

تعیین خصوصیات رشدی و کیفی گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تأثیر همزیستی با قارچ میکوریزا و امواج فراصوت

شیما کریمی فرد^{۱*}، احمد غلامی^۲ و منوچهر قلی‌پور^۲

۱- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
پست الکترونیک: sh.karimifard@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۶

تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزا و امواج فراصوت بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) این آزمایش در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار بود. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ میکوریزا در سه سطح عدم تلقیح، تلقیح به میزان توصیه شده، تلقیح به میزان دو برابر توصیه شده و پرتودهی در پنج سطح صفر، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه با امواج فراصوت با فرکانس ۴۲ کیلوهرتز بود. نتایج این بررسی نشان داد که عملکرد دانه، وزن هزاردانه، درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت تأثیر اثر اصلی قارچ میکوریزا قرار گرفتند. درصد و عملکرد اسانس به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف میکوریزا قرار گرفت. بیشترین درصد اسانس از مصرف مضاعف ماده تلقیح به میزان ۱/۱٪ بدست آمد. بین دو تیمار تلقیح از نظر تأثیر بر عملکرد دانه و وزن هزاردانه تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. اثر امواج فراصوت باعث افزایش در ارتفاع ساقه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس گردید. بیشترین عملکرد دانه و وزن هزاردانه از تیمار ۷ دقیقه پرتودهی و به ترتیب به میزان ۶۹۶/۳ کیلوگرم در هکتار و ۲/۷ گرم حاصل شد. براساس نتایج حاصل، اثر متقابل قارچ میکوریزا و امواج فراصوت بر ارتفاع ساقه، تعداد کپسول در بوته و درصد اسانس معنی‌دار شد. بالاترین درصد اسانس در ترکیب‌های تیماری ۹ دقیقه پرتودهی و عدم تلقیح با میکوریزا و همچنین ۳ دقیقه پرتودهی و استفاده از میکوریزا بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: میکوریزا، امواج فراصوت، سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، کلونیزاسیون.

مقدمه

بیشتر در نواحی مختلف شمال آفریقا، جنوب اروپا، مناطق مدیترانه‌ای تا هندوستان، غرب و جنوب شرق آسیا و استرالیا می‌باشد (Filippo et al., 2002). دانه‌های گیاه دارویی سیاه‌دانه از قدیم‌الایام استفاده می‌شد و برای این دانه‌ها خواصی مانند افزایش شیر، ضد نفخ، مسهل و ضد انگل قائل

سیاه‌دانه گیاهیست دولپه، علفی و یک‌ساله متعلق به خانواده آلاله با نام علمی *Nigella sativa* L. که در زبان انگلیسی Black cumin و در عربی به آن شونیز و کمون اسود گفته می‌شود (زرگری، ۱۳۶۸). پراکندگی این گیاه

انواع گیاهان دارویی و معطر مشاهده شده و این همزیستی سبب افزایش و بهبود بازده اسانس در این گروه از گیاهان می‌شود (Gupta et al., 2002). گزارش‌های متعددی نشان داده است که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزی مقدار جذب مواد غذایی و رشد را افزایش می‌دهد. به طوری که مقاومت به تنش‌های محیطی و بیماری‌ها و همچنین عملکرد آنها افزایش یافته است (Kapoor et al., 2004). ثوابی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی روی گیاه گندم به این نتیجه رسیدند که در رقم سیستان با تلقیح *Glomus etunicatum* وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، وزن هزاردانه و عملکرد دانه افزایش یافت و تلقیح با *Glomus intraradices* منجر به افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه شد.

افزایش تقاضای روزافزون مصرف‌کنندگان برای استفاده از محصولات با کیفیت منجر به استفاده از تکنولوژی‌های جدید و بدون عوارض مانند فراصوت شده است. امواج فراصوت به عنوان یک فناوری پیشرفته، کاربرد زیادی در علوم و صنایع مختلف، از جمله صنایع غذایی پیدا کرده است. امواج فراصوت کاربردهای زیادی در کشاورزی دارد، به طوری که نه تنها در تیمارهای بذری به منظور کاهش و حذف آفات و بیماری‌ها کاربرد دارد، بلکه این امواج در مهندسی ژنتیک و انتقال ژن نیز کاربرد دارد. فناوری استفاده از امواج فراصوت یکی از روش‌های صوتی استفاده شده در کشاورزی به ویژه در ارزیابی کیفیت و عملکرد محصولات زراعی است. به طور کلی سازوکار اثر امواج فراصوت با فرکانس پایین به دلیل ایجاد پدیده حفگی یا تشکیل حباب‌های بسیار ریزی است که تحت تأثیر انقباض و انبساط به صورت لحظه‌ای و نقطه‌ای حرارت و فشار فوق‌العاده زیاد در محیط مایع ایجاد می‌شود. این وضعیت باعث اثرات فیزیکی شیمیایی بر مولکول‌های مجاور می‌شود (Mason, 1998). امواج فراصوت، گرادیان فشار را در سطح گاز-مایع تحت تأثیر قرار می‌دهند. دو پارامتر مهمی که در رابطه با امواج فراصوت بوده و برای اندازه‌گیری خواص محصولات کشاورزی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد،

بودند. در سال‌های اخیر سیاه‌دانه مورد تحقیقات وسیع فارماکولوژیک قرار گرفته است. این مطالعات دامنه وسیعی از اثرات مانند ضد باکتری، ضد تومور، ضد التهاب، مسکن، کاهنده قند خون و شل‌کننده عضلات صاف را نشان می‌دهد (Filippo et al., 2002). دانه‌های این گیاه در ایران و هندوستان برای مصرف بر روی نان و شیرینی، معطر کردن سرکه و به عنوان اشتهاآور در طب سنتی کاربرد دارد. در مصر به عنوان ماده معطر به کار می‌رود و در سوریه برای معطر کردن پنیر کاربرد دارد و دانه‌های آن برای طعم دادن به مربا و ترشی به کار می‌رود (زرگری، ۱۳۶۸).

مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک، بهبود و حفظ باروری خاک در سیستم‌های زراعی نوین سبب تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شود که اهمیت ویژه‌ای در تأمین نیاز مواد غذایی جمعیت رو به رشد دارد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در راستای استفاده از کودهای زیستی انجام شده است (Dokra et al., 2003). کودهای زیستی شامل ریزجانداران و متابولیت آنها می‌باشد که قادر به افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش رشد گیاه و عملکرد محصول هستند. همچنین این ریزجانداران قادر به آماده‌سازی عناصر مغذی از حالت غیر قابل جذب به حالت قابل جذب در طی فرایند زیستی هستند (Schipper et al., 1990). میکوریزا همزیستی میان برخی از قارچ‌های موجود در خاک با ریشه گیاهان بوده و رابطه‌ای کاملاً دوطرفه است (Sieverding, 1991). همزیستی میکوریزایی از رایج‌ترین و قدیمی‌ترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان است و یکی از مهمترین انواع میکوریزاها، میکوریزای آرباسکولار (AM) می‌باشد که از نظر کشاورزی اهمیت فوق‌العاده زیادی دارد و به عنوان یک نوع کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی به شمار می‌رود. ریشه اغلب گیاهان مرتعی، زراعی و باغی با میکوریزا همزیست هستند (Sharma & johri, 2002) و در بیشتر اکوسیستم‌ها وجود دارند، به طوری که بیشتر گیاهان (در حدود ۹۵٪ گونه‌های گیاهان آوندی) دست‌کم یکی از تیپ‌های میکوریزا را دارند (صالح راستین، ۱۳۷۷). همزیستی این قارچ‌ها با

کامل تصادفی با ۳ تکرار بود که تیمارهای آن شامل قارچ میکوریزا از گونه *Glomus mosseae* در سه سطح شاهد: (M_1)، تلقیح به میزان توصیه شده: (M_2) و تلقیح به دو برابر مقدار توصیه شده: (M_3) و امواج فراصوت در پنج سطح شاهد (F_1)، ۳ (F_2)، ۵ (F_3)، ۷ (F_4) و ۹ (F_5) دقیقه پرتو دهی با فرکانس ۴۲ کیلوهرتز بود.

بعد از آماده‌سازی زمین نمونه مرکبی از خاک مزرعه تهیه شد. برخی از خصوصیات خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است. پس از پیاده کردن نقشه طرح و انجام عملیات خاک‌ورزی، کرت‌هایی با ابعاد $۲/۵ \times ۴$ مترمربع ایجاد و داخل هر کرت ۴ ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. کشت در تاریخ ۸ خرداد در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ cm و با فاصله کاشت ۱۰ cm روی ردیف انجام شد. بذر مورد استفاده توده محلی سیاهدانه بود که از منطقه بسطام تهیه گردید.

بذرهای قبل از کاشت با امواج فراصوت توسط دستگاه فراصوت ثابت ۴۲ کیلوهرتز پرتو دهی شده و به مزرعه برای کاشت منتقل شدند. مایع تلقیح قارچی شامل خاک، بقایای ریشه‌ای و اندام‌های قارچی بود که در زمان کاشت در زیر بذر قرار داده شد. هر گرم از این ماده تلقیح شامل حدود ۵۰ اسپور زنده بود. در تیمار تلقیح به مقدار توصیه شده تعداد ۳۰۰ اسپور در زیر هر بذر قرار گرفت. برای ایجاد تراکم مورد نظر، اقدام به تنک کردن گیاهان در مرحله ۶ برگی شد. آبیاری به روش جوی و پشته انجام شد که اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله ۷ روز یک‌بار انجام گردید. وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد، به طوری که مزرعه در طول دوره رشد عاری از علف‌های هرز بود.

نمونه‌گیری از دو ردیف وسط و پس از حذف اثر حاشیه‌ای انجام شد و به منظور حفظ کمیّت و کیفیت اسانس گیاه، نمونه‌های مذکور در سایه و در درجه حرارت محیط خشک شدند. سپس ارتفاع، تعداد کپسول‌ها و تعداد بذرهای در کپسول شمارش و میانگین نمونه‌ها گزارش شد. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک در واحد سطح، وزن خشک کلیه

سرعت موج فراصوت و ضریب تضعیف آن است. سرعت امواج فراصوت (V) از طریق اندازه‌گیری زمان مورد نیاز (T) برای عبور موج فراصوت از ضخامت مشخص مواد (L) مطابق رابطه ۱ تعیین می‌گردد (ذکی دیزجی و همکاران، ۱۳۸۷).

$$V = \frac{L}{T} \quad \text{رابطه ۱}$$

پژوهش‌هایی در زمینه آنتوسیانین در میوه‌ها و بررسی پایداری آنها در شرایط مختلف به وسیله امواج فراصوت انجام شده است (مسکوک و مرتضوی، ۱۳۸۰). همچنین هیچ‌گونه تداخل شیمیایی که سبب افت احتمالی ترکیب‌های شیمیایی آنتوسیانین در عصاره‌گیری با امواج فراصوت شود در تمشک قرمز گزارش نشده است (Chen et al., 2006). بذر تریچه تیمار شده با امواج فراصوت، افزایش سرعت جوانه‌زنی و همچنین افزایش ۱۳ تا ۱۶ درصدی طول ریشه‌چه را نسبت به شاهد نشان داد (Shimomura, 1990). نتایج تحقیقات دیگر بر روی بذرهای بادمجان، فلفل و خیار نشان داد که از لحاظ رشد بوته، تیمار بذرهای با امواج فراصوت ۴۲ تا ۵۹ کیلوهرتز، برتری بسیار بالایی نسبت به تیمار شاهد داشت (بینا و همکاران، ۱۳۸۷).

با توجه به اینکه سیاهدانه از گیاهان دارویی ارزشمند با مصارف متعدد دارویی و غذایی به‌شمار می‌رود، ضرورت شناخت و بررسی عوامل مؤثر در تولید این گیاه در شرایط کشاورزی پایدار آشکار می‌گردد. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند برخی نکات مهم مربوط به واکنش گیاه دارویی سیاهدانه را به قارچ میکوریزا و امواج اولتراسونیک از نظر کمی و کیفی روشن کند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شاهرود واقع در شهر بسطام (طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۴۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های

برای رنگبری، ریشه‌ها به داخل شیشه‌های حاوی KOH ۱۰٪ منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس ۳ تا ۴ بار با آب مقطر شسته شده و برای خنثی کردن محیط قلیایی، به مدت دو دقیقه در محلول ۰/۱٪ HCl نرمال قرار گرفتند. پس از آن ریشه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محلول تریپان بلو (۰/۰۱٪) نگهداری شدند. به منظور تعیین درصد کلونیزاسیون از روش اسلاید استفاده شد، به طوری که تعداد ۲۵ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌های هر کرت در زیر میکروسکوپ بررسی و وجود هر یک از اندام‌های قارچ (ویزیکول، آرباسکول و هیف) ثبت شد. تجزیه داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD انجام شد. سطح احتمال مورد استفاده برای مقایسه میانگین‌ها مطابق با سطح احتمال معنی‌دار شدن صفت در جدول تجزیه واریانس بود.

بوته‌ها در واحد سطح پس از برداشت محاسبه گردید. همچنین برای محاسبه عملکرد دانه، پس از جداکردن اندام‌های رویشی و بوجاری بذرها، عملکرد دانه‌ها در واحد سطح بدست آمد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک در مساحت مورد نظر و حاصل ضرب آن در ۱۰۰ بدست آمد. به منظور استخراج اسانس بذرها خشک شده، از روش تقطیر با بخار توسط دستگاه کلونجر (Clevenger) به مدت اسانس‌گیری ۳ ساعت استفاده شد. با توجه به عملکرد دانه و درصد اسانس، عملکرد اسانس محاسبه شد. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، از نمونه‌های تهیه شده از ریشه‌ها که در داخل محلول (۵۰٪ آب مقطر و ۵۰٪ الکل سفید) نگهداری شده بود استفاده گردید. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها در محیط آزمايشگاه از روش تغییر یافته Phillips و Hayman (۱۹۷۰) استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه

رس (%)	لای (%)	شن (%)	پتاسیم قابل دسترس (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن (%)	کربن آلی (%)	شوری (ds/m)	اسیدیته
۱۱	۳۴	۵۵	۱۷۷	۴/۸۹	۰/۰۲۴	۰/۳۵	۷/۵۶	۷/۷۹

نتایج

ارتفاع ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حکایت از آن دارد که تلقیح سطوح مختلف امواج اولتراسونیک به طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱٪) ارتفاع ساقه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). به طوری که در تیمار ۷ و ۵ دقیقه فراصوت بیشترین ارتفاع بوته بدست آمد و ارتفاع بوته را به ترتیب ۱۸/۶٪ و ۱۶/۱٪ نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). اثر متقابل تلقیح باکتری و اولتراسونیک در سطح احتمال ۱٪ بر ارتفاع ساقه تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه (۴۰/۳ سانتی‌متر) در تیمار مقدار ماده تلقیح توصیه شده قارچ همراه با ۵ دقیقه اولتراسونیک و کمترین ارتفاع بوته (۲۶/۳ سانتی‌متر) از تیمار شاهد حاصل شد. به طوری که در

این ترکیب تیماری ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد ۵۳/۲٪ افزایش یافت (شکل ۱).

تعداد کپسول در بوته

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر عوامل میکوریزا و اولتراسونیک بر تعداد کپسول معنی‌دار نبود. اما اثر متقابل تلقیح میکوریزا و اولتراسونیک در سطح احتمال ۰/۰۱ بر تعداد کپسول به طور معنی‌دار بود. نتایج بدست آمده نشان داد که کمترین تعداد کپسول مربوط به تیمار شاهد و برابر ۴ کپسول در بوته و بیشترین تعداد کپسول مربوط به تیمار تلقیح مضاعف میکوریزا و ۷ دقیقه اولتراسونیک و برابر ۲۲ کپسول در بوته حاصل شد (شکل ۲).

تعداد دانه در کپسول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس این صفت نشان داد که عوامل مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول نسبت به شاهد نداشت (جدول ۲). این نتیجه نشان داد که صفت تعداد بذر در کپسول بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ گیاه بوده و عوامل محیطی تأثیر کمتری بر این صفت دارند.

وزن هزاردانه

اثر عامل میکوریزا بر وزن هزاردانه در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد وزن هزاردانه در تلقیح با مقدار توصیه شده میکوریزا و در تلقیح مضاعف آن در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۳۹/۸٪ و ۲۷/۹٪ بیشتر بود. اما اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تلقیح میکوریزا ایجاد نشد و این تفاوت تنها میان استفاده و عدم استفاده از این کود زیستی بود (جدول ۳). تأثیر سطوح مختلف امواج فراصوت نیز بر وزن هزاردانه در سطح $P \leq 0.05$ معنی‌دار شد (جدول ۳). به طوری که استفاده از ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه امواج فراصوت، وزن هزاردانه را به ترتیب ۱۵/۷، ۲۶/۱، ۳۳/۹ و ۶/۴٪ نسبت به شاهد (عدم استفاده از امواج فراصوت) افزایش داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان تیمار اولتراسونیک به ۹ دقیقه، ارتفاع ساقه به مقدار ۲۵/۴٪ نسبت به تیمار ۷ دقیقه کاهش یافت (جدول ۴).

عملکرد دانه

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) عامل میکوریزا به‌طور معنی‌داری (احتمال ۱٪) عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار داد، به طوری که بیشترین عملکرد دانه برابر ۶۱۶/۶ کیلوگرم در هکتار با تلقیح مضاعف و کمترین آن ۲۸۸/۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد (عدم تلقیح میکوریزا) بدست آمد. البته بین سطوح تلقیح اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). این تأثیر مثبت برای سطوح امواج اولتراسونیک نیز صادق بود (جدول ۴). به‌نحوی که بیشترین عملکرد دانه (۶۹۶/۳ کیلوگرم در

هکتار) از تیمار ۷ دقیقه تیمار فراصوت حاصل شد و کمترین عملکرد دانه (۳۱۶/۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به شاهد بود (جدول ۴).

درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) حکایت از تأثیر معنی‌دار اثر قارچ میکوریزا در سطح احتمال ۱٪ بر این صفت داشت. گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشترین درصد همزیستی را به خود اختصاص دادند که با توجه به جدول مقایسه میانگین بین سطوح مختلف تلقیح از نظر آماری اختلاف معنی‌داری دیده نشد، ولی در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری ملاحظه گردید. تلقیح توصیه شده و تلقیح مضاعف درصد همزیستی را به ترتیب ۴۶/۶٪ و ۳۷/۸٪ نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). با توجه به جدول تجزیه واریانس، درصد همزیستی ریشه از نظر آماری تحت تأثیر امواج فراصوت و اثر متقابل عوامل مورد آزمایش قرار نگرفت (جدول ۲).

عملکرد بیولوژیک

اثر سطوح مختلف تلقیح میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک در سطح $P \leq 0.05$ معنی‌دار شد (جدول ۲). گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند، هرچند بین سطوح مختلف تلقیح میکوریزا از نظر آماری اختلاف معنی‌داری دیده نشد، ولی در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. استفاده از ماده تلقیح به میزان توصیه شده و دو برابر میزان توصیه شده، درصد همزیستی میکوریزایی را به ترتیب ۴۴/۶٪ و ۶۴/۷٪ نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳).

تأثیر سطوح مختلف امواج اولتراسونیک بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار شد (جدول ۴). به‌نحوی که بیشترین عملکرد بیولوژیک برابر ۱۳۸/۳ گرم در مترمربع از تیمار ۷ دقیقه فراصوت و کمترین عملکرد بیولوژیک از تیمار شاهد برابر ۷۷ گرم در مترمربع بدست آمد. استفاده از ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه امواج فراصوت، عملکرد

معنی‌داری نداشت و کمترین آن در تیمار شاهد برابر $0/6\%$ محاسبه شد (جدول ۴). بیشترین میزان اسانس برابر $1/6\%$ از ترکیب تیماری عدم کاربرد میکوریزا به همراه ۹ دقیقه امواج اولتراسونیک و ترکیب تیماری تلقیح مضاعف میکوریزا به همراه کاربرد ۳ دقیقه اولتراسونیک حاصل گردید و کمترین درصد اسانس برابر $0/4\%$ از ترکیب تیماری عدم تلقیح میکوریزا به همراه ۳ دقیقه اولتراسونیک و تیمار تلقیح توصیه شده به همراه ۳ دقیقه اولتراسونیک بدست آمد (شکل ۳).

عملکرد اسانس

اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد اسانس در سطح احتمال 1% معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌نحوی که بیشترین عملکرد اسانس برابر $7/9$ کیلوگرم در هکتار از تلقیح مضاعف قارچ میکوریزا و کمترین آن برابر 3 کیلوگرم در هکتار از تیمار شاهد بدست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تلقیح توصیه شده نداشت (جدول ۳).

سطوح امواج فراصوت

این سطوح نیز اثرات معنی‌داری بر عملکرد اسانس داشتند (جدول ۲). به‌نحوی که بذره‌های گیاهان تیمار شده با ۷ دقیقه امواج فراصوت دارای بالاترین عملکرد اسانس برابر $8/7$ کیلوگرم در هکتار و گیاهان شاهد با $2/3$ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد اسانس را تولید کردند (جدول ۴).

بیولوژیک را به‌ترتیب $8/5$ ، $48/8$ ، 80 و $12/5\%$ نسبت به شاهد (عدم استفاده از امواج فراصوت) افزایش داد (جدول ۴).

شاخص برداشت

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر اصلی قارچ میکوریزا بر شاخص برداشت در سطح احتمال $0/05$ معنی‌دار بود. به‌طوری که بیشترین شاخص برداشت در تیمار تلقیح توصیه شده قارچ میکوریزا و برابر $63/3\%$ حاصل شد، به‌طوری که شاخص برداشت $62/3\%$ نسبت به شاهد افزایش یافت. البته بین سطوح مقدار توصیه شده و دو برابر ماده تلقیح از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

درصد اسانس

همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) مشاهده می‌شود تلقیح سطوح مختلف میکوریزا در سطح 5% و اثر عامل اولتراسونیک و اثر متقابل قارچ میکوریزا و امواج در سطح احتمال $0/01$ دارای اثر معنی‌داری بر درصد اسانس بودند. بیشترین مقدار اسانس ($1/1\%$) از تیمار تلقیح مضاعف میکوریزا حاصل شد، به‌طوری که میزان کل اسانس را $22/2\%$ نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). در رابطه با تیمار فراصوت بیشترین درصد اسانس در تیمار ۵ دقیقه پرتودهی با امواج فراصوت و برابر $1/3\%$ بدست آمد که با تیمار ۷ و ۹ دقیقه تفاوت

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های کمی و کیفی سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمار قارچ میکوریزا و امواج فراصوت

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع ساقه	تعداد کپسول	تعداد دانه	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	درصد کلونیزاسیون	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۶/۵ ns	۹/۸ ns	۲۵۲۰۱۳/۴ ns	۰/۰۱ ns	۴۲۸۷/۸ ns	۷۲۹/۱ ns	۱۱۳۹۰/۷ ***	۱۸۳۵/۷ ns	۰/۳۷ *	۱۶/۴ ns
میکوریزا (M)	۲	۲۰/۸ ns	۵۸ ns	۴۸۰۲۷۷/۴ ns	۲/۳۳ ***	۴۰۵۲۸۰/۹ ***	۲۳۰۵/۶ ***	۸۸۱۱/۲ *	۲۲۳۰/۲ *	۰/۳۲ *	۹۳/۷ ***
فراصوت (F)	۴	۵۷ ***	۳۸/۱ ns	۲۴۲۵۸۳/۴ ns	۰/۷ *	۲۱۶۳۸۶/۳ *	۲۳۵/۴ ns	۵۹۸۰/۶ *	۳۹۹/۸ ns	۰/۶۶ ***	۶۹/۶ ***
میکوریزا × فراصوت (M×F)	۸	۴۵/۸ ***	۱۲۷/۴ ***	۲۵۴۶۴۵/۶ ns	۰/۲۵ ns	۸۱۵۶۰/۸ ns	۴۸۴/۵ ns	۳۶۸۹ ns	۱۰۶۵/۵ ns	۰/۵۹ ***	۲۹/۴ ns
خطا	۲۸	۱۱/۱	۳۲/۵	۲۲۸۷۴۱	۰/۲۴	۵۶۶۳۷/۱	۲۶۲/۱	۱۷۸۱/۱	۶۴۰/۸	۰/۰۸	۱۶/۲۳
ضریب تغییرات		۹/۵	۳۲	۴۳	۲۰	۲۲	۲۵	۳۲	۲۹	۲۸	۳۸

ns و ** و *** به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی داری می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های کمی و کیفی سیاه‌دانه

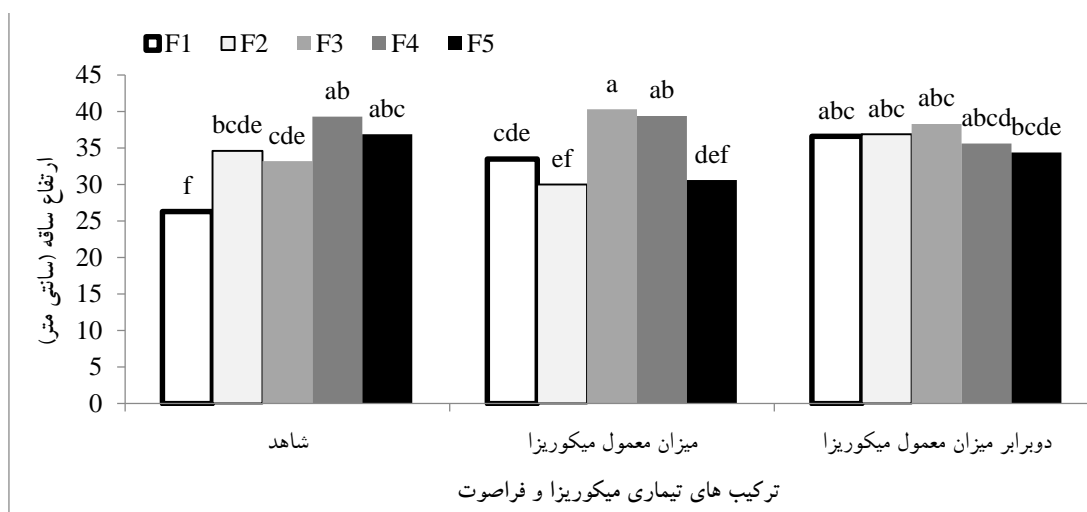
تیمار	وزن هزاردانه (g)	عملکرد دانه (kg/ha)	کلونیزاسیون ریشه (%)	عملکرد بیولوژیک (g/m ²)	شاخص برداشت (%)	عملکرد اسانس (kh/ha)	میزان اسانس (%)
شاهد (M1)	۱/۹ b	۲۸۸/۸ b	۵۰ b	۷۳/۳ b	۳۹ b	۳ b	۰/۹۱ b
تلقیح توصیه شده (M2)	۲/۷ a	۴۷۴/۳ a	۷۳/۳ a	۱۰۵/۹ a	۶۳/۳ a	۴/۵ b	۰/۹۳ b
تلقیح مضاعف (M3)	۲/۴ a	۶۱۶/۶ a	۶۸/۹ a	۱۲۰/۶ a	۵۱/۹ ab	۷/۹ a	۱/۱ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر امواج فراصوت بر ویژگی‌های کمی و کیفی سیاه‌دانه

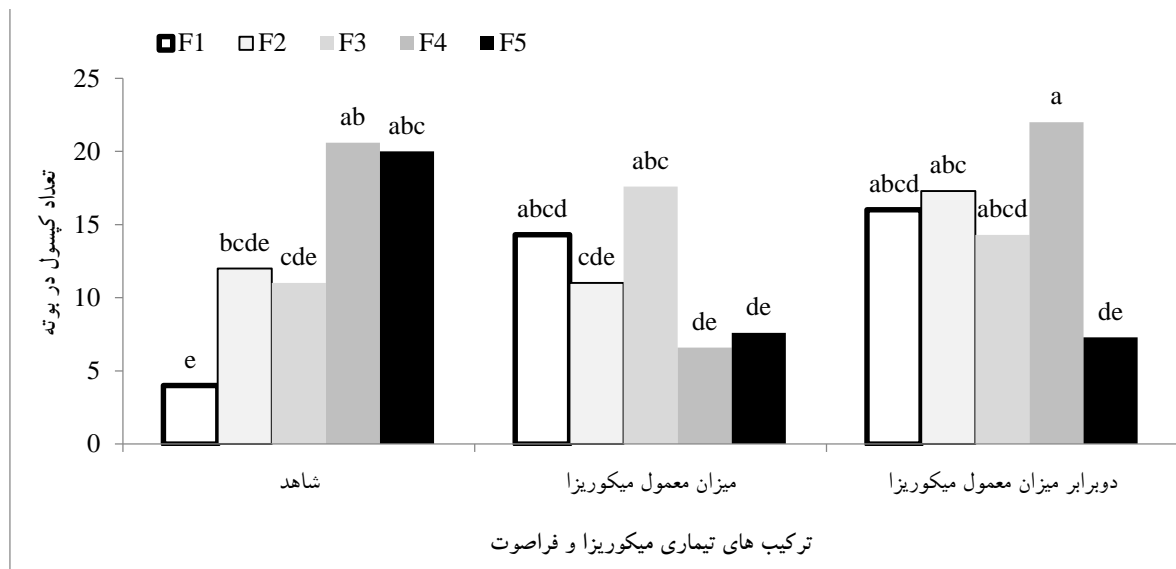
تیمار	ارتفاع ساقه (cm)	وزن هزاردانه (gr)	عملکرد دانه (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک (g/m ²)	عملکرد اسانس (kg/ha)	میزان اسانس (%)
شاهد (F1)	۳۲/۱ b	۲ c	۳۱۶/۵ b	۷۷ b	۲/۳ c	۰/۶ c
۳ دقیقه (F2)	۳۳/۸ b	۲/۳ abc	۳۸۷/۶ b	۸۳/۵ b	۳/۵ c	۰/۸ bc
۵ دقیقه (F3)	۳۷/۳ a	۲/۵ ab	۵۳۴/۱ ab	۱۱۴/۳ ab	۷/۴ ab	۱/۳ a
۷ دقیقه (F4)	۳۸/۱ a	۲/۷ a	۶۹۶/۳ a	۱۳۸/۳ a	۸/۷ a	۱/۱ a
۹ دقیقه (F5)	۳۴ b	۲/۱ bc	۳۶۵/۱ b	۸۶/۵ b	۳/۷ bc	۱ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



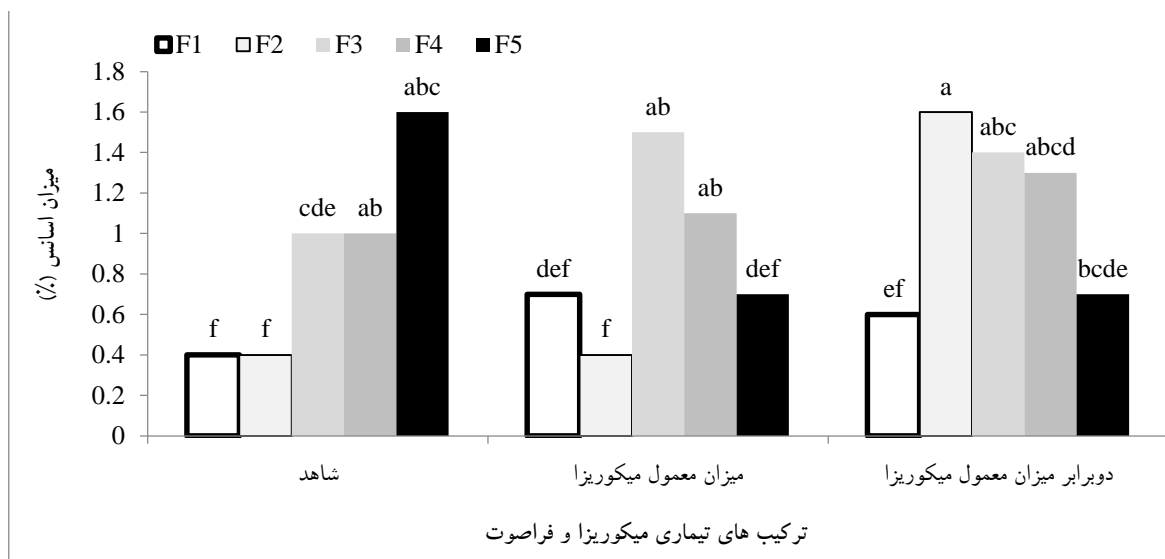
شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریزا و امواج فراصوت بر ارتفاع ساقه

F1, F2, F3, F4 و F5 به ترتیب برابر ۰، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه پرتودهی با فراصوت (آزمون LSD, $P \leq 0.01$)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریزا و امواج فراصوت بر تعداد کپسول در بوته

F1, F2, F3, F4, F5 به ترتیب برابر ۰، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه پرتو دهی با فراصوت (آزمون LSD، $P \leq 0.01$)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل قارچ میکوریزا و امواج فراصوت بر درصد اسانس در بوته

F1, F2, F3, F4, F5 به ترتیب برابر ۰، ۳، ۵، ۷ و ۹ دقیقه پرتو دهی با فراصوت (آزمون LSD، $P \leq 0.01$)

بحث

میکوریزا از جنبه های مختلف سبب افزایش رشد گیاه میزبان می شوند. در ارتباط با افزایش وزن هزاردانه در تیمارهای میکوریزی می توان اظهار داشت که این افزایش، در نتیجه تأثیر مثبت میکوریزا بر توسعه سیستم ریشه ای و در نتیجه جذب بهتر آب و عناصر غذایی بوده است. در همین رابطه

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار قارچ میکوریزا به طور معنی داری سبب افزایش وزن هزاردانه، عملکرد دانه، درصد کلونیزاسیون، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه دارویی سیاه دانه نسبت به شاهد شد. قارچ های

یافت. نتایج این بررسی نشان داد که عملکرد اسانس نیز تحت تأثیر سطوح میکوریزا قرار گرفت و بیشترین عملکرد اسانس متعلق به تلقیح مضاعف ماده تلقیح قارچ بود. در بررسی که توکلی دینانی (۱۳۸۸) بر روی گیاه شوید انجام داد، کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش چشمگیر درصد اسانس، عملکرد بذر و به دنبال آن عملکرد اسانس شد.

در این بررسی اثر مثبت امواج فراصوت بر عملکرد دانه سیاه‌دانه مشاهده گردید و مشخص شد با افزایش مدت زمان تیمار اولتراسونیک به ۹ دقیقه ارتفاع ساقه به مقدار ۶/۹۰٪ نسبت به تیمار ۷ دقیقه پرتو دهی کاهش یافت. سرخی لله لو (۱۳۸۸) طی تحقیقی بر روی جوانه‌زنی بذرهای گیاه همیشه‌بهار دریافت که با افزایش زمان تیمار اولتراسونیک درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه کاهش یافت. در پژوهش دیگری دیده شد که استفاده از این امواج می‌تواند منجر به کاهش ۳۰ تا ۴۵ درصدی زمان تا جوانه‌زنی بذرهای جو و افزایش درصد جوانه‌زنی گردد (یلداگرد و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج این بررسی نشان داد که تیمار اولتراسونیک افزایش عملکرد بیولوژیک را به همراه داشت که به نظر می‌رسد پرایم بذرهای سیاه‌دانه با امواج اولتراسونیک موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی و با استقرار سریع گیاه و دریافت بیشتر از عناصر طبیعی (رطوبت، نور و ...) موجب افزایش رشد و عملکرد سیاه‌دانه گردیده است. عملکرد اسانس نیز تحت تأثیر سطوح مختلف امواج فراصوت قرار گرفت. در این آزمایش عملکرد دانه و درصد اسانس که از اجزای عملکرد اسانس هستند در تیمارهای فراصوت برتر از شاهد بودند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که عملکرد اسانس نیز در این تیمارها نسبت به شاهد بیشتر باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر متقابل میکوریزا و امواج فراصوت باعث افزایش معنی‌دار در ارتفاع ساقه، تعداد کپسول در بوته و میزان اسانس سیاه‌دانه گردید. اثر امواج فراصوت در استخراج مواد گیاهی به دلیل شکستن سلول‌ها و رها شدن محتویات درون سلولی به محیط استخراج است. در یک بررسی بر روی استخراج همی‌سلولز از نیشکر، امواج فراصوت موجب

درزی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی در مورد گیاه رازیانه، به نتایج مشابهی دست یافتند. آنان بیان کردند که با تلقیح میکوریزای *Glomus intraradices* وزن هزاردانه ۶٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. گیاهان تیمار شده با کود زیستی میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) عملکرد دانه بیشتری داشتند. در این ارتباط می‌توان بیان کرد که کاربرد میکوریزا از طریق افزایش رشد ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی از یک طرف باعث بهبود اجزای عملکرد دانه از قبیل وزن هزاردانه شده و از طرف دیگر سبب افزایش عملکرد بیولوژیک گردیده است. افزایش این صفات ارتباط مستقیمی با افزایش عملکرد دانه دارد. در همین رابطه Gupta و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که تلقیح گیاه نعنای با قارچ *G. fasciculatum* به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای میزان جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عملکرد محصول را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده افزایش داد. در این تحقیق گیاهان تلقیح شده با میکوریزا درصد همزیستی بالاتری در مقایسه با گیاهان شاهد داشتند که با نتایج Kapoor و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. آنان نشان دادند که تلقیح رازیانه با قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار درصد همزیستی ریشه آن می‌گردد. در مورد تأثیر همزیستی میکوریزا بر روی عملکرد بیولوژیک سیاه‌دانه، می‌توان بیان کرد که تلقیح میکوریزا از طریق بهبود میزان جذب عناصر غذایی و افزایش فتوسنتز موجب افزایش بیوماس گیاهی گردید. در همین زمینه Garg و Chandel (۲۰۱۱) با تلقیح *Glomus mosseae* در گیاه نخود بیان کردند که وزن خشک اندام هوایی با تلقیح میکوریزا افزایش یافت. در رابطه با کاربرد میکوریزا در افزایش شاخص برداشت، برخی محققان نشان دادند که شاخص برداشت در گیاه نخود در صورت وجود میکروارگانسیم‌های سودمند از قبیل میکوریزا بیشتر بود. آنان افزایش در شاخص برداشت را ناشی از افزایش جذب فسفر و نیتروژن و افزایش فتوسنتز گیاه دانستند (Jakobsen, 1987). بنابراین به نظر می‌رسد که دلیل برتری تیمار میکوریزا نسبت به شاهد این بود که سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی تولید شده به تولید دانه اختصاص

افزایش خروج همی سلولز از طریق شکسته شدن اتصالات بین همی سلولز و لیگنین شد (Hromadkova & Ebringerova, 2003).

نعیمی نوشهر (۱۳۹۳) با بررسی تأثیر امواج اولتراسونیک بر خصوصیات زراعی لوبیا چشم بلبلی بیان کرد که پرتو دهی سبب افزایش معنی دار ارتفاع بوته و قطر ساقه در این گیاه شد. همچنین وی بیان کرد که اثر تیمار اولتراسونیک بر تعداد دانه در بوته بسیار معنی دار بود، به طوری که اعمال ۲، ۴، ۶ و ۸ دقیقه امواج سبب افزایش ۳/۷۳، ۵/۷۳، ۸/۹۵ و ۱۰/۷۱٪ در مقایسه با شاهد شد. نتایج این محقق نشان داد که تأثیر امواج بر پروتئین دانه و عملکرد دانه معنی دار بود. به طوری که بیشترین میزان عملکرد دانه از تیمار ۶ دقیقه امواج بدست آمد. عبادی قهرمان (۱۳۹۲) نیز در تحقیق خود بر روی گیاه لوبیا چشم بلبلی بیان کرد که تأثیر امواج بر پروتئین دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی دار بود. ایشان بیان کرد که ۴، ۶ و ۸ دقیقه پرتو دهی عملکرد بیولوژیک را به میزان ۲۶/۶، ۶/۶ و ۴/۶٪ نسبت به شاهد افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه در این بررسی از ۴ دقیقه پرتو دهی حاصل شد. در تحقیق دیگری ملازم الحسینی (۱۳۹۳) نیز با بررسی اثر امواج اولتراسونیک بر نخود بیان کرد که وزن صددانه و عملکرد دانه نخود به طور معنی دار تحت تأثیر امواج قرار گرفت. به طوری که تیمار ۶ دقیقه پرتو دهی سبب شد تا وزن صددانه ۱۷٪ در مقایسه با شاهد افزایش یابد. عملکرد دانه در این تیمار برابر ۴/۵۶ تن در هکتار گزارش شد که اختلاف معنی داری در مقایسه با شاهد نشان داد. طبق نظر Wang و همکاران (۲۰۰۲) امواج در یک فرکانس و شدت معینی می توانند رشد و تقسیم سلولها را در گیاه افزایش دهند. طبق این فرضیه تحریک صوتی نه تنها صدمه ای به سلولها وارد نمی کند بلکه می تواند رشد آنها را هم افزایش دهد. امواج صوتی قابلیت جذب مواد غذایی را افزایش داده، کالوس گیاهی را در سطح بالاتری از متابولیسم و تقسیم سلولی قرار داده و رشد و در نهایت عملکرد گیاه را افزایش می دهد.

از یافته های این تحقیق می توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی مانند قارچ میکوریزا و استفاده از تکنولوژی های جدید غیرمخرب مانند اولتراسونیک، دارای تطابق بیشتری با اهداف تولید گیاه دارویی سیاه دانه بوده و موجب بهبود عملکرد کمی و کیفی آن می گردد.

منابع مورد استفاده

- بینا، ف.، رضایی، آ. و آقایی زاده، م.، ۱۳۸۷. بررسی تأثیر امواج مافوق صوت بر فرایند فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تنزیدن بذر. مجموعه مقالات اولین همایش ملی زیست شناسی گیاهی، دانشگاه گیلان، ۲۷-۲۵ تیرماه، ۷ صفحه.
- توکلی دینانی، ا.، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای زیستی حل کننده فسفات بر عملکرد کمی و کیفی دو رقم گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ۱۲۰ صفحه.
- ثواقبی، غ.ر.، سادات، ع.، رجالی، ف.، فرح بخش، م.، خاوازی، ک. و شیرمردی، م.، ۱۳۸۹. تأثیر چند نوع قارچ میکوریزا آربوسکولار و باکتری محرک رشد گیاه بر شاخص های رشد و عملکرد دو رقم گندم در یک خاک شور. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۱): ۶۲-۵۳.
- درزی، م.ت.، فلاوند، ا.، رجالی، ف. و سفیدکن، ف.، ۱۳۸۵. بررسی کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۲(۴): ۲۷۶-۲۹۲.
- ذکی دیزجی، ح.، مینایی، س.، توکلی هشتجین، ت.، مختاری دیزجی، م. و منتظر، ع.، ۱۳۸۷. کیفیت سنج فراصوتی برای محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات پنجمین کنگره مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۷-۶ شهریورماه: ۳۵-۲۳.
- زرگری، ع.، ۱۳۶۸. گیاهان دارویی (جلد اول). انتشارات دانشگاه تهران، ۹۴۷ صفحه.
- سرخی لله لو، ف.، ۱۳۸۸. ارزیابی اثرات امواج فراصوت و میدان مغناطیسی بر جوانه زنی بذور گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). ششمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه گیلان، ۲۵-۲۲ تیرماه: ۴۷-۴۲.

- Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35: 205-214.
- Gupta, M., Prasad, L., Ram, M. and Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular- arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related character and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Journal of Bioresource Technology, 81: 79-99.
 - Hromadkova, Z. and Ebringerova, A., 2003. Ultrasonic extraction of plant materials-investigation of hemicelluloses release from buckwheat hull. Ultrasonics Sonochem, 10(3): 127-133.
 - Jakobsen, I., 1987. Effect of VAM mycorrhiza and harvest index on field grown pea. Plant Soil, 98: 407-415.
 - Kapoor, R., Giri, B. and Mukurji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93: 307-311.
 - Mason, T.J., 1998. Power ultrasonic food processing-The way forward: 105-117. In: Povey, M.J.W. and Mason, T.J., (Eds.). Ultrasound in Food Processing. Springer, Technology and Engineering, 282p.
 - Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of British Mycological Society, 55(1): 158-161.
 - Schipper, B., Bakker, A.W., Bakker, P.A. and Vanpeer, R., 1990. Beneficial deleterious effect of hcn-production pseudomonas on rhizosphere interaction. Plant Soil, 129: 75-83.
 - Sharma, A.K. and Johri, B.N., 2002. Arbuscular Mycorrhizae, Interaction in Plants, Rhizosphere and Roils. Science Publisher, 311p.
 - Shimomura, S., 1990. The effects of ultrasonic irradiation on sprouting radish seed. Ultrasonic Symposium Proceedings, 3: 1665-1667.
 - Sieverding, E., 1991. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Bremer, 371p.
 - Wang, X., Wang, B., Jia, Y., Duan, C.H. and Akio, S., 2002. Effect of sound water on synthesis of nucleic acid and protein in chrysanthemum. Colloids and Surfaces, B: Biointerface, 29: 99-102.
 - صالح راستین، ن.، ۱۳۷۷. کودهای بیولوژیک. نشریه علمی خاک و آب، مؤسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات کشاورزی، ۱۲(۳): ۲۶-۱۷.
 - عبادی قهرمان، ش.، ۱۳۹۲. اثر امواج اولتراسونیک و کود بیولوژیک نیتروکسین بر رشد و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، ۹۶ صفحه.
 - مسکوک، ع.م. و مرتضوی، ع.، ۱۳۸۰. طرح جامع استراتژیک تولید، تبدیل و توزیع زرشک بی‌دانه. وزارت صنایع، معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۰ صفحه.
 - ملازم الحسینی، ح.، ۱۳۹۳. برهمکنش امواج اولتراسونیک و تنش خشکی بر روی گیاه نخود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، ۱۰۸ صفحه.
 - نعیمی نوشهر، ه.، ۱۳۹۳. برهمکنش امواج اولتراسونیک و تنش خشکی بر روی لوبیا چشم‌بلبلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود، ۱۱۴ صفحه.
 - یلداگرد، م.، مرتضوی، س.ع. و طباطبایی، ف.، ۱۳۸۷. بررسی اثر توأم امواج فراصوت و دما بر میزان فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز جو جوانه زده. مهندسی بیوسیستم ایران، ۳۹(۱): ۵۰-۴۳.
 - Chen, F., Sun, Y., Zhao, G., Liao, X., Hu, X., Wu, J. and Wang, Z., 2006. Optimization of ultrasound assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using HPLC-MS. Ultrasonics Sonochem, 14: 767-778.
 - Dokra, F.D., Matiru, V., King, M. and Fillips, D.A., 2003. Plant growth promotion in legumes and cereals by lumichrome, a rhizobial signal metabolite. 321-222. In: Finan, T.M., O'Brain, M.R., Layzell, D.B., Vessey, K. and Newton, W.E., (Eds.). Nitrogen Fixation: Global Perspectives. CABI publishing, Wallingford, U.K., 553p.
 - Filippo, L., Moretti, A. and Lovat, A., 2002. Seed yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascene* L. Industrial Crop and products, 15: 59-69.
 - Garg, N. and Chandel, S., 2011. Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* L. under salt stress.

Determination of growth characteristics and quality of *Nigella sativa* L. affected by mycorrhizal fungi symbiosis and ultrasonic waves

Sh. Karimi Fard^{1*}, A. Gholami² and M. Gholipour²

1*- Corresponding author, M.Sc. graduated, Department of Agronomy and Plant breeding, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, E-mail: sh.karimifard@yahoo.com

2- Department of Agronomy and Plant breeding, School of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: December 2013

Revised: July 2017

Accepted: September 2017

Abstract

A field experiment was carried out in the research farm of Shahrood University to study the effects of ultrasonic waves and mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative characteristics of Black seed (*Nigella sativa* L.) in 2012. The experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications. The treatments included: mycorrhizal inoculation at three levels of control (non-inoculated), recommended level and twice the recommended level as well as five exposure duration of ultrasonic waves (42 kHz) including control, 3, 5, 7 and 9 minutes. According to the results, seed yield, 1000 seed weight, root colonization percentage, biological yield and harvest index were affected by mycorrhizal fungi. Essential oil percentage and yield were significantly affected by mycorrhizal inoculation. The highest essential oil percentage was obtained from application of twice the recommended level of mycorrhizal inoculum (1.1 %). No significant difference was found for seed yield and 1000 seed weight between two inoculum treatments. Plant height, seed yield, biological yield, 1000 seed weight and essential oil percentage and yield were increased by exposure to the ultrasonic waves. The highest value of seed yield and 1000 seed weight was obtained from 7-min of exposure to ultrasonic waves (696.3 kg.ha⁻¹ and 2.7g). Results showed that the interaction effects of mycorrhiza and ultrasonic were significant on plant height, number of capsules per plant, and essential oil percentage. The highest essential oil percentage was obtained from 9-min of ultrasonic exposure and non-inoculated treatment as well as 3-min of ultrasonic exposure and the use of mycorrhiza.

Keywords: Mycorrhiza, ultrasonic, Black seed (*Nigella sativa* L.), colonization.