان سرکه چوب و قارچ میکوریزا در شرایط کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب بیشترین ارتفاع را در پی داشته است. به‌نظر می‌رسد وجود ترکیب‌های متانول و فرفورال که توسط سرکه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

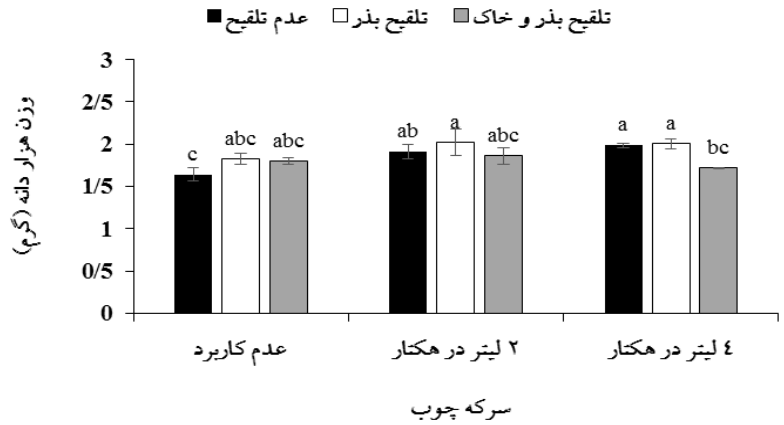
چوب تأمین می‌شوند به همراهی تولید جیبرلین تحت تأثیر قارچ میکوریزا موجب افزایش بیشتر ارتفاع در مقایسه با کاربرد جداگانه هر کدام از این عوامل شده است.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر ساده سرکه چوب و برهمکنش سرکه چوب × تلقیح با قارچ ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). اگر چه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر صفت وزن هزار دانه مشاهده شد، اما این اختلاف چشمگیر نبود. بیشترین میزان وزن هزار دانه در تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر با قارچ میکوریزا (۲/۰۱ گرم) مشاهده شد که با اغلب تیمارها در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۲). در مقابل کمترین وزن هزار دانه در تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح با قارچ (۱/۶۴ گرم) مشاهده شد. در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب، اعمال تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا (۱/۷۱ گرم) موجب کاهش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار تلقیح بذر (۲ گرم) و عدم تلقیح (۱/۹۸) به‌ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۴ درصد شد. با کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب اختلاف معنی‌داری بین سه تیمار عدم تلقیح، تلقیح بذر و تلقیح بذر و خاک با قارچ مشاهده نشد. کنترل وزن هزار دانه اگر چه بیشتر تحت تأثیر ژنتیک گیاه است، اما عوامل محیطی نیز تأثیر بسزایی در کاهش یا افزایش این صفت مهم دارند (Bocianowski *et al.*, 2019).

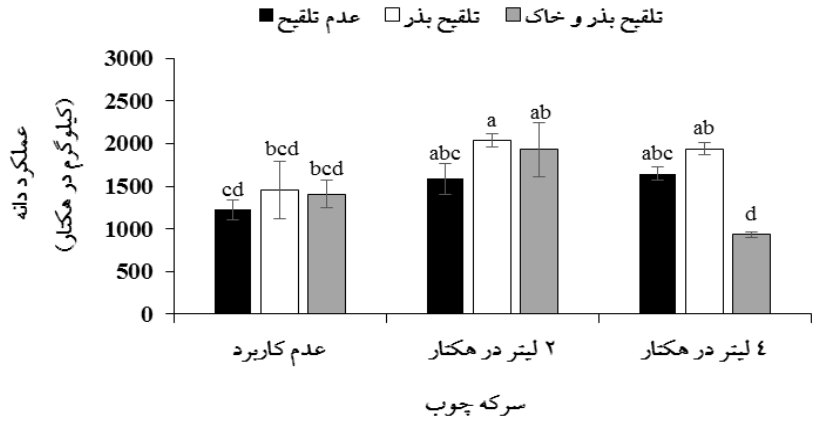
در آزمایش حاضر کاربرد جداگانه و همزمان تیمارهای سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا موجب افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد شد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش تیمار سرکه چوب، تعادل ترکیبات گیاهی نظیر تنظیم‌کننده‌های رشدی گیاه تغییر کرده و این امر به نوبه خود بر میزان رشد گیاه تأثیر مثبت می‌گذارد و با افزایش طول ساقه، میزان زیست‌توده و ماده خشک افزایش می‌یابد (Ozdemir and Turp, 2022). پژوهش‌های مختلف بیانگر آن است که استفاده از سرکه چوب موجب افزایش میزان زیست‌توده گیاه و عملکرد دانه نسبت به شاهد می‌شود (Yuan *et al.*, 2022). Diagne و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزا موجب بهبود رشد گیاهان مختلف در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود. با توجه به اینکه صفت وزن هزار دانه در تعامل با دیگر اجزای گیاهی است، احتمالاً تأثیر عواملی که مورد اشاره قرار گرفت نقش بسزایی در افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد داشته‌اند. Vafa و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که وزن هزار دانه گیاه گندم تحت تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. همچنین، Abd Manaf و همکاران (۲۰۲۱) در آزمایشی نشان دادند که کاربرد سرکه چوب موجب افزایش وزن هزار دانه در گیاه لوبیا شده است که با نتایج آزمایش ما همخوانی دارد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات اصلی سرکه چوب، تلقیح با قارچ و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح قارچ در شرایط عدم کاربرد سرکه چوب نشان داد که تیمار تلقیح بذر و تلقیح بذر و خاک با قارچ نتوانست تأثیر معنی‌داری بر میزان عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد داشته باشد (شکل ۳). از سوی دیگر، نتایج در شرایط کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب تفاوت معنی‌داری نداشت، اما تیمار تلقیح بذر با قارچ (۲۰۳۸ کیلوگرم در هکتار) توانست میزان عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار عدم تلقیح و کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب (۱۵۸۸ کیلوگرم در هکتار) به میزان ۲۲ درصد افزایش دهد (شکل ۲). در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب، تیمار تلقیح بذر با قارچ (۱۹۴۱ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش ۱۵ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با قارچ و کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب (۱۶۴۹ کیلوگرم در هکتار) شد، اما تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ (۹۳۱/۹ کیلوگرم در هکتار) کاهش عملکرد دانه را به میزان ۴۳ درصد در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با قارچ و کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب در پی داشت. در آزمایش حاضر عملکرد دانه در تیمارهای مختلف کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا موجب افزایش عملکرد دانه شد که با نتایج سایر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]



شکل ۲- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر صفت وزن هزار دانه گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

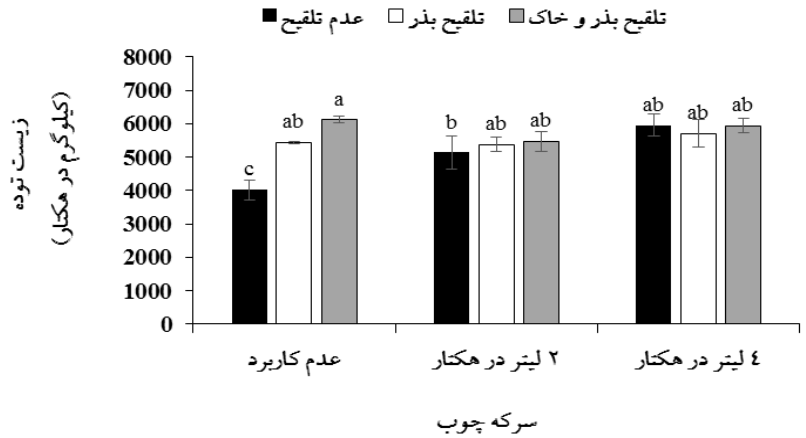


شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب × تلقیح با قارچ بر صفات عملکرد دانه گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

محققان مطابقت دارد (Yuan *et al*., 2022; Praveena *et al*., 2021; Abd Manaf *et al*., 2021). اما در تلقیح بذر و خاک و کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، درصورتیکه این تیمار دارای بیشترین مقدار زیست‌توده بود. با توجه به اینکه در تیمار کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا بیشترین میزان زیست‌توده حاصل شد، می‌توان بیان کرد که احتمالاً علت کاهش عملکرد دانه مربوط به تسهیم فرآورده‌های فتوسنتزی به بخش‌های غیر از دانه است. در این شرایط گیاه از زیست-توده بالایی برخوردار است و فرآورده‌های فتوسنتزی را در بخش‌های دیگری نظیر ساقه، برگ و ریشه ذخیره می‌کند. محققان متعددی نشان دادند که تسهیم فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاهان به‌شدت تحت تأثیر ژنتیک و عوامل محیطی قرار می‌گیرد که کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و سرکه چوب می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل بسیار اثرگذار بر تسهیم فرآورده‌های فتوسنتزی باشد (Tombesi *et al*., 2019; Tagawa *et al*., 2022).

زیست‌توده: براساس نتایج تجزیه واریانس، زیست‌توده گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سرکه چوب (در سطح احتمال پنج درصد)، تلقیح با قارچ میکوریزا ($P < 0.01$) و برهمکنش آن‌ها ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۲). تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر زیست‌توده گیاه در شرایط عدم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]



شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر صفت و عملکرد زیست‌توده گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

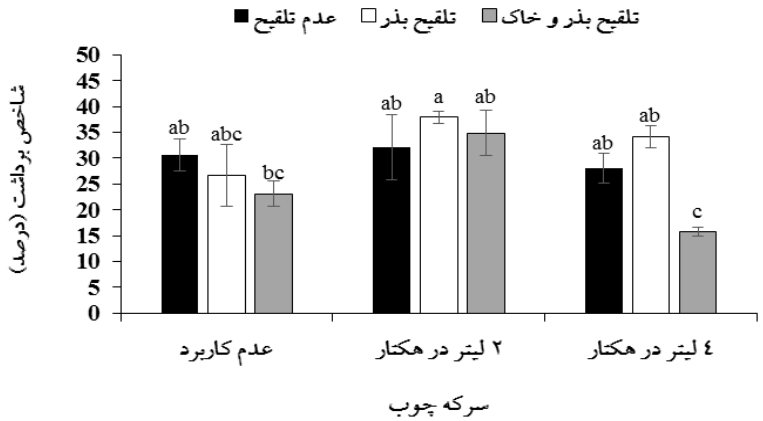
کاربرد سرکه چوب مشهود بود، به‌طوریکه بیشترین میزان زیست‌توده در تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ (۶۱۱۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که در مقایسه با کمترین مقدار در تیمار شاهد (۴۰۱۸ کیلوگرم در هکتار) به میزان ۳۴ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴). در سایر سطوح، کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ نتوانست تأثیر معنی‌داری در مقایسه با عدم کاربرد آن ایجاد کند و همگی در یک سطح آماری قرار داشتند.

به‌نظر می‌رسد کاربرد سرکه چوب موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه بالنگوی شهری شده است و به‌همین دلیل میزان زیست‌توده افزایش یافته است که با نتایج Yuan و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. سرکه چوب قدرت جذب عناصر غذایی از خاک توسط گیاهان و توانایی سیستم دفاعی گیاهان را افزایش می‌دهد. سرکه چوب به‌دلیل دارابودن ترکیبات مختلف تعادل هورمونی گیاه را تغییر می‌هد و در نتیجه موجب افزایش رشدونمو گیاه می‌شود (Siriwardena *et al*., 2020).

محققان دریافته‌اند که کاربرد قارچ میکوریزا نیز موجب افزایش جذب عناصر غذایی به‌خصوص فسفر شده و در نتیجه موجب رشد بیشتر گیاه و زیست‌توده می‌شود (Ingraffia *et al*., 2019; Chandrasekaran *et al*., 2019) که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. یکی از مهم‌ترین اثرات قارچ‌های میکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی خصوصاً در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین است. قارچ‌های میکوریزا یکی از انواع کودهای زیستی هستند که از طریق رابطه همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش کارآیی جذب عناصر غذایی پرمصرف و حتی کم‌مصرف توسط گیاهان می‌شوند. همچنین این عوامل قارچی از طریق افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری‌زا) و غیرزنده (خشکی، شوری و...) سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Khalvandi *et al*., 2019; Ingraffia *et al*., 2019).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که صفت شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سرکه چوب ($P < 0.05$)، تلقیح با قارچ ($P < 0.05$) و برهمکنش آن‌ها ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب در شرایط تلقیح بذر با قارچ (۳۷/۹۴ درصد) است که با سایر تیمارهای مورد مطالعه بجز تیمار کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ در یک سطح آماری قرار داشت (شکل ۵). در شرایط عدم کاربرد سرکه چوب، تلقیح با قارچ موجب کاهش میزان شاخص برداشت در مقایسه با تیمار عدم تلقیح قارچ شد اما این کاهش معنی‌دار نبود. از سوی دیگر، در شرایط کاربرد ۲

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب × تلقیح با قارچ بر صفت شاخص برداشت گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

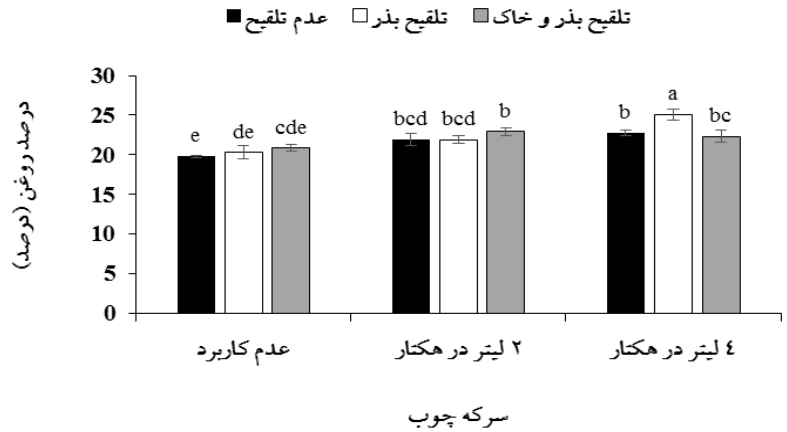
لیتر در هکتار سرکه چوب اختلاف معنی‌داری بین تلقیح و عدم تلقیح با قارچ از نقطه نظر صفت شاخص برداشت مشاهده نشد (شکل ۵). در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب نتایج متفاوت بود، به‌طوریکه تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ موجب کاهش ۵۸ درصدی شاخص برداشت در مقایسه با تیمار عدم تلقیح شد. به‌نظر می‌رسد نحوه تسهیم مواد فتوسنتزی موجب کم‌شدن شاخص برداشت در تیمار کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب شده است. شاخص برداشت حاصل تعامل بین زیست‌توده و عملکرد دانه است که به‌شدت به ژنتیک و محیط وابسته است و تحت تأثیر تغییر شرایط محیطی شاخص برداشت نیز تغییر می‌کند (Rivera-Amado *et al.*, 2019; Noreen *et al.*, 2021). با توجه به کم‌بودن عملکرد دانه در تیمار کابرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا، کمتر بودن شاخص برداشت در این تیمار منطقی به‌نظر می‌رسد.

درصد روغن: تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاضر نشان داد که صفت درصد روغن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سرکه چوب ($P < 0.01$) قرار گرفت. همچنین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا برای صفت درصد روغن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ نشان داد که تیمار کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر با قارچ میکوریزا دارای بیشترین میزان درصد روغن (۲۵/۱۱ درصد) بود، درصورتیکه کمترین مقدار درصد روغن در تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح با قارچ (۱۹/۷۸ درصد) مشاهده شد (شکل ۶). همچنین در شرایط کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب، تیمارهای مختلف تلقیح با قارچ نتوانست موجب تغییر معنی‌دار درصد روغن در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با قارچ شود.

نتایج برخی محققان نشان می‌دهد که عناصر ریزمغذی به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های مسئول بیوسنتز اسیدهای چرب عمل می‌کنند و با فعالسازی فرایندهای تشکیل اسیدهای چرب، افزایش جذب، انتقال عناصر و افزایش میزان روغن و بهبود ویژگی‌های کیفی در گیاهان را موجب می‌شوند (Kruglov *et al.*, 2020; Golubkina *et al.*, 2020; Alvarenga *et al.*, 2015). به‌نظر می‌رسد در آزمایش حاضر کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا به‌دلیل تأثیر مثبت بر رشد گیاه، جذب عناصر غذایی، تولید قند، افزایش کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی موجب افزایش درصد روغن در مقایسه با تیمار شاهد شده است، زیرا سنتز روغن نیاز به انرژی دارد و افزایش عوامل مؤثر بر انرژی گیاه می‌تواند منجر به افزایش سنتز روغن شود. محققان نشان دادند که با کاربرد سرکه چوب، سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ برتری محسوسی را نسبت به شاهد در گیاهان کلزا (Ma *et al.*, 2022) و شلغم (Jindo *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر صفت درصد روغن گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

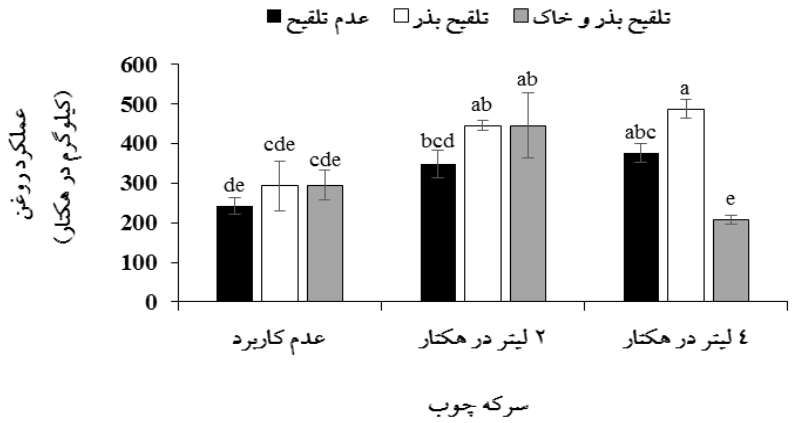
al., 2022) دارا بود. ترکیبات استری موجود در سرکه چوب باعث افزایش کلروفیل می‌شود که این امر موجب افزایش فعالیت فتوسنتزی در گیاه می‌شود (Yuan *et al*., 2022)، همچنین ترکیبات استری به تشکیل قند و اسیدآمینه کمک می‌کنند (Lee *et al*., 2021). از سویی دیگر، تلقیح با قارچ میکوریزا موجب بهبود جذب عناصر غذایی (Ingraffia *et al*., 2019)، افزایش میزان کلروفیل (Turhan, 2021)، تقویت فعالیت فتوسنتزی (Chandrasekaran *et al*., 2019)، افزایش میزان کربوهیدرات و اسیدآمینه (Metwally *et al*., 2021) در برگ‌های گیاه می‌شود و از این طریق انرژی لازم را برای افزایش سنتز روغن فراهم می‌کند.

عملکرد روغن: براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس مشاهده شد که عملکرد روغن در بالنگوی شهری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات سرکه چوب ($P < 0.01$) و تلقیح با قارچ ($P < 0.05$) قرار گرفت. همچنین، برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ برای صفت عملکرد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ نشان داد که بیشترین میزان عملکرد روغن مربوط به تیمار کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب در شرایط تلقیح بذر با قارچ (۴۸۷/۹۵ کیلوگرم در هکتار) بود که با تیمارهای کاربرد ۲ لیتر سرکه چوب در شرایط تلقیح بذر با قارچ (۴۴۶/۱۳ کیلوگرم در هکتار) و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۴۴۶/۱۳ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشت (شکل ۷). نتایج نشان داد که در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب، تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ موجب کاهش عملکرد روغن در مقایسه با تلقیح بذر با قارچ شد و در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با قارچ نیز از کاهش ۵۰ درصدی برخوردار بود. علاوه‌براین مشاهده شد که تلقیح سطوح مختلف قارچ (عدم تلقیح، تلقیح بذر و تلقیح بذر و خاک با قارچ) نتوانست تغییر معنی‌داری در عملکرد روغن در تیمار عدم کاربرد سرکه چوب ایجاد کند.

عملکرد روغن بالنگوی شهری تابع میزان عملکرد دانه در هکتار است. از آنجایی اعمال تیمارهای کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ موجب افزایش رشدونمو، فعالیت فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی می‌شود، افزایش میزان عملکرد دانه و روغن منطقی به‌نظر می‌آید. امینی پاک سلطانی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که کاربرد سرکه چوب موجب افزایش میزان عملکرد روغن در سویا شده است که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. همچنین، یافته‌های محققان نشان می‌دهد که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش عملکرد روغن می‌شود که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی دارد (Askari *et al*., 2019; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]



شکل ۷- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر صفت عملکرد روغن گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

سوی دیگر، کاهش عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۴ لیتر سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (به دلیل تسهیم نامتناسب فرآورده‌های فتوسنتزی) موجب کاهش عملکرد روغن در هکتار شده است.

نتایج تجزیه همبستگی پیرسون نشان داد که بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته (۰/۵۲)، شاخص برداشت (۰/۸۷)، عملکرد روغن (۰/۹۷)، درصد روغن (۰/۵۳) و وزن هزار دانه (۰/۸۴) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). علاوه بر این، صفت زیست‌توده فقط با صفت ارتفاع بوته (۰/۵۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان‌داد. به‌نظر می‌رسد با افزایش ارتفاع بر میزان برگ و منابع فتوسنتزی افزوده شده و با افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی، میزان عملکرد دانه افزایش یافت که با نتایج Li و همکاران (۲۰۱۹) در گیاه برنج مطابقت دارد. همچنین رابطه مثبت بین وزن هزار دانه و عملکرد دانه توسط محققان متعددی به اثبات رسیده است (Baye *et al*., 2020; Abdipour *et al*., 2019).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم به ترتیب با ۵۹/۶۴ و ۲۴/۰۲ درصد بیشترین میزان واریانس نسبی را در بین کلیه مؤلفه‌ها دارا بودند و در مجموع ۸۳/۶۶ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند (شکل ۸). بای‌پلات حاصل از مؤلفه‌های اول و دوم نشان داد که صفات زیست‌توده، ارتفاع بوته، درصد روغن و وزن هزار دانه با هم همبستگی بالایی دارند (شکل ۸). از سوی دیگر، بین صفات عملکرد روغن، عملکرد دانه و شاخص برداشت مبتنی بر مؤلفه‌های اول و دوم رابطه قوی مشاهده شد. براساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مبتنی بر مؤلفه‌های اول و دوم تیمارهای A3B3، A1B3 و A1B2 در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۸). همچنین تیمارهای A3B1، A2B3 و A3B2 به دلیل داشتن قرابت بالا در یک گروه مجزا تفکیک شدند و با صفات زیست‌توده، ارتفاع بوته، درصد روغن و وزن هزار دانه رابطه‌ای قوی داشتند. تیمار A2B2 به تنهایی در یک گروه تفکیک شد و با صفات عملکرد روغن، عملکرد دانه و شاخص برداشت همبستگی قوی نشان داد. تیمارهای A1B1 و A2B1 به‌دلیل قرابت بالا براساس صفات مورد مطالعه در یک گروه قرار گرفتند.

به‌نظر می‌رسد به‌دلیل نقش مثبت میکوریزا و سرکه چوب در افزایش میزان کلروفیل، فعالیت فتوسنتزی، رشد ریشه و جذب عناصر غذایی میزان صفات زیست‌توده، ارتفاع بوته، درصد روغن و وزن هزار دانه در تیمارهای A3B1، A2B3 و A3B2 بیشتر است (Lee *et al*., 2021; Diagne *et al*., 2020).

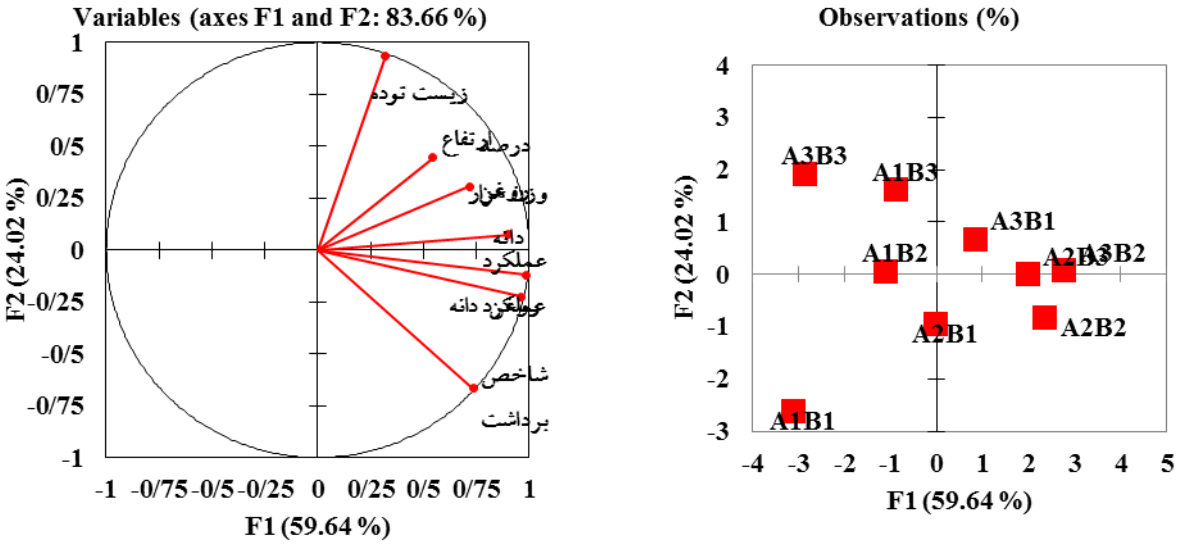
دلیل برتربودن صفات عملکرد روغن، عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمار A2B2 می‌تواند به‌دلیل افزایش محتوای کلروفیل، فعالیت فتوسنتزی، رشد ریشه و جذب عناصر غذایی باشد (Lee *et al*. 2021; Diagne *et al*. 2020).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

جدول ۴- ضرایب همبستگی پیرسون براساس صفات ارتفاع بوته، درصد روغن، عملکرد روغن، عملکرد دانه، شاخص برداشت، زیست-توده و وزن هزار دانه در گیاه بالنگو تحت تیمارهای سرکه چوب و تلقیح با قارچ.

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
(۱) ارتفاع بوته	۱						
(۲) زیست توده	۰/۵۵*	۱					
(۳) شاخص برداشت	۰/۱۹ ns	-۰/۳۹ ns	۱				
(۴) عملکرد روغن	۰/۴۸ ns	۰/۱۹ ns	۰/۸۰**	۱			
(۵) عملکرد دانه	۰/۵۲*	۰/۱۰ ns	۰/۸۷**	۰/۹۷**	۱		
(۶) درصد روغن	۰/۲۱ ns	۰/۴۸ ns	۰/۲۷ ns	۰/۷۱**	۰/۵۳*	۱	
(۷) وزن هزار دانه	۰/۳۳ ns	۰/۴۲ ns	۰/۵۹*	۰/۸۶**	۰/۸۴**	۰/۶۶*	۱

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.



شکل ۸- نمودار بای‌پلات حاصل از مؤلفه‌های اول و دوم مبتنی بر گروه‌بندی تیمارهای مختلف مورد مطالعه براساس صفات ارتفاع بوته، درصد روغن، عملکرد روغن، عملکرد دانه، شاخص برداشت، زیست‌توده و وزن هزار دانه در گیاه بالنگو. (A1: عدم کاربرد سرکه چوب، A2: کاربرد

۲ لیتر در هکتار سرکه چوب، A3: کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب، B1: عدم تلقیح قارچ، B2 تلقیح بذر با قارچ و B3 تلقیح بذر و خاک با قارچ)

Hosseini و همکاران (۲۰۲۱) برای یافتن ارتباط بین خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و تیمارهای اعمال‌شده در گیاه دارویی نعناع از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. **اسیدهای چرب:** طبق آنالیز روغن تعداد شش ترکیب اسید چرب در روغن دانه گیاه دارویی بالنگوی شهری مشاهده شد که شامل اسیدهای اولئیک، لینولئیک، لینولنیک و پالمیتولئیک از گروه اسیدهای چرب غیراشباع و اسیدهای چرب پالمیتیک و استئاریک از گروه اسیدهای چرب اشباع بودند.

براساس نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داده شد که اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و استئاریک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر ساده سرکه چوب قرار گرفتند. علاوه بر این، تلقیح با قارچ همه اسیدهای چرب شناسایی شده را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اسیدهای چرب در گیاه دارویی بالنگو تحت تأثیر تیمارهای سرکه چوب و تلقیح قارچ

منابع تغییرات	درجه آزادی	اسیدهای چرب					
		پالمیتیک	لینولنیک	اولئیک	لینولئیک	پالمیتولئیک	استئاریک
تکرار	۲	۰/۰۶^{ns}	۱/۶۳^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۱/۳۳ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۴۰ ^{ns}
سرکه چوب (A)	۲	۸/۳۲**	۴/۴۷ ^{ns}	۳/۱۲۷*	۱/۰۴ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۳/۶۱**
تلقیح قارچ (B)	۲	۳۳/۶۸**	۱۶۰/۳۳**	۱۶/۴۵۷**	۱۱/۶۷**	۰/۰۶۷*	۴۰/۴۳**
A × B	۴	۱/۸۱*	۱۸/۸۳**	۵/۰۷۷**	۰/۲۴ **	۰/۰۰۷ **	۱/۹۵**
خطای آزمایشی	۱۶	۰/۴۰	۳/۰۱	۰/۷۱۷	۰/۴۴	۰/۰۱۵	۰/۲۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۴۴	۳/۱۳	۵/۴۷	۷/۹۷	۱۲/۱۸	۱۱/۹۳

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ برای همه اسیدهای چرب معنی‌دار بود (جدول ۵)

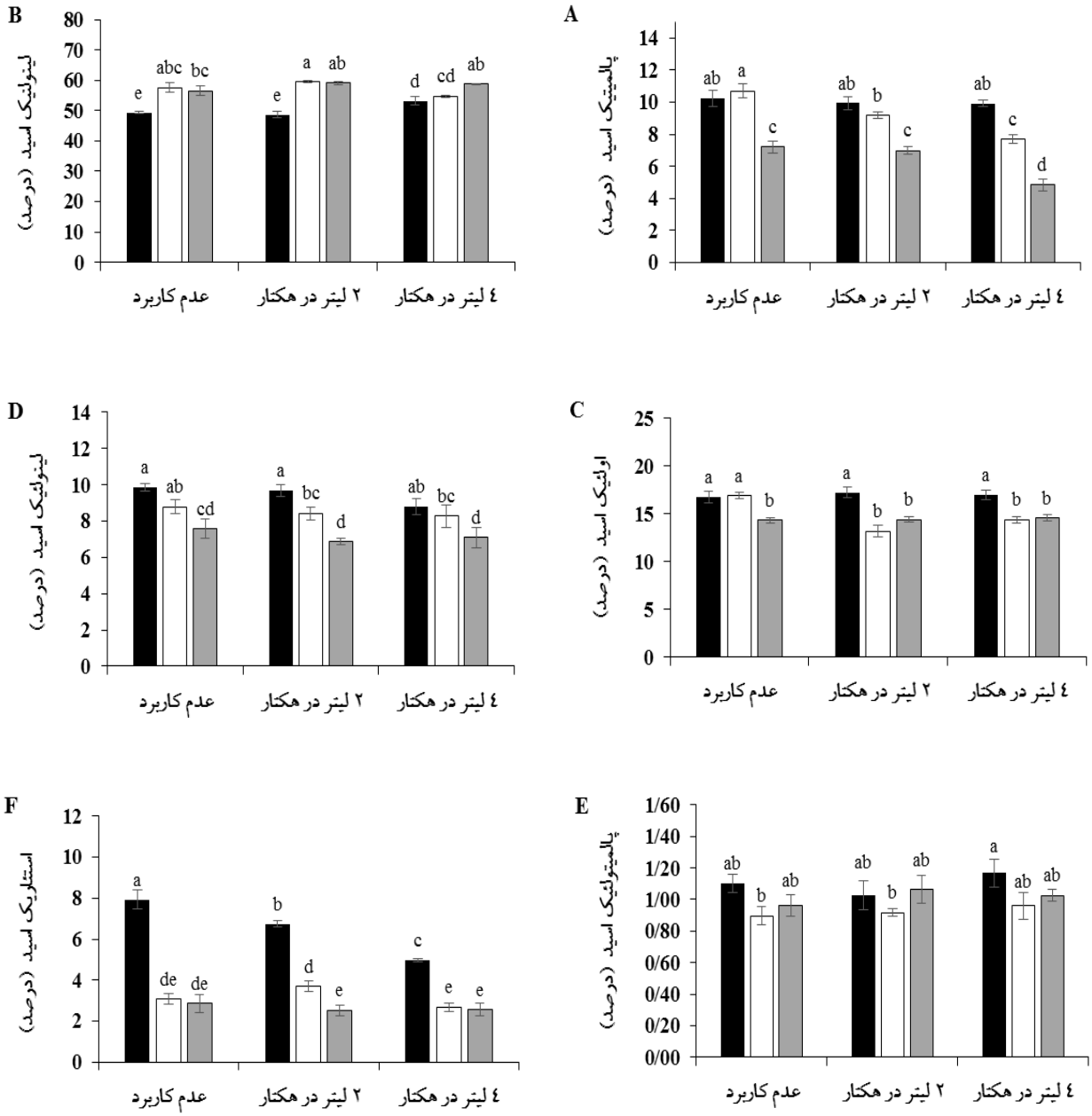
نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ نشان داد که بیشترین میزان اسید پالمیتیک مربوط به تیمار. عدم کاربرد سرکه چوب در شرایط تلقیح بذر با قارچ (۱۰/۷۰ درصد) بود که با تیمارهای عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح (۱۰/۲۳ درصد)، عدم تلقیح در شرایط کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب (۹/۹۳) و عدم تلقیح در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب (۹/۹) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل 9A). در مقابل، کمترین مقدار اسید پالمیتیک مربوط به تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا در شرایط کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب (۴/۸۳) بود. علاوه‌براین، براساس نتایج به دست آمده مشاهده شد که تلقیح بذر و خاک با قارچ در همه سطوح کاربرد سرکه چوب کمترین میزان اسید پالمیتیک را در مقایسه با شرایط عدم تلقیح دارا بود.

نتایج نشان داد که بیشترین میزان اسید لینولنیک مربوط به تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر با قارچ (۵۹/۵۴ درصد) بود که با تیمارهای عدم کاربرد سرکه چوب در شرایط تلقیح بذر با قارچ (۵۷/۶۱ درصد)، کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۱/ ۵۹ درصد) و کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۵۸/۶۸ درصد) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل B 9). کمترین مقدار اسید لینولنیک مربوط به تیمارهای کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و عدم تلقیح با قارچ (۴۸/۶۹ درصد) و عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح با قارچ (۴۹/۲۸ درصد) بود. نتایج نشان داد که در همه سطوح سرکه چوب، تلقیح بذر و تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا توانست میزان اسید لینولنیک را در مقایسه با تیمار عدم تلقیح افزایش دهد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ نشان داد که تنوع چشمگیری بین تیمارهای مورد مطالعه وجود نداشت، به‌طوریکه تمامی تیمارهای مورد بررسی به دو گروه تقسیم شدند (شکل 9C). تیمارهای عدم‌تلقیح با قارچ در همه سطوح کاربرد سرکه چوب (عدم کاربرد سرکه چوب، کاربرد ۲ و ۴ لیتر در هکتار) به‌همراه تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و تلقیح بذر دارای بیشترین مقدار اسید اولئیک بودند و در یک سطح آماری قرار گرفتند. در مقابل، سایر تیمارهای باقیمانده دارای کمترین مقدار اسید اولئیک بودند و در یک سطح آماری قرار گرفتند.

براساس نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ، بیشترین مقدار اسید لینولئیک مربوط به تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و عدم تلقیح با قارچ (۹/۸۶ درصد) بود که با تیمارهای عدم تلقیح با قارچ و کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب (۹/۶۸ درصد)، عدم کاربرد سرکه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]



شکل ۹- نمودار مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح با قارچ بر صفت اسیدهای چرب پالمیتیک (A)، لینولنیک (B)، اولئیک (C)، لینولئیک (D)، پالمیتولئیک (E) و استئاریک (F) گیاه بالنگو. نمودار نشان‌دهنده میانگین ± خطای معیار (SE) است.

چوب و تلقیح بذر با قارچ (۸/۷۹ درصد) و عدم تلقیح با قارچ و کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب (۸/۸ درصد) اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشت (شکل 9D). در مقابل، کمترین مقدار اسید لینولئیک مربوط به تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۶/۸۷ درصد) بود که با تیمارهای کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۷/۱ درصد) و عدم کاربرد سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۷/۵۷ درصد) در یک سطح آماری قرار گرفت.

براساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش سرکه چوب و تلقیح قارچ مشاهده شد که تنوع چشمگیری بین تیمارهای مورد مطالعه از نظر صفت اسید پالمیتولئیک وجود نداشت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

(شکل 9E). بیشترین میزان اسید پالمیتولئیک در تیمار کاربرد ۴ لیتر در هکتار سرکه چوب و عدم تلقیح قارچ (۱/۱۷ درصد) مشاهده شد که با سایر تیمارهای مورد مطالعه در آزمایش (بجز تیمارهای تلقیح بذر با قارچ در شرایط عدم کاربرد و کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب) اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشت. در مقابل، تیمارهای تلقیح بذر با قارچ در شرایط عدم کاربرد و کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب به ترتیب با ۰/۹۰ و ۰/۹۲ درصد کمترین مقدار اسید پالمیتولئیک را دارا بودند.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار عدم کاربرد سرکه چوب و عدم‌تلقیح با قارچ دارای بیشترین میزان اسید استئاریک به میزان ۷/۹۳ درصد بود (شکل 9F). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که در همه سطوح سرکه چوب، تلقیح با قارچ (تلقیح بذر و تلقیح بذر و خاک با قارچ) در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با قارچ موجب کاهش اسید استئاریک بوده است. کمترین مقدار اسید استئاریک در تیمار کاربرد ۲ لیتر در هکتار سرکه چوب و تلقیح بذر و خاک با قارچ (۲/۵۳ درصد) مشاهده شد.

مهم‌ترین ترکیب اسیدهای چرب در روغن دانه بالنگوی شهری شامل اسیدهای چرب غیراشباع پالمیتولئیک، اولئیک، لینولئیک و لینولنیک و اسیدهای چرب اشباع پالمتیک و استئاریک است. براساس نتایج آزمایش حاضر اسیدهای چرب استئاریک، پالمیتولئیک، لینولئیک، اولئیک و پالمیتیک با کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافتند. میزان کاهش اسیدهای چرب نامبرده در تیمار تلقیح بذر و خاک با قارچ بیشتر از تیمار تلقیح بذر با قارچ در همه سطوح کاربرد سرکه چوب بود. در بین اسیدهای چرب مورد بررسی فقط اسید لینولنیک با کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ افزایش یافت. محققان نشان دادند که ارتباطی بین عوامل محیطی و محتوای اسیدهای چرب وجود دارد (Guan *et al*., 2019). تأثیر عوامل محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی و نیز تکنیک‌های زراعی بر روی سنتز اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع متفاوت است (Gu *et al*., 2020; Gai *et al*., 2020; Lewandowska *et al*., 2020). بنابراین، می‌توان اظهار داشت که تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش فقط در خصوص افزایش محتوای اسید لینولنیک توانستند نقش مثبتی ایفا کنند. مسیرهای سنتز اسیدهای چرب به‌شدت پیچیده است و تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند و ممکن است با فراهم بودن شرایط مطلوب میزان سنتز برخی از اسیدهای چرب کاهش یابد (Jerbi *et al*., 2022). محققان در آزمایشی نشان دادند که میزان اسیدهای چرب غیراشباع در گیاه کنجد با تلقیح قارچ میکوریزا کاهش یافت، اما افزایش میزان اسیدهای چرب اشباع را به‌همراه داشت (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021).

با توجه به اهمیت اسیدهای چرب غیراشباع در تنظیم عملکردهای فیزیولوژیکی بدن انسان و جلوگیری از بروز برخی بیماری‌ها و از آنجایی که این ترکیبات در بدن انسان ساخته نمی‌شوند و جز اسیدهای چرب ضروری به‌شمار می‌آیند، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر نسبتاً بالای این ترکیبات به‌خصوص لینولنیک اسید در دانه‌ها می‌تواند از اهمیت تغذیه‌ای و دارویی بالایی برخوردار باشد (Muhamad *et al*., 2017).

نتایج تجزیه همبستگی نشان داد که درصد روغن با عملکرد روغن (۰/۷۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۶). اسید پالمیتیک با اسیدهای لینولنیک (۰/۵۳-)، اولئیک (۰/۶۶-)، لینولئیک (۰/۸۶) و استئاریک (۰/۶۴) همبستگی معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). علاوه‌براین، اسید استئاریک با اسیدهای پالمیتیک (۰/۶۴)، لینولنیک (۰/۸۹-)، اولئیک (۰/۶۷) و لینولئیک (۰/۸۶) همبستگی معنی‌داری داشتند. نتایج تجزیه همبستگی تأییدکننده نتایج حاصل از بای‌پلات است، به‌طوریکه ارتباط منفی بین اسید لینولنیک با سایر اسیدهای چرب مورد بررسی در هر دو روش آماری مشخص گردید. محققان بیان داشتند که بین اسیدهای چرب موجود در گیاه می‌تواند رابطه همبستگی مثبت یا منفی و یا عدم همبستگی وجود داشته باشد (Folayan *et al*., 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد سرکه چوب و تلقیح با قارچ افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

جدول ۶- ضرایب همبستگی پیرسون براساس صفات اسیدهای چرب، درصد روغن و عملکرد روغن در گیاه بالنگو تحت تیمارهای سرکه چوب و تلقیح قارچ.

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
(۱) اسید پالمیتیک	۱							
(۲) اسید لینولنیک	-۰/۵۳*	۱						
(۳) اسید اولئیک	-۰/۶۶*	-۰/۷۳**	۱					
(۴) اسید لینولئیک	۰/۸۶**	-۰/۸۲**	۰/۷۱**	۱				
(۵) اسید پالمیتولئیک	۰/۰۳ns	-۰/۴۸ ns	۰/۴۳ ns	۰/۱۴ ns	۱			
(۶) اسید استئاریک	۰/۶۴*	-۰/۸۹**	۰/۶۷*	۰/۸۶**	۰/۴۹ ns	۱		
(۷) عملکرد روغن	۰/۰۸ ns	۰/۲۰ ns	-۰/۳۹ ns	-۰/۱۳ ns	-۰/۱۳ ns	-۰/۲۸ ns	۱	
(۸) درصد روغن	-۰/۴۱ ns	۰/۱۷ ns	-۰/۳۷ ns	-۰/۳۷ ns	۰/۰۷ ns	-۰/۴۴ ns	۰/۷۱**	۱

ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

میکوریزا موجب بهبود رشد و عملکرد دانه گیاه دارویی بالنگوی شهری شد. تمامی صفات مورد مطالعه در آزمایش تحت تأثیر کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا قرار گرفتند. کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا موجب افزایش ارتفاع بوته شد که در نتیجه موجب افزایش شاخساره و زیست‌توده بالنگوی شهری شد. بهبود تولید زیست‌توده گیاه در اثر کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا به‌عنوان یک سرمایه فیزیولوژیک، عملکرد دانه و نیز عملکرد روغن و درصد روغن را به‌همراه داشت. وزن هزار دانه نیز تحت تأثیر کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا افزایش یافت و به‌عنوان یک مؤلفه اصلی در توجیه عملکرد بالا مؤثر بود. اگرچه کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا موجب کاهش محتوای تمامی اسیدهای چرب بجز اسید لینولنیک شد، ولی افزایش در محتوای اسید لینولنیک درخور توجه بود. به نظر می‌رسد که کاربرد همزمان سرکه چوب و تلقیح با قارچ میکوریزا موجب افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود فتوسنتز گیاه و افزایش رشد شده و در نتیجه در شرایط خاک‌های فقیر می‌تواند نقش کمکی و حمایتی مطلوبی داشته باشد. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که برای حصول عملکرد دانه و روغن بالای گیاه دارویی بالنگوی شهری در خاک‌های فقیر، کاربرد همزمان سرکه چوب به میزان ۲ لیتر در هکتار و تلقیح بذر و خاک با قارچ میکوریزا تیمار مطلوبی به‌شمار می‌رود.

منابع

اسماعیل‌پور، بهروز، جلیلوند، پریسا، و هادیان، جواد (۱۳۹۲). تأثیر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.). *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۲(۵)، ۱۶۹-۱۷۷. https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24496

امینی پاک سلطانی، سارا، مدرس ثانوی، سید علی محمد، و اسیلان، کمال سادات (۱۴۰۱). تأثیر سرکه چوب و بیوچار بر عملکرد کمی و کیفی گیاه سویا در شرایط تنش کمبود آب. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۵(۱۴)، ۹۰۷-۹۲۰. https://doi.org/10.22077/escs.2021.4142.1977

Abdipour, M., Younessi-Hmazekhanlu, M., & Ramazani, S. H. R. (2019). Artificial neural networks and multiple linear regression as potential methods for modeling seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Industrial Crops and Products*, *127*, 185-194. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.050

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

Abd Manaf, M. N. H., Saud, H. M., Sakimin, S. Z., & Abd Wahid, S. (2021). Combined effects of pyroligneous acid dilutions and *Bacillus subtilis* UPMB10 on growth and yield of dwarf long bean (*Vigna sesquipedalis*). *Fundamental and Applied Agriculture*, *6*(2), 119-133. https://doi: 10.5455/faa.77702

Al-Snafi, A. E. (2019). Medical benefit of *Lallemantia iberica*-A review. *To Chemistry Journal*, *3*, 97-102.

Alvarenga, I. C. A., Boldrin, P. F., Pacheco, F. V., Silva, S. T., Bertolucci, S. K. V., & Pinto, J. E. B. P. (2015). Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro-and microelements. *Scientia Horticulturae*, *197*, 329-338. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.046

Ansari, A., Andalibi, B., Zarei, M., & Shekari, F. (2021). Combined effect of putrescine and mycorrhizal fungi in phytoremediation of *Lallemantia iberica* in Pb-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(41), 58640-58659. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14821-6

Askari, A., Ardakani, M. R., Paknejad, F., & Hosseini, Y. (2019). Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*, *257*, 108749. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108749

Azadmard-Damirchi, S. & Dutta, P. C. (2008). Stability of minor lipid components with emphasis on phytosterols during chemical interesterification of a blend of refined olive oil and palm stearin. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 85*(1), 13-21. https://doi.org/10.1007/s11746-007-1170-1

Baye, A., Berihun, B., Bantayehu, M., & Derebe, B. (2020). Genotypic and phenotypic correlation and path coefficient analysis for yield and yield-related traits in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Cogent Food and Agriculture*, *6*(1), 1752603. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1752603

Becagli, M., Santin, M., & Cardelli, R. (2022). Co-application of wood distillate and biochar improves soil quality and plant growth in basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *185*(1), 120-131. https://doi.org/10.1002/jpln.202100239

Bocianowski, J., Warzecha, T., Nowosad, K., & Bathelt, R. (2019). Genotype by environment interaction using AMMI model and estimation of additive and epistasis gene effects for 1000-kernel weight in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Applied Genetics*, *60*, 127-135. https://doi.org/10.1007/s13353-019-00490-2

Binglei, W., Chong, W., Xuelian, L., Rui, X., Mengli, L., Guangxia, X., & Zhiyi, L. (2023). Effects of earthworm (*Eisenia fetida*) and arbuscular mycorrhizal fungi improving plant hormones and antioxidant enzymes under simulated acid rain stress. *Applied Soil Ecology*, *182*, 104729. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104729

Chandrasekaran, M., Chanratana, M., Kim, K., Seshadri, S., & Sa, T. (2019). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, water status, and gas exchange of plants under salt stress–a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 457. https://doi.org/ 10:457. doi: 10.3389/fpls.2019.00457

Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hocher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, *12*(10), 370. https://doi.org/10.3390/d12100370

Fedeli, R., Vannini, A., Celletti, S., Maresca, V., Munzi, S., Cruz, C., & Loppi, S. (2023). Foliar application of wood distillate boosts plant yield and nutritional parameters of chickpea. *Annals of Applied Biology*, *182*(1), 57-64. https://doi.org/10.1111/aab.12794

Folayan, A. J., Anawe, P. A. L., Aladejare, A. E., & Ayeni, A. O. (2019). Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass. *Energy Reports*, *5*, 793-806. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.06.013

Gai, Z., Wang, Y. U., Ding, Y., Qian, W., Qiu, C., Xie, H., & Ding, Z. (2020). Exogenous abscisic acid induces the lipid and flavonoid metabolism of tea plants under drought stress. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69080-1

Geneva, M., Hristozkova, M., Kirova, E., Sichanova, M., & Stancheva, I. (2023). Response to drought stress of in vitro and in vivo propagated *Physalis peruviana* L. plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture*, *13*(2), 472. https://doi.org/10.3390/agriculture13020472

Gholinezhad, E. & Darvishzadeh, R. (2021). Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Field Crops Research*, *262*, 108035. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108035

Golubkina, N., Logvinenko, L., Molchanova, A., & Caruso, G. (2020). Genetic and environmental influence on macro- and microelement accumulation in plants of *Artemisia* species. In: Plant Micronutrients, Deficiency and Toxicity Management. Pp. 389-416. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49856-6_17

Gu, H., Wang, Y., Xie, H., Qiu, C., Zhang, S., Xiao, J., & Ding, Z. (2020). Drought stress triggers proteomic changes involving lignin, flavonoids and fatty acids in tea plants. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-020-72596-1

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

Guan, M., Huang, X., Xiao, Z., Jia, L., Wang, S., Zhu, M., & Qu, C. (2019). Association mapping analysis of fatty acid content in different ecotypic rapeseed using mrMLM. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1872. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01872

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

Heydari, S. & Pirzad, A. (2020). Improvement of the yield-related response of mycorrhized *Lallemantia iberica* to salinity through sulfur-oxidizing bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(9), 3758-3766. https://doi.org/10.1002/jsfa.11007

Hosseini, S. J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Pirdashti, H., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Hazrati, S., & Nicola, S. (2021). Investigation of yield, phytochemical composition, and photosynthetic pigments in different mint ecotypes under salinity stress. *Food Science and Nutrition*, *9*(5), 2620-2643. https://doi.org/10.1002/fsn3.221

Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A. S., & Giambalvo, D. (2019). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N_2 fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *PloS One*, *14*(3), e0213672. https://doi.org/10.1371/journal.pone.021367

Javanmard, A., Ashrafi, M., Morshedloo, M. R., Machiani, M. A., Rasouli, F., & Maggi, F. (2022). Optimizing phytochemical and physiological characteristics of Balangu (*Lallemantia iberica*) by foliar application of chitosan nanoparticles and Myco-Root inoculation under water supply restrictions. *Horticulturae*, *8*(8), 695. https://doi.org/10.3390/horticulturae808069

Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Jeddi, F. B., & Sahraoui, A. L. H. (2022). Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless Barley (*Hordeum vulgare* ssp. nudum L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, *104*, 103436. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.10343

Jindo, K., Goron, T. L., Kurebito, S., Matsumoto, K., Masunaga, T., Mori, K., & Tokunari, T. (2022). Sustainable plant growth promotion and chemical composition of pyroligneous acid when applied with biochar as a soil amendment. *Molecules*, *27*(11), 3397. https://doi.org/10.3390/molecules2711339

Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Keramati, S., & Hosseini, J. (2019). Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crops and Products*, *127*, 195-202. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.07

Komartin, R. S., Stroescu, M., Chira, N., Stan, R., & Stoica-Guzun, A. (2021). Optimization of oil extraction from *Lallemantia iberica* seeds using ultrasound-assisted extraction. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*, 2010-2020. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00790-w

Kruglov, D. S., Kruglova, M. J., & Olennikov, D. N. (2020). Correlation between the microelement profile and essential oil composition of plants from the *Filipendula* genus. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, *46*, 1378-1384. https://doi.org/10.1134/S1068162020070055

Lee, J. K., Park, H. J., Cha, S. J., Kwon, S. J., & Park, J. H. (2021). Effect of pyroligneous acid on soil urease, amidase, and nitrogen use efficiency by Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. Pekinensis). *Environmental Pollution*, *291*, 118132. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118132

Li, R., Li, M., Ashraf, U., Liu, S., & Zhang, J. (2019). Exploring the relationships between yield and yield-related traits for rice varieties released in China from 1978 to 2017. *Frontiers in Plant Science*, 10, 543. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00543

Liu, X. Q., Xie, M. M., Hashem, A., Abd-Allah, E. F., & Wu, Q. S. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia synergistically promote root colonization, plant growth, and nitrogen acquisition. *Plant Growth Regulation*, 1-11. https://doi.org/10.1007/s10725-023-00966-6

Lewandowska, M., Keyl, A., & Feussner, I. (2020). Wax biosynthesis in response to danger: Its regulation upon abiotic and biotic stress. *New Phytologist*, 227(3), 698-713. https://doi.org/10.1111/nph.16571

Ma, J., Islam, F., Ayyaz, A., Fang, R., Hannan, F., Farooq, M. A., & Zhou, W. (2022). Wood vinegar induces salinity tolerance by alleviating oxidative damages and protecting photosystem II in rapeseed cultivars. *Industrial Crops and Products*, *189*, 115763. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115763

Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A., & Pelka, J. R. (1966). Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, *38*(3), 514-515. https://doi.org/10.1021/ac60235a044

Metwally, R. A., Soliman, S. A., Latef, A. A. H. A., & Abdelhameed, R. E. (2021). The individual and interactive role of arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma viride* on growth, protein content, amino acids fractionation, and phosphatases enzyme activities of onion plants amended with fish waste. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *214*, 112072. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112072

Muhamad, I. I., Hassan, N. D., Mamat, S. N., Nawi, N. M., Rashid, W. A., & Tan, N. A. (2017). Extraction technologies and solvents of phytocompounds from plant materials: Physicochemical characterization and identification of ingredients and bioactive compounds from plant extract using various instrumentations. *In*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

Ingredients Extraction by Physicochemical Methods in Food, 523-560. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811521-3.00014-4

Noreen, S., Sultan, M., Akhter, M. S., Shah, K. H., Ummara, U., Manzoor, H., & Ahmad, P. (2021). Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *158*, 244-254. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.007

Ofoe, R., Qin, D., Gunupuru, L. R., Thomas, R. H., & Abbey, L. (2022). Effect of pyroligneous acid on the productivity and nutritional quality of greenhouse tomato. *Plants*, *11*(13), 1650. https://doi.org/10.3390/plants11131650

Olson, D., Berry, H. M., Riggs, J. D., Argueso, C. T., & Gomez, S. K. (2022). Phytohormone profile of *medicago* in response to mycorrhizal fungi, aphids, and gibberellic acid. *Plants*, *11*(6), 720. https://doi.org/10.3390/plants11060720

Ould Amer, S., Aliat, T., Kucher, D. E., Bensaci, O. A., & Rebouh, N. Y. (2023). Investigating the potential of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating water deficit effects on Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agriculture*, *13*(3), 552. https://doi.org/10.3390/agriculture13030552

Ozdemir, S. & Turp, G. A. (2022). The impact of the pyroligneous acid-assisted biomass ash vermicompost on dry beans through climatic and agroecosystem changes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 1-11. https://doi.org/10.1007/s10163-022-01556-w

Praveena, R., Thilagavathi, T., Janaki, D., Eevera, T., & Anitha, K. G. (2021). Influence of pyroligneous acid (PA) as a foliar nutrition on growth and yield parameters of green gram under sodic soil. *The Pharma Innovation Journal*, *10*(10), 1196-1200.

Rivera-Amado, C., Trujillo-Negrellos, E., Molero, G., Reynolds, M. P., Sylvester-Bradley, R., & Foulkes, M. J. (2019). Optimizing dry-matter partitioning for increased spike growth, grain number and harvest index in spring wheat. *Field Crops Research*, *240*, 154-167. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.016

Siriwardena, B. P., Subasinghe, S., Vidanapathirana, N. P., Kumarasingha, H. K. M. S., & Dhanushka, T. G. B. (2020). Effects of pyroligneous acids (wood vinegar) produced from different wood species on vegetative growth of eggplant (*Solanum melongena* L.). *International Journal of Minor Fruits, Medicinal and Aromatic Plants*, *6*(1), 25-29.

Tagawa, A., Ehara, M., Ito, Y., Araki, T., Ozaki, Y., & Shishido, Y. (2022). Effects of CO_2 enrichment on yield, photosynthetic rate, translocation and distribution of photoassimilates in strawberry 'Sagahonoka'. *Agronomy*, *12*(2), 473. https://doi.org/10.3390/agronomy12020473

Tombesi, S., Cincera, I., Frioni, T., Ughini, V., Gatti, M., Palliotti, A., & Poni, S. (2019). Relationship among night temperature, carbohydrate translocation and inhibition of grapevine leaf photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, *157*, 293-298. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.023

Turhan, A. (2021). Interactive effects of boron stress and mycorrhizal (AMF) treatments on tomato growth, yield, leaf chlorophyll and boron accumulation, and fruit characteristics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *67*(14), 1974-1985. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1818724

Vafa, Z. N., Sohrabi, Y., Sayyed, R. Z., Luh Suriani, N., & Datta, R. (2021). Effects of the combinations of rhizobacteria, mycorrhizae, and seaweed, and supplementary irrigation on growth and yield in wheat cultivars. *Plants*, *10*(4), 811. https://doi.org/10.3390/plants10040811

Wei, Q. & Ma, X. (2010). Dong J. Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyroligneous acids from walnut tree branches. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *87*, 24-28. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2009.09.006

Yuan, Y., Kong, Q., Zheng, Y., Zheng, H., Liu, Y., Cheng, Y., & Li, Y. (2022). Co-application of biochar and pyroligneous acid improved peanut production and nutritional quality in a coastal soil. *Environmental Technology and Innovation*, *28*, 102886. https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102886

Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., & Hu, L. (2021). Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. *Agronomy*, *11*, 510. https://doi.org/10.3390/agronomy11030510.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]

Effect of pyroligneous acid application and inoculation with arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomus* Genus) on growth, yield and fatty acids of *Lallemantia iberica* in poor soils

Saeid Hazrati*, Sirous Shiri, Vahid Sarabi, Hamid Mohammadi

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

(Received: 2023/05/25, Accepted: 2023/06/28)

Abstract

Optimum use of chemical and biological fertilizers and balanced plant nutrition as the most important soil fertility factors are among the priorities of agricultural sectors. In order to evaluate the simultaneous use of pyroligneous and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi of the *Glomus* genus on the growth and yield of the *Lallemantia iberica* medicinal plant in poor soils, a factorial experiment based on a randomized complete block design was conducted in 2022. In this experiment, the first factor included pyroligneous with three levels (no application, application of 2 and 4 liters per hectare), and the second factor included arbuscular mycorrhizal fungi of the *Glomus* genus (no inoculation, seed inoculation with fungi, seed + soil inoculation with fungi) was performed in three replicates. The results showed that the traits of plant height, 1000 seed weight, biomass, seed yield, harvest index, oil percentage and oil yield were significantly affected by the interaction of pyroligneous and inoculation with mycorrhizal fungi. The highest amount of seed yield (2038 kg/ha) in the application of 2 liters per hectare of pyroligneous and inoculation with mycorrhizal fungi, and the highest oil percentage (25.11%) and oil yield (487.95 kg/ha) were related to the treatment of using 4 liters of pyroligneous per hectare and inoculation with mycorrhizal fungi. Palmitic, linolenic, oleic, linoleic, palmitoleic and stearic fatty acids were significantly affected by pyroligneous inoculation with mycorrhizal fungi. The use of pyroligneous and inoculation with mycorrhizal fungi reduced all fatty acids except linolenic acid, so that all levels of pyroligneous, seed inoculation, and seed + soil inoculation could increase the amount of linolenic acid compared with the non-inoculation treatment. In general, it can be concluded that simultaneous application of pyroligneous at the rate of 2 liters per hectare and inoculation of seeds + soil with mycorrhizal fungi is considered a desirable treatment to obtain high seed and oil yield of *Lallemantia iberica* plants in poor soils.

Keywords: Fertility, Biological fertilizers, Oil percentage, Organic fertilizers

Corresponding author, Email: saeid.hazrati@azaruniv.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-04-28]