

مقدمه

بالنگوی شهری با نام علمی *Lallemantia iberica* که در انگلیسی با نام Dragon's Head شناخته می‌شود، یکی از گیاهان باارزش تیره نعناعیان بوده که دارای اسانس و موسیلاژ می‌باشد (Mafakheri et al., 2016). بالنگو با پنج گونه *L. baldshuanica*، *L. iberica*، *L. royleana*، *L. peltata* و *L. canescens* سازگاری بالایی به کم‌آبی دارد (Omidi et al., 2018). موسیلاژ در درمان برخی اختلالات عصبی، کبدی و بیماری‌های کلیوی بکار می‌رود. موسیلاژ ماده‌ای لزج و چسبنده بوده که به‌عنوان یک ترمیم‌کننده غشاء مخاطی عمل می‌کند و یک محصول طبیعی آلی گیاهی با وزن مولکولی بالا و ساختمان ناشناخته است که از نظر شیمیایی مشابه صمغ‌ها و پکتین‌ها است (Narkhede Sachin et al., 2011). Alizadeh Behbahani و Imani Fooladi (۲۰۱۸) بیان کردند که موسیلاژ حاصل از بذر بالنگو دارای کربوهیدرات (۷۶/۷۴٪)، پروتئین (۳/۸۶٪)، خاکستر (۹/۹۲٪) و رطوبت (۹/۴۸٪) می‌باشد. بنابراین کربوهیدرات درصد عمده‌ای از موسیلاژ دانه را تشکیل می‌دهد.

با بروز مسائلی همانند آلودگی منابع آب، باقی‌ماندن سموم در محصولات و کاهش میزان حاصلخیزی خاک به‌علت اُفت مواد آلی در نظام‌های کشاورزی متداول، ایجاد تغییر در نظام‌های زراعی و حرکت به سمت کشاورزی پایدار ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی است (Bączek et al., 2019). کودهای زیستی، ریزاندامگان‌هایی هستند که قادرند عناصر غذایی خاک را در یک فرایند زیستی تبدیل به مواد مغذی همانند ویتامین‌ها و دیگر مواد معدنی کرده و به ریشه خاک برسانند (Chen, 2006). قارچ‌های میکوریزی به‌عنوان کود زیستی دارای رابطه همزیستی با ۷۰-۸۰٪ گیاهان می‌باشند و از طریق بهبود جذب برخی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، تولید هورمون‌های گیاهی، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه

میزبان می‌شوند. به‌عنوان مثال Bączek و همکاران (۲۰۱۹) افزایش ترکیب‌های فنولیکی و در نتیجه مقاومت بیشتر در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی در بابونه (*Matricaria recutita* L.) تلقیح شده با قارچ میکوریزی را مشاهده نمودند. دلیل آن را به اثر قارچ بر روی فیزیولوژی گیاه ذکر کردند. بنابراین به‌دلیل افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی در نتیجه همزیستی با قارچ میکوریزی، استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای معدنی به‌طور قابل توجهی می‌تواند کاهش یابد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2011). Weisany و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی، افزایش میزان و ترکیب‌های اسانس گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.) تلقیح شده با قارچ *Funneliformis mosseae* را گزارش کردند. مطالعات متعددی در رابطه با همزیستی قارچ میکوریزی با گیاهانی مانند کنجد (*Sesamum indicum* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) انجام شده و مشاهده شده که تلقیح قارچ میکوریزی سبب افزایش عملکرد دانه در این گیاهان شده است (Gholinezhad, 2017; Tashakori et al., 2017; Fard et al., 2011; Khorramdel et al., 2011). همچنین تلقیح میکوریزی سبب افزایش شاخص برداشت اسفرزه (*Plantago ovate* Forsk) و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) نسبت به شاهد گردید (Dehghani Tafti et al., 2018; Shajari et al., 2014). در پژوهشی، تلقیح بذر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با باکتری آزادزی ازتوباکتر و قارچ میکوریزی علاوه بر افزایش عملکرد دانه و روغن، موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی و بهبود کیفیت محصول شد (Raei et al., 2015). همچنین تلقیح بذر سویا (*Glycine max*) با کودهای زیستی سبب ایجاد بیشترین تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و درصد سفر دانه شد (Tohidi Moghadam et al., 2007). به‌علاوه تلقیح بذر کتان (*Linum usitatissimum* L.) با قارچ میکوریزی موجب افزایش موسیلاژ بذر این گیاه شد (Razban &

درصد موسیلاژ بالنگوی شهری تحت تأثیر معنی‌دار کودهای زیستی، شیمیایی و نانو قرار گرفتند (Mafakheri et al., 2016). از آنجا که تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان توسط عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش رطوبتی نیز عامل مؤثر در رشد و همچنین سنتز ترکیب‌های طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد، از این رو شناسایی گیاهانی که بتوانند با مقادیر کم آب، درصد بالایی از مواد مؤثره را داشته باشند حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین کاربرد مواد زیستی از جمله راهکارهایی است که علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش کیفیت و کمیت گیاهان دارویی باشد. این تحقیق با رویکرد بهره‌برداری صحیح از روابط اکولوژیک نهفته در اعماق خاک و گیاه در جهت کاهش نهاده‌های مخرب ورودی به مزارع اجرا شد و هدف از این پژوهش، بررسی اثر قارچ میکوریزی در تلفیق با کودهای شیمیایی مرسوم بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی بالنگو در شرایط دیم مراغه بود.

Pirzad, 2012). گزارش شده که بیشترین عملکرد موسیلاژ بالنگو با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست، کود زیستی (از تو بارور ۱ حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس ازتوباکتر) و کود شیمیایی حاصل شد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2018). به همین دلیل این محققان استفاده از روش تغذیه تلفیقی به‌ویژه تیمار ترکیبی سه‌گانه تحت شرایط دیم را به دلیل افزایش قابل ملاحظه عملکرد دانه، صفات کیفی بالنگو و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در منطقه مورد آزمایش توصیه کردند. Karimi Jalilhevandi و همکاران (۲۰۲۰) نتیجه گرفتند که درصد موسیلاژ بالنگوی شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.) در کشت پاییزه با کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی (۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۱۰۱/۲ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار بدون کود شد و کارایی تولید موسیلاژ در تیمار کود شیمیایی کامل ۲۳/۴۵٪ بالاتر بود. نتایج پژوهشی نشان داد که صفات ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک پیکر رویشی، درصد اسانس و ترکیب‌های تشکیل‌دهنده آن و

جدول ۱- مشخصه‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه مورد مطالعه

ماه	میانگین کمینه رطوبت ماهیانه	میانگین بیشینه رطوبت ماهیانه	میانگین دمای کمینه ماهیانه	میانگین دمای بیشینه ماهیانه	میانگین بارش ماهیانه
مهر	۲۲	۵۱	۱۰/۳	۲۴/۵	۰
آبان	۳۵	۷۰	۵/۱	۱۶/۹	۱۳/۵
آذر	۴۲	۷۹	-۳/۴	۶/۵	۴۳/۲
دی	۷۱	۹۶	-۸/۱	۰/۳	۱۷
بهمن	۵۸	۹۰	-۵/۷	۲/۱	۲۱/۶
اسفند	۴۴	۸۱	-۰/۳	۹/۹	۹/۱
فروردین	۳۰	۷۵	۵/۲	۱۵/۹	۳۴/۹
اردیبهشت	۲۵	۶۲	۱۱/۴	۲۴/۷	۱۰/۷
خرداد	۱۸	۴۵	۱۵/۳	۳۰/۵	۱/۲
تیر	۱۹	۴۲	۲۱/۷	۲۵/۳	۰/۵
مرداد	۱۵	۳۶	۲۲/۶	۳۶/۷	۰
شهریور	۱۵	۳۶	۲۰/۱	۳۴/۵	۰

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و هفت تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۴۷۷ متر بالاتر از سطح دریا با ۳۳۰ میلی‌متر بارندگی سالیانه (جدول ۱) در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۰۰٪ کود شیمیایی مرسوم (اوره و سوپرفسفات تریپل به ترتیب با مقادیر ۲۵۰

و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار)، قارچ موسه (*G. mossae*)، قارچ اینترادایسس (*G. intraradices*)، *G. mossae* + *G. intraradices*، ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae*، ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. intraradices* و *G. intraradices* + *G. mossae* بودند. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	ماده آلی (%)	اسیدیته	پتاسیم تبادلی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیترژن کل (%)
لومی رسی شنی	۵۶	۱۶/۵	۲۷/۵	۰/۸۳	۸/۱۶	۲۷۰/۸۵	۹/۴۲	۰/۰۸۹

تعیین درصد و ترکیب‌های موسیلاژ

علاوه بر این، ارزیابی موسیلاژ دانه بالنگوی شهری براساس انحلال اولیه در آب گرم انجام شد. بدین منظور بذرها به نسبت ۱:۴۰ در آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس وارد شده و با یک همزن برقی به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس نمونه‌ها در دمای اتاق سرد گردیدند و بعد به مدت ۳۰ دقیقه در ۵ درجه سلسیوس با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول جدا شده را از صافی الیاف پشم شیشه عبور داده و با اضافه نمودن اتانول ۹۶٪، موسیلاژ رسوب کرد. دوباره موسیلاژ به مدت ۳۰ دقیقه در ۵ درجه سلسیوس با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس رسوب نهایی در مقدار کمی آب همگن و pH آن با سدیم هیدروکسید یک نرمال روی ۷ تنظیم شد. در ادامه به منظور آبیگری، موسیلاژ در داخل دستگاه فریزدرایر (خشک‌کن انجمادی) قرار داده شد. سپس موسیلاژ منجمد خشک شده در کنار سیلیکاژل در داخل ظرف‌های دربسته داخل دیسکاتور قرار گرفت و

به منظور آماده‌سازی زمین برای کاشت، در اوایل مهر ۱۳۹۵ شخم نیمه عمیق توسط گاواهن برگردان‌دار انجام و بعد برای نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده شد. قارچ‌های *G. intraradices* و *G. mossae* از کلینیک گیاه‌پزشکی اسدآباد همدان تهیه شدند. قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در داخل خطوط کاشت به مقدار ۱۵۰ گرم در هر خط کشت استفاده شد. کاشت در آبان‌ماه ۱۳۹۵ به صورت دستی انجام شد. تعداد کل کرت‌ها ۲۱ عدد و هر کرت شامل ۸ خط کشت به طول ۳ متر و فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح، بعد از حذف اثرهای حاشیه، برداشت از خطوط وسط در مساحتی برابر ۲ مترمربع انجام شد. همچنین شاخص برداشت طبق فرمول زیر محاسبه شد.

$$= \text{شاخص برداشت (\%)} =$$

$$100 \times (\text{وزن خشک کل بوته/وزن خشک دانه})$$

وزن آنها اندازه‌گیری شد (Singer *et al.*, 2011). برای هیدرولیز اسیدی، ۱۰ میلی‌گرم از موسیلاژ هریک نمونه‌ها را به‌طور جداگانه در ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۵ نرمال (در لوله آزمایش در بسته) به مدت ۲۰ ساعت در حمام آب‌جوش حرارت داده شدند. در پایان هیدرولیز محلول فیلتر شده و رسوبات حذف شدند. محلول هیدرولیز شده در شرایط خلأ و درجه حرارت ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ شد. در ادامه شربت تغلیظ شده با محلول ۱۰٪ ایزوپروپانول در آب رقیق شد (تا حجم ۱۰ میلی‌لیتر). سپس تمامی نمونه‌ها از میکروفیلتر (۰/۴۵ میکرومتر) عبور داده شدند و در دمای ۴ درجه سلسیوس تا زمان آنالیز نگهداری شدند (Gertz, 1990; Grindlay & Reynolds, 1986).

برای شناسایی قندهای آزاد در محلول استخراج شده (مونوساکاریدها) از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC: High performance liquid chromatography)، مدل Unicam-crystal 200 مجهز به آشکارساز ضریب انکساری RID-10A (Refractive index detector) و پمپ فشار بالا LC-10ADVP استفاده شد. جداسازی و شناسایی ترکیب‌های موسیلاژ روی ستون اختصاصی SC1011 (Shodex SUGAR Series) (اندازه ذره ۶ میکرومتر، طول ۳۰۰ میلی‌متر، قطر ۸ میلی‌متر) انجام شد. آب دیونیزه به‌عنوان فاز متحرک با سرعت ۱ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. ۱۰ میکرولیتر از هر نمونه به دستگاه HPLC تزریق شد. کمی‌سازی ترکیب‌ها از طریق اندازه‌گیری مساحت پیک انجام شد، در حالی‌که شناسایی کیفی ترکیب‌ها از طریق مقایسه زمان‌های بازداری پیک‌ها با پیک استانداردهای معتبر قندها انجام شد. برای آنالیز اسیدهای اورونیک، پس از هیدرولیز اسیدی از دستگاه HPLC استفاده شد. به‌طور خلاصه، ۵ میلی‌گرم از هر نمونه با استفاده از ۲ میلی‌لیتر تری‌فلورواستیک اسید (۲ مولار) برای مدت ۴ ساعت و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد هیدرولیز شد. سپس نمونه‌های هیدرولیز شده در شرایط خلأ خشک شده و دوباره در یک میلی‌لیتر آب حل شدند. در ادامه ۱۰۰ میکرولیتر از محلول تهیه شده با ۲۰۰ میکرولیتر محلول نیم مولار PMP (1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone) متانولی

و ۲۰۰ میکرولیتر از محلول ۰/۳ مولار NaOH مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه برای انجام واکنش نگهداری گردیدند. در نهایت انجام واکنش با اضافه کردن ۴۵۰ میکرولیتر از محلول HCl (۰/۳ مولار) متوقف شد. محصول نهایی سه بار با کلرفرم (CHCl₃) جداسازی شد. سپس لایه آبی جمع شده از میکروفیلتر (۰/۴۵ میکرومتر) عبور داده شد و برای آنالیز به دستگاه HPLC مدل Agilent 1200 تزریق شد. جداسازی و شناسایی ترکیب‌ها روی ستون اختصاصی (250 Phenomenex GEMINI-NX C₁₈ (nm × 4.6 nm, 5 μm انجام شد. محلول نمکی بافر فسفات پتاسیم (۰/۱ مولار و ۶/۷ pH) حاوی ۰/۸۳٪ استونیتریل (حلال A) و ۰/۱۷٪ استونیتریل (حلال B) به‌عنوان فاز متحرک استفاده شدند. طول موج جذب دتکتور UV در ۲۵۰ نانومتر تنظیم شد (Siu *et al.*, 2016; Wen *et al.*, 2018). در نهایت شناسایی ترکیب‌ها با مقایسه زمان بازداری آنها با زمان بازداری استانداردهای تزریق شده انجام شد. در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید. همچنین برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از صفات کمی و کیفی از روش‌های آماری چند متغیره استفاده گردید. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، صفات مورد بررسی را در قالب چند مؤلفه اصلی خلاصه کرده و نقش این صفات را در تعیین تنوع کل بیان می‌نماید. در تجزیه خوشه‌ای برای تجزیه توأم صفات کمی و کیفی از معیار تشابه همبستگی استفاده شد. انتخاب روش ادغام خوشه‌ها نیز با استفاده از ضریب کوفتسیک انجام شده و دندروگرام نهایی براساس روش WARD و فاصله توان دوم اقلیدسی رسم گردید. برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار Minitab استفاده شد.

نتایج

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف بر عملکرد دانه بالنگو در سطح احتمال ۱٪

درصد موسیلاژ

اثر تیمارهای مختلف کودی بر درصد موسیلاژ بالنگو معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین درصد موسیلاژ (۹/۱۸٪) به کاربرد تلفیقی قارچ‌های مایکوریزا با ۵۰٪ کود شیمیایی تعلق داشت و بعد از آن تیمارهای کاربرد همزمان هر دو قارچ و مصرف *G. mossae* + ۵۰٪ کود شیمیایی قرار داشتند. همچنین کمترین درصد موسیلاژ به کاربرد انفرادی *G. intraradices* تعلق داشت (جدول ۴).

ترکیب‌های موسیلاژ بالنگو

در آنالیز موسیلاژ بالنگو ۸ ترکیب شامل اسید گلوکرونیک، اسید گالاکتورونیک، آرابینوز، رافینوز، رامنوز، گالاکتوز، گزایلوز و گلوکز شناسایی شدند. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که اسید گلوکرونیک، اسید گالاکتورونیک، آرابینوز، رافینوز، رامنوز، گالاکتوز، زایلوز و گلوکز تحت تأثیر تیمارهای مختلف کود در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفتند. بیشترین مقدار اسید گلوکرونیک (۷۵/۰۱٪)، اسید گالاکتورونیک (۱۶۰/۱۶٪)، آرابینوز (۸۵/۳۲٪)، رامنوز (۶۲٪/۹۵۰)، گالاکتوز (۷۵/۸۴٪) و زایلوز (۲۲/۲۶۰٪) در تیمار ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* + *G. intraradices* مشاهده شد. بیشترین میزان رافینوز و گلوکز مربوط به تیمارهای ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* + *G. intraradices* بود. علاوه بر این کمترین مقدار اسید گلوکرونیک (۴۷/۵۰٪)، رافینوز (۱٪/۸۰۳)، رامنوز (۳۸/۷۴٪) و گالاکتوز (۵۳/۵۵٪) در تیمار ۱۰۰٪ کود شیمیایی مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار اسید گالاکتورونیک و گلوکز به تیمارهای ۱۰۰٪ کود شیمیایی و کاربرد انفرادی *G. mossae* + *G. intraradices* مربوط بود. کمترین مقدار آرابینوز (۶۳/۰۵۷٪) و زایلوز نیز به ترتیب در تیمارهایی با کاربرد انفرادی *G. mossae* و *G. intraradices* و تیمار ۱۰۰٪ کود شیمیایی مشاهده شد (جدول ۶).

می‌باشد. بیشترین عملکرد دانه بالنگو با میزان ۸۰۲/۲ کیلوگرم در هکتار به تیمار ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. intraradices* + *G. mossae* مربوط بود. تیمارهای کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی و ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* در رتبه دوم قرار گرفتند. همچنین کمترین عملکرد دانه بالنگو (۴۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) به کاربرد انفرادی *G. intraradices* بدون تفاوت معنی‌دار با تیمارهای ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. intraradices* و کاربرد انفرادی *G. mossae* تعلق داشت (جدول ۴).

شاخص برداشت

شاخص برداشت بالنگو تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین (۴۰٪/۶۴) و کمترین (۲۵/۸۵٪) شاخص برداشت به ترتیب در تیمارهای ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* + *G. intraradices* و کاربرد انفرادی *G. intraradices* مشاهده شد. کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی با شاخص برداشت ۳۴٪/۳۸ در رتبه دوم قرار گرفت که با تیمارهای کاربرد انفرادی *G. mossae*، کاربرد همزمان *G. mossae* و *G. intraradices* و ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

عملکرد موسیلاژ

عملکرد موسیلاژ نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال ۱٪ قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد موسیلاژ (۷۳/۷۵ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* + *G. intraradices* حاصل شد و بعد از آن تیمار ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* قرار داشت. کمترین عملکرد موسیلاژ (۲۶/۱۳ کیلوگرم در هکتار) هم به کاربرد انفرادی *G. intraradices* مربوط بود (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، عملکرد و درصد موسیلاژ

موسیلاژ	عملکرد موسیلاژ	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۳۲*	۲۸/۵۸ns	۱۱/۳۰ns	۳۴۸۷۶/۱۹ns	۴۱۹/۵۲ns	۲	بلوک
۴/۲۲**	۶۸۸/۳۴**	۶۸/۴۲**	۳۲۱۷۱/۴۲ns	۳۵۷۸۴/۳۷**	۶	تیمار
۰/۰۵	۱۸/۵۵	۱۱/۶۸	۲۰۴۰۹/۵۲	۲۸۳۲/۵۴	۱۲	خطای آزمایشی
۳/۱۷	۹/۵۸	۱۰/۵۹	۷/۵۳	۸/۷۰	۲	ضریب تغییرات (%)

***، ** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۴- مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، عملکرد و درصد موسیلاژ

درصد موسیلاژ	عملکرد موسیلاژ (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تیمار
۶/۲۷d	۴۱/۱۳cd	۳۴/۳۸b	۱۹۱۳/۳۳	۶۵۷/۹b	کود شیمیایی مرسوم
۶/۵۳ d	۳۵/۳۶d	۳۱/۷۰bcd	۱۷۱۳/۳۳	۵۴۲cd	<i>G. mossae</i>
۵/۶۴e	۲۶/۱۳e	۲۰/۸۵d	۱۸۱۳/۳۳	۴۶۳/۵d	<i>G. intraradices</i>
۷/۶۵b	۴۷/۹۰bc	۳۳/۳۲bc	۱۸۸۶/۶۶	۶۲۶/۱bc	<i>G. intraradices</i> + <i>G. mossae</i>
۷/۹۶b	۵۱/۵۱b	۳۲/۲۷bc	۲۰۰۶/۶۶	۶۴۶/۸b	<i>G. mossae</i> + ۵۰٪ کود
۷/۱۸c	۳۹/۴۰d	۲۷/۸۴cd	۱۹۵۳/۱۳	۵۴۳/۵cd	<i>G. intraradices</i> + ۵۰٪ کود
۹/۱۸a	۷۳/۷۵a	۴۰/۶۴a	۱۹۸۶/۶۶	۸۰۲/۸a	<i>G. intraradices</i> + <i>G. mossae</i> + ۵۰٪ کود

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ترکیب‌های موسیلاژ

میانگین مربعات								درجه آزادی	منابع تغییرات
اسید گلوکرونیک	اسید گالاکتورونیک	آرابینوز	رافینوز	رامنوز	گالاکتوز	زایلوز	گلوکوز		
۳۸۷/۹۹۶**	۲۵۹/۴۰۱**	۵۷/۳۸۲ns	۰/۹۳۲**	۱۴۲/۰۹۱**	۱۹۹/۹۷۲**	۱/۲۸۵ns	۰/۴۹۹ns	۲	بلوک
۲۳۶/۲**	۱۰۱۹/۲۵۳**	۱۵۰/۰۸۶**	۰/۲۸۶*	۱۹۵/۲۵۳**	۱۶۷/۷۰۳**	۴۶/۴۰۸**	۱۴/۴۱۸**	۶	تیمار
۳/۰۶۸	۳۲/۲۹۴	۱۵/۱۵۷	۰/۰۶۱	۱۲/۹۵۴	۷/۰۹۶	۰/۷۸۵	۰/۴۸۰	۱۲	خطای آزمایشی
۲/۹۰۵	۴/۱۹۸	۴/۱۹۸	۱۰/۸۴۷	۷/۲۴۹	۴/۱۸۱	۵/۳۴۷	۵/۳۳۰	۲	ضریب تغییرات (%)

**، * و ns: به ترتیب معنی دار در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۶- مقایسه میانگین داده‌های مربوط به ترکیب‌های موسیلاژ

اسید گلوکرونیک	اسید گالاکتورونیک	آرابینوز	رافینوز	رامنوز	گالاکتوز	زایلوز	گلوکوز	تیمار
۴۷/۵۰e	۱۱۳/۸۳d	۶۷/۳۲bc	۱/۸۰c	۳۷/۷۴e	۵۳/۵۵f	۱۲/۲۳e	۱۰/۵۵c	کود شیمیایی مرسوم
۵۳/۶۷d	۱۱۵/۶۶d	۶۳/۰۵c	۲/۰۸d	۴۲/۰۷de	۵۸/۱۵ef	۴۰/۱۴d	۱۱/۳۳c	<i>G. mossae</i>
۵۶/۴۷d	۱۲۳/۶۶d	۶۸/۹۲bc	۲/۲۴bc	۴۷/۰۹d	۵۹/۹۲de	۱۲/۱۱e	۱۱/۳۲c	<i>G. intraradices</i>
۶۰/۵۶c	۱۳۴/۳۳c	۷۱/۹۳b	۲/۳۰b	۵۰/۴۴bc	۶۴/۹۹c	۱۶/۷۳c	۱۳/۲۷b	<i>G. intraradices + G. mossae</i>
۶۴/۶۸b	۱۵۱/۹۶b	۷۳/۹۳b	۲/۴۴a	۵۱/۳۳bc	۶۹/۸۹b	۲۰/۰۲	۱۵/۳۸a	<i>G. mossae</i> +کود ۵۰٪
۶۴/۰۸b	۱۴/۷۹b	۷۴/۸b	۲/۲۸b	۵۴/۸۵b	۶۳/۶۰cd	۱۸/۵۴b	۱۲/۷۹b	<i>G. intraradices</i> +کود ۵۰٪
۷۵/۰۱a	۱۶۰/۱۶a	۸۵/۳۲a	۲/۸۰a	۶۲/۹۵a	۷۵/۸۴a	۲۲/۲۶a	۱۶/۳۹a	<i>G. intraradices + G. mossae</i> +کود ۵۰٪

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی داری براساس آزمون دانکن ندارند.

همبستگی ساده بین صفات ارزیابی شده

تعیین همبستگی بین صفات مختلف و تعیین روابط علت و معلولی آنها این توانایی را می‌دهد که مناسب‌ترین و منطقی‌ترین نسبت بین اجزاء را انتخاب نماییم. عملکرد دانه با عملکرد موسیلاژ و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱٪ و با درصد موسیلاژ در سطح احتمال ۵٪ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۶). البته همبستگی عملکرد دانه با سایر صفات مورد ارزیابی معنی‌دار نبود. در مورد درصد موسیلاژ، همبستگی این صفت با تمام صفات اندازه‌گیری شده بجز عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مثبت و معنی‌دار بود که با عملکرد موسیلاژ و ترکیب‌های قندی گالاکتوز، زایلوز و گلوکز در سطح احتمال ۱٪ و با عملکرد دانه و ترکیب‌های قندی اسید گلوکرونیک، اسید گالاکتورونیک، آرابینوز، رافینوز و رامنوز در سطح احتمال ۵٪ همبستگی معنی‌داری داشت. همچنین همبستگی تمام ترکیب‌های قندی با یکدیگر مثبت و معنی‌دار بود.

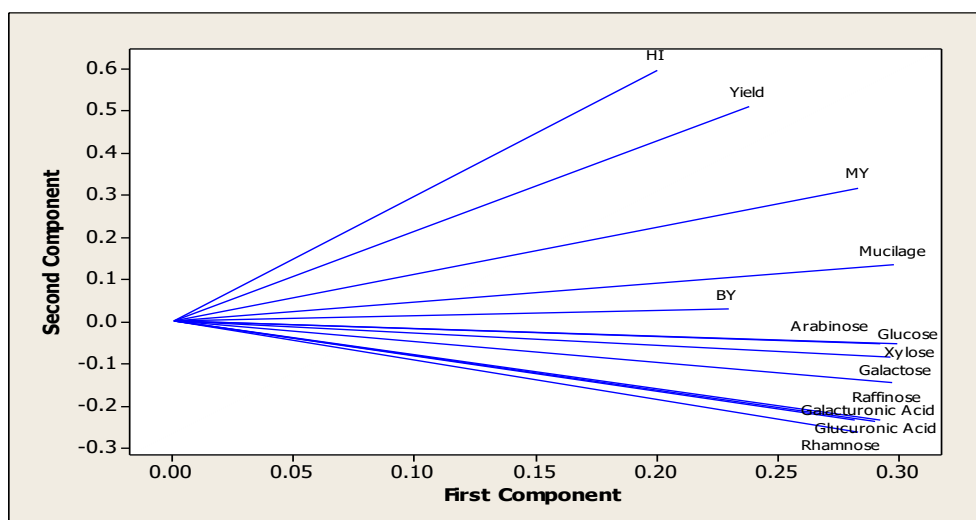
می‌گیرد، به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه داده را که بیشترین تأثیر را در واریانس دارند حفظ می‌کند (Jalili et al., 2011). همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود براساس مقادیر ویژه، دو مؤلفه انتخاب شدند که در مجموع ۹۲٪/۵ از کل تغییرات را توجیه کردند که از این مقدار سهم اولین مؤلفه ۸۰/۶٪ و دومین مؤلفه ۱۱/۹٪ بود. در مؤلفه اول صفات گلوکز، گالاکتوز، درصد موسیلاژ، زایلوز، آرابینوز، اسید گلوکرونیک و اسید گالاکتورونیک بیشترین تأثیر را داشتند. در مؤلفه دوم، صفات شاخص برداشت، عملکرد دانه و عملکرد موسیلاژ بیشترین تأثیر را داشتند. همچنین، زاویه بین عملکرد دانه با عملکرد موسیلاژ و درصد موسیلاژ کمتر از ۹۰ درجه است و بین آنها همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد که تأییدکننده نتایج جدول همبستگی می‌باشد. علاوه بر این، همبستگی ترکیب‌های قندی گلوکرونیک اسید با گالاکتورونیک اسید، رامنوز و رافینوز و گالاکتوز با گلوکز، زایلوز و آرابینوز معنی‌دار بود (شکل ۱ و جدول ۸).

تجزیه خوشه‌ای

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تجزیه خوشه‌ای به روش ward با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی براساس میانگین استاندارد شده صفات انجام شد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

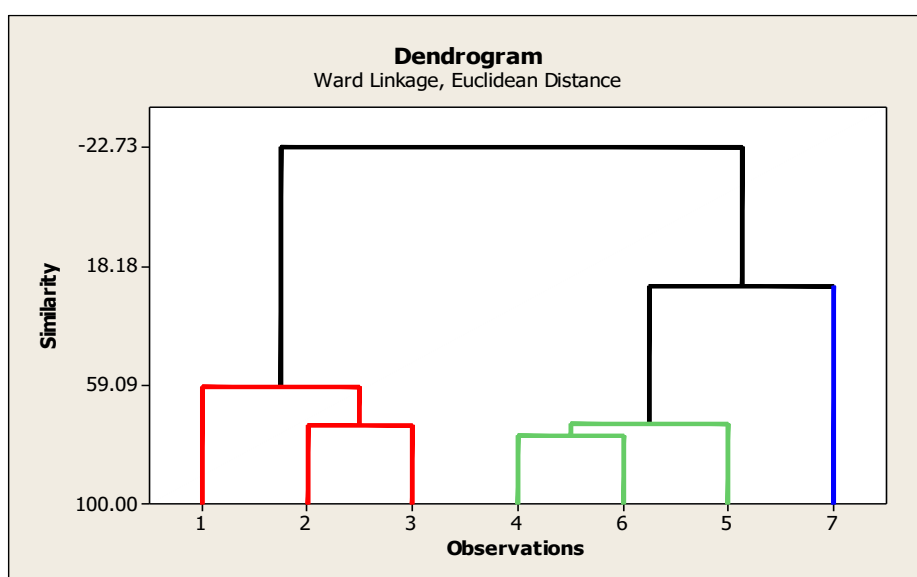
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تبدیلی در فضای برداری است که بیشتر برای کاهش ابعاد مجموعه داده‌ها مورد استفاده قرار



شکل ۱- نمودار Loading Plot مربوط به مؤلفه‌های اصلی

تیمارهای گروه اول از نظر عملکرد، درصد و ترکیب‌های موسیلاژ کمترین مقادیر را داشتند. تیمارهای گروه دوم از لحاظ همه صفات مورد بررسی رتبه دوم را به خود اختصاص دادند و تیمار ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* از نظر عملکرد دانه، عملکرد موسیلاژ، درصد موسیلاژ و ترکیب‌های قندی رتبه اول را به خود اختصاص داد.

با استفاده از روش ذکر شده، هفت تیمار مورد ارزیابی در ۳ گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۲). گروه اول شامل سه تیمار ۱۰۰٪ کود شیمیایی *G. mossae* و *G. intraradices*، گروه دوم شامل دو تیمار قارچ‌های *G. mossae* و *G. intraradices*، ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. mossae* و ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. intraradices* و گروه سوم شامل تیمار ۵۰٪ کود شیمیایی + *G. intraradices* + *G. mossae* بود.



شکل ۲- نمودار دندروگرام مربوط به تجزیه خوشه

جدول ۸- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مقادیر ویژه

مؤلفه دوم	مؤلفه اول	ترکیب‌ها	مؤلفه دوم	مؤلفه اول	ترکیب‌ها
۰/۱۳۴	۰/۲۹۸	موسیلاژ	-۰/۲۳۳	۰/۲۹۲	اسید گلوکرونیک
۰/۳۱۶	۰/۲۸۴	عملکرد موسیلاژ	-۰/۲۳۷	۰/۲۹۰	اسید گالاکترونیک
۰/۵۰۹	۰/۲۳۸	عملکرد دانه	-۰/۰۵۴	۰/۲۹۳	آرابینوز
۰/۰۲۹	۰/۲۳۰	عملکرد بیولوژیک	-۰/۲۳۴	۰/۲۸۲	رافینوز
۰/۵۹۵	۰/۲۰۰	شاخص برداشت	-۰/۲۶۲	۰/۲۸۳	رامنوز
۱/۵۴۲	۱۰/۴۷۹	مقادیر ویژه	-۰/۱۴۴	۰/۲۹۸	گالاکتوز
۰/۱۱۹	۰/۸۰۶	تناسب	-۰/۰۸۴	۰/۲۹۶	زایلوز
۰/۹۲۵	۰/۸۰۶	توزیع جمعی	-۰/۰۵۳	۰/۳۰۰	گلوکز

جدول ۷- همبستگی ساده بین صفات ارزیابی شده

صفات	گلوکرونیک اسید	گالاکتورونیک اسید	آرابینوز	رافینوز	رامنوز	گالاکتوز	زایلوز	گلوکز	موسیلاژ	عملکرد موسیلاژ	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی
گالاکتورونیک اسید	۰/۹۵۴**											
آرابینوز	۰/۹۱۹**	۰/۹۰۸**										
رافینوز	۰/۹۷۷**	۰/۸۹۴**	۰/۸۷۵**									
رامنوز	۰/۹۸۴**	۰/۹۳۸**	۰/۹۴۰**	۰/۹۴۶**								
گالاکتوز	۰/۹۷۲**	۰/۹۳۵**	۰/۸۸۹**	۰/۹۷۶**	۰/۹۲۶**							
زایلوز	۰/۹۳۱**	۰/۹۵۷**	۰/۸۶۱*	۰/۸۶۷*	۰/۸۸۸**	۰/۹۳۴**						
گلوکوز	۰/۹۲۷**	۰/۹۳۱**	۰/۸۶۷*	۰/۹۲۱**	۰/۸۶۵*	۰/۹۸۲**	۰/۹۵۲**					
موسیلاژ	۰/۸۶۸*	۰/۸۵۷*	۰/۸۵۲*	۰/۸۲۵*	۰/۸۲۰*	۰/۹۰۹**	۰/۹۴۸**	۰/۹۳۹**				
عملکرد موسیلاژ	۰/۷۶۳*	۰/۷۳۸	۰/۸۴۲*	۰/۷۳۸	۰/۷۲۱	۰/۸۲۱*	۰/۸۳۷*	۰/۸۶۵*	۰/۹۵۳**			
عملکرد دانه	۰/۵۴۲	۰/۵۴۳	۰/۷۰۹	۰/۵۱۲	۰/۵۰۳	۰/۶۲۰	۰/۶۶۲	۰/۶۹۸	۰/۸۳۳*	۰/۹۵۳**		
عملکرد بیولوژیکی	۰/۶۰۶	۰/۷۸۷*	۰/۷۷۱*	۰/۵۱۰	۰/۶۱۷	۰/۶۲۸	۰/۷۱۵	۰/۷۰۴	۰/۶۶۹	۰/۶۶۰	۰/۶۳۳	
شاخص برداشت	۰/۴۲۵	۰/۴۶۲	۰/۵۶۲	۰/۴۲۲	۰/۳۷۵	۰/۵۱۱	۰/۵۳۲	۰/۵۷۶	۰/۷۵۲	۰/۸۹۵**	۰/۹۶۰**	۰/۳۹۳

بحث

مرور پژوهش‌های انجام شده درباره اثر کودهای زیستی بر جنبه‌های مختلف رشد و عملکرد گیاهان دارویی، ادویه‌ای و معطر نشانگر مزایای مثبت کاربرد کودهای بیولوژیک به صورت انفرادی و یا تلفیقی با کودهای شیمیایی است. براساس نتایج این تحقیق استفاده تلفیقی از قارچ میکوریزا و کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد دانه گیاه بالنگو گردید. کودهای زیستی در مقایسه با کودشیمیایی (NPK) باعث بهبود شرایط رشدی، افزایش مواد مغذی خاک و محلول‌سازی مواد معدنی خاک بر اثر افزایش فعالیت‌های میکروبی شده و منجر به بهینه‌سازی جذب عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف توسط ریشه گیاه و بالا رفتن میزان فتوسنتز شده، در نتیجه عملکرد بهبود می‌یابد (Habibzadeh et al., 2013). افزایش فتوسنتز و به طبع آن بهبود تولید در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزی را به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کارایی کربوکسیلاسیون بالاتر در نتیجه شاخص سطح برگ و نسبت سطح برگ بیشتر نسبت داده شده است (Pavithra & Yapa, 2018). Shabazi و همکاران (۲۰۱۹) افزایش عملکرد اقتصادی و موسیلاژ گیاه دارویی گاوزبان (*Borago officinalis*) را به تأمین مواد مغذی ماکرو از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم و مواد مغذی میکرو مانند آهن، مس، روی و منگنز در نتیجه تلقیح با قارچ *Glomus mosseae* نسبت دادند. Abdallah و همکاران (۲۰۱۳) نیز با بررسی اثر قارچ‌های میکوریزی بر خصوصیات فیزیولوژیک، افزایش تعداد روزنه‌ها را در سطح زیرین برگ گیاهان تلقیح شده مشاهده نمودند. Bastami و Majidian (۲۰۱۶) با بررسی اثر میکوریزا روی گیاه کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum* Jasp) مشاهده کردند که عملکرد نسبت به شاهد (عدم کاربرد) افزایش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد پس از رویش اسپوره‌های قارچی و گسترش آنها در ریزوسفر، بخشی از ریشه‌ها وارد سیستم ریشه گیاه شده و موجب کاهش غلظت اسید آبسزیک شده و میزان سیتوکینین را افزایش می‌دهند. این عمل سبب گسترش

سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب در شرایط دیم می‌شود. همچنین ریشه‌های برون‌ریشه‌ای نیز با ترشح اسیدهای آلی حل‌کننده فسفات‌های محلول مانند اسید مالیک، جذب فسفر را افزایش می‌دهند، در نتیجه عملکرد دانه بهبود می‌یابد (Khalvati et al., 2005). در شرایط دیم یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول‌ها به ویژه در ساقه و برگ‌هاست، به طوری که با کاهش رشد، اندازه اندام محدود شده و به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. کاربرد کودهای زیستی حاوی قارچ‌های میکوریزا در این شرایط باعث فراهمی جذب عناصر غذایی از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای، افزایش کارایی جذب آب و مواد غذایی و رشد و نمو گیاهان می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007). به طوری که Gholami Ganje و همکاران (۲۰۱۹) نتیجه گرفتند که قارچ‌های میکوریزا با نفوذ به منافذ ریز خاک و قرار دادن حجم بیشتری از خاک در اختیار ریشه گیاه و جذب بیشتر عناصر غذایی از جمله فسفر باعث افزایش رشد گیاه و عملکرد تولید شده است. زیرا فسفر با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در تقسیم سلولی دارد و از سویی نقش مهمی در تولید مواد فتوسنتزی داشته و سبب تولید انرژی نیز می‌شود که این امر سبب افزایش عملکرد دانه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) خواهد شد. این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تنبیت CO₂ به ازای واحد وزن برگ انجام می‌شود. گیاهان میکوریزی در دوره خشکی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزی از CO₂ را جذب کرده و به دنبال آن افزایش فتوسنتز و عملکرد را به دنبال خواهند داشت (Ghasemian et al., 2017).

شاخص برداشت بیان‌کننده توزیع نسبی مواد فتوسنتزی بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه می‌باشد. گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزی با جذب بهتر عناصر غذایی و افزایش شاخص سطح برگ می‌توانند از تشعشع خورشیدی بهتر استفاده نموده و مواد فتوسنتزی بیشتری را به دانه ارسال نمایند، در نتیجه نسبت دانه به ماده

خشک افزایش می‌یابد (Ghaffari et al., 2011). افزایش شاخص برداشت را می‌توان به این عامل نسبت داد که با کاربرد قارچ میکوریزی به دلیل انتشار ریشه‌های قارچ مرتبط با بافت‌های درونی ریشه در خاک اطراف ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی به صورت مکمل بر سیستم ریشه‌ای گیاه است که بهره‌گیری از حجم بیشتری از خاک را که ریشه‌های تغذیه‌کننده به آن دسترسی ندارند، ممکن می‌کند. در نهایت این امر سبب افزایش رشد قسمت‌های مختلف گیاه می‌شود (Cakir, 2004). Fadaee و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه گرفتند که مصرف هر دو سویه (*Glomus intraradiceae* و *Glomus mosseae*) میکوریزا منجر به تعدیل اثر منفی تنش خشکی در عملکرد رویشی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) شد. زیرا کاربرد قارچ میکوریزی با ترشح اسیدهای آلی حل‌کننده فسفات‌های نامحلول مانند اسید مالیک جذب فسفر گیاه را افزایش داد که در نتیجه این فرایند، جذب فسفر ارتقاء یافته و بعد کمیت بیشتر صفات رویشی و زایشی گیاه افزایش نشان داد. Aslani و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تلقیح ریحان با دو گونه قارچ (*G. intraradices* و *G. mosseae*) موجب افزایش رشد و عملکرد این گیاه و در نتیجه افزایش شاخص برداشت نسبت به عدم تلقیح شد.

از آنجایی که عملکرد موسیلاژ به‌عنوان تابعی از حاصلضرب درصد موسیلاژ در عملکرد دانه است، بنابراین به پیروی تأثیرپذیری عملکرد دانه از کوددهی، عملکرد موسیلاژ نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و افزایش می‌یابد. با کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کود زیستی، نیتروژن مورد نیاز گیاه به دلیل مصرف کود و تثبیت نیتروژن توسط کودهای زیستی به‌خوبی تأمین می‌شود. به همین دلیل کاربرد تلفیقی کود تأثیر بیشتری روی عملکرد موسیلاژ تولیدی دارد (Gamarei et al., 2017). علاوه‌براین، همزیستی با قارچ میکوریزی به دلیل افزایش سرعت و مدت فتوسنتز باعث افزایش بازده انتقال مواد فتوسنتزی به مخزن شده که این امر موجب افزایش عملکرد دانه گردیده و بالطبع آن درصد و عملکرد موسیلاژ نیز افزایش می‌یابد (Gamarei et al., 2017). همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، بیشترین

Shahbazi و همکاران (۲۰۱۹) نتیجه گرفتند که تلقیح میکوریزایی با افزایش قابلیت دسترسی آب و مواد غذایی برای گاوزبان احتمالاً نقش افزایشی در فتوسنتز ایفاء کرده، در نتیجه با جلوگیری از افت عملکرد و زیست‌توده موجب افزایش معنی‌دار موسیلاژ نسبت به حالت بدون تلقیح شد. به‌طور کلی علت افزایش موسیلاژ در شرایط کم‌آبی در پوسته بذر بالنگو، ناشی از سازگاری ژنتیک و مورفولوژیک گیاه به تنش خشکی برای حفظ جنین نوبارور بذر در برابر خشکی شدید است. البته هر چقدر بذر از درصد موسیلاژ بیشتری برخوردار باشند کیفیت آنها نیز بالاتر خواهد بود. از آنجا که یک شکل ویژه از ذخیره آب، پیوند یافتن آب با کربوهیدرات‌های آب‌دوست مانند موسیلاژهای موجود در سلول‌ها، بافت هادی و فضای بین سلولی و سطح بذر برخی گونه‌ها می‌باشد، این سازگاری منجر به توانایی بالای بالنگو در حفظ قابلیت آب درون سلولی می‌شود (Omidi et al., 2018). در آزمایشی که توسط Abdollahi و Maleki Farahani (۲۰۱۵) انجام گردید، مشاهده شد که کمترین درصد موسیلاژ دانه بالنگو در تیمار ۴۰٪ تخلیه آب قابل استفاده خاک بدست آمد و با افزایش شدت تنش خشکی درصد موسیلاژ دانه ۱۳/۳۳٪ افزایش یافت. به‌طور کلی با افزایش شدت تنش خشکی، درصد موسیلاژ دانه در اکوتیپ‌های ارومیه و مشهد در هر دو گونه شهری و شیرازی افزایش ولی درصد روغن دانه کاهش پیدا کرد. Omidi و همکاران (۲۰۱۸) هم افزایش درصد موسیلاژ بالنگو را تا قابلیت رطوبت خاک حدود ۹/۵- اتمسفر (تنش شدید خشکی) گزارش نموده و بیان کردند که بالنگو در برابر تنش خشکی با کاهش عملکرد روبرو می‌شود ولی قادر است در تنش نسبتاً شدید تولید محصول نماید.

در پژوهشی بیشترین عملکرد موسیلاژ بالنگو و اسفرزه (*Plantago ovata*) به‌ترتیب با کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود شیمیایی، کود زیستی نیتروکسین و کود زیستی میکوریزی و ۸۸ کیلوگرم اوره در هکتار بدست آمد (Gamarei et al., 2017؛ Singh et al., 2003). همچنین در تحقیقی که توسط Ghasemian و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، بیشترین

عملکرد موسیلاژ بالنگو به کاربرد کود فسفات بارور ۲ (تولید شرکت زیست‌فناور سبز) مربوط بود و تیمار میکوریزی با قارچ‌های *G. verruciform* و *G. intraradices* عملکرد موسیلاژی بالاتری نسبت به شاهد داشتند. اثرهای مفید کودهای زیستی در افزایش عرضه عناصر غذایی و در نتیجه بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد فتوسنتزی به مخازن، سبب افزایش عملکرد گیاه و در نهایت درصد و عملکرد موسیلاژ می‌شود (Sadeghi et al., 2014). کودهای زیستی با افزایش رشد گیاه، تراکم بوته و افزایش عملکرد دانه سبب افزایش درصد موسیلاژ می‌شوند. همچنین از آنجایی که متابولیت‌های ثانویه از تولیدات جانبی فتوسنتز می‌باشند، با توجه به افزایش سبزی‌نگی گیاهان در اثر مصرف کودهای زیستی و افزایش دسترسی به عناصر غذایی، مقدار تولید متابولیت‌های ثانویه در این گیاهان بالا رفته و مقدار موسیلاژ تولیدی نیز بیشتر می‌شود (Mona & Khalil, 2006). در تحقیقاتی که با استفاده از کودهای زیستی در گیاهان دارویی مختلف بعمل آمده، مشاهده شده که حداکثر ماده مؤثره گیاه دارویی در شرایط مصرف کود زیستی حاصل شده است (Kapoor; Gupta et al., 2002). همزیستی قارچ آربوسکولار میکوریزا با گیاه موجب تغییرات در تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیب‌های فنلی در ریشه و اندام هوایی و روغن‌های ضروری در گیاهان میزبان شده است (Copetta et al., 2006). تجمع فلاونوئیدها، مشتقات سیکلوهاگزانون و آپوکاروتنوئیدها، ترکیب‌های فنلی و تربیتروئیدها در گیاهان همزیست با میکوریز گزارش شده است (Akiyama & Hayashi, 2002).

همچنین تلقیح بذر کتان (*Linum usitatissimum* L. با قارچ میکوریزی موجب افزایش موسیلاژ بذر شد (Razban & Pirzad, 2012). Sepehri و Samadi (۲۰۱۵) با بررسی کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی (نیتروکسین و بیوفسفر) بر روی درصد موسیلاژ گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata*) مشاهده کردند که مصرف ۵۰٪ کود شیمیایی و زیستی بیشترین تأثیر را روی درصد موسیلاژ این گیاه داشت.

ترکیب‌های موسیلاژی به‌عنوان یکی از متابولیت‌های ثانویه (مولکول‌های زنجیره‌ای و توسعه یافته قندی) می‌تواند با توجه به تغییر در فراهمی عناصر غذایی ناشی از تلقیح با قارچ میکوریزی تحت تأثیر قرار گرفته و از کمیت و کیفیت متغیری برخوردار باشد (Yousefi et al., 2011). افزایش تولید موسیلاژ با اعمال تلقیح قارچ میکوریزی در شرایط دیم از طریق افزایش قابلیت دسترسی آب و مواد غذایی برای گیاه احتمالاً نقش کم‌آبی در کاهش فتوسنتز گیاه را تعدیل و موجب برتری معنی‌دار در تولید موسیلاژ می‌شود (Habibzadeh et al., 2013). پژوهشگران با بررسی جداسازی و شناسایی مونوساکاریدهای موجود در موسیلاژ بالنگو به روش کروماتوگرافی لایه نازک، اسید گالاکتورونیک و مونوساکاریدهای گالاکتوز، مانوز، گلوکز، آرابینوز، گزیلوز و رامنوز را شناسایی کردند (Fekri et al., 2008). آزمایشی که روی ۱۵ گونه از گونه‌های گیاهی مناطق مختلف انجام شد نشان داد که گلوکز، آرابینوز، گزیلوز، گالاکتوز، فوکوز، رامنوز، اسید اوریک، اسید گلوکورونیک و اسید گالاکتورونیک عمده‌ترین ترکیب‌های تشکیل‌دهنده موسیلاژ هستند (Ebrahimzadeh et al., 2000). در آزمایشی که روی پنج گونه اسفرزه (*Plantago psyllium*)، اسفناج (*Spinacia oleracea*)، بنگ‌دانه (*Hyoscyamus niger*)، برگ‌بوی هندی (*Laurus nobilis*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) در تایلند انجام شد، نتایج حاصل نشان داد که گالاکتورونیک اسید و مونوساکاریدهای گلوکز، گالاکتوز، رامنوز، آرابینوز، گزیلوز، مانوز و نیز اسید گلوکورونیک‌ها ترکیب‌های تشکیل‌دهنده

ترکیب کود شیمیایی و زیستی این امکان را فراهم می‌کند که در دوره ابتدایی رشد گیاهان، کود شیمیایی مواد غذایی قابل جذب را برای آنها تأمین نموده و در مراحل بعدی رشد، کود زیستی مواد غذایی پر مصرف و کم مصرف لازم را در اختیار گیاه قرار دهد (Ghosh et al., 2004). در مطالعه‌ای بیشترین درصد موسیلاژ بالنگو در تیمار ورمی‌کمپوست، کود زیستی و کود شیمیایی حاصل شد (Rezaei-Chiyaneh et

- under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(3): 471-486.
- Ashraf, M.F.M.R. and Foolad, M., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2): 206-216.
 - Bastami, A. and Majidian, M., 2016. Comparison between mycorrhizal fungi, phosphate biofertilizer and manure application on growth parameters and dry weight of coriander (*Coriandrum sativum* L.) medicinal plant. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 7(26): 23-33.
 - Bączek, K.B., Wiśniewska, M., Przybył, J.L., Kosakowska, O. and Węglarz, Z., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi in chamomile (*Matricaria recutita* L.) organic cultivation. *Industrial Crops & Products*, 140(111562): 1-8.
 - Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(91): 1-16.
 - Chen, J.H., 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. In *International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use* Land Development Department Bangkok, Thailand, 16: 1-10.
 - Copetta, A., Lingua, G. and Berta, G., 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*, 16: 485-494.
 - Dehghani Tafti, A., Mahmoodi, S., Alikhani, H. and Salehi, M., 2018. The effect of salinity and bio-fertilizers on yield and yield components of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) under field conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(2): 421-433.
 - Ebrahimzadeh, H., Niknam, V. and Maassoumi, A.A., 2000. Mucilage content and its sugar composition in *Astragalus* species from Iran. *Pakistan Journal of Botany*, 32(1): 131-140.
 - Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M. and Khan-ahmadi, M., 2018. The effects of mycorrhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, 66(2): 117-130.
 - Fekri, N., Khayami, M., Heydari, R. and Javadi, M.A., 2008. Isolation and identification of monosaccharide of mucilage in dragon's head by thin layer chromatography. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(2): 207-206.
 - Gamarei, H., Shafagh Kalvanagh, J., Sabaghpour, S. and Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2017. Evaluation of yield and growth of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* (M. Bieb.) Fisch. & C.A. Mey.) Intercropped موسیلاژ این گونه‌ها می‌باشند (Palanuvej et al., 2009). Imani Fooladi و Alizadeh Behbahani کردند که ترکیب‌های اصلی بالنگوی شیرازی به ترتیب شامل گالاکتوز (۳۶/۲۸٪)، آرابینوز (۳۵/۹۶٪)، رامنوز (۱۵/۱۸٪)، زایلوز (۷/۳۸٪) و گلوکز (۱۵/۲۰٪) بود. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد و عملکرد موسیلاژ و ترکیب‌های موسیلاژ بالنگو (اسید گالاکتورونیک، آرابینوز، رافینوز، گالاکتوز، گلوکز، زایلوز و رامنوز) با کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود شیمیایی + قارچ *G. mossae* + قارچ *G. intraradices* بدست آمد. بنابراین برای ارتقای صفات کمی و کیفی بالنگو، می‌توان کاربرد تلفیقی قارچ‌های میکوریزی را به همراه نصف کودهای شیمیایی توصیه شده به‌عنوان یک منبع تغذیه‌ای مناسب و جایگزین کودهای شیمیایی مرسوم معرفی نمود.
- ### منابع مورد استفاده
- Abdollahi, M. and Maleki Farahani S., 2015. Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31(4): 676-687.
 - Abdallah, M.M., Abd El-Monem, A.A., Hassanein, R.A. and El-Bassiouny, H.M.S., 2013. Response of sunflower plant to the application of certain vitamins and arbuscular mycorrhiza under different water regimes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(2): 915-932.
 - Akiyama, K. and Hayashi, H., 2002. Arbuscular mycorrhizal fungus promoted accumulation of two new triterpenoids in cucumber roots. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 66: 762-769.
 - Alizadeh Behbahani, B. and Imani Fooladi, A.A., 2018. Shirazi balangu (*Lallemantia royleana*) seed mucilage: Chemical composition, molecular weight, biological activity and its evaluation as edible coating on beefs. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114: 882-889.
 - Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani, M., Sefidkon, F. and Barin, M., 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in Basil (*Ocimum basilicum* L.)

- quantitative and qualitative characteristics of lady's mantle (*Lallemantia royleana* Benth.) seed. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35(6): 1058-1075.
- Khorramdel, S., Mahallati, M.N. and Ghorbani, R., 2011. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 758-766.
 - Khalvati, M.A., Hu, Y., Mozafar, A. and Schmidhalter, U., 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology, 7(6): 706-712.
 - Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K.G., 2002. *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi* Sprague). World Journal of Microbiology and Biotechnology, 18(5): 459-463.
 - Mafakheri, S., Asghari, B. and Shaltooki, M., 2016. Effects of biological, chemical and nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Lallemantia iberica* (M.B.) Fischer & Meyer. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(4): 667-677.
 - Mona, Y.K. and Khalil, Y., 2006. How-far would *plantago afra* L. respond to bio and organic manures amendements. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2(1): 12-21.
 - Narkhede Sachin, B., Bendale, A.R., Jadhav, A.G., Patel, K. and Vidyasagar, G., 2011. Isolation and evaluation of starch of *Artocarpus heterophyllus* as a tablet binder. International Journal of PharmTech Research, 3(2): 836-840.
 - Omidi, H., Shams, H., Seif Sahandi, M. and Rajabian, T., 2018. Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. Plant Physiology and Biochemistry, 130: 641-646.
 - Pavithra, D. and Yapa, N., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation enhances drought stress tolerance of plants. Groundwater for Sustainable Development, 7: 490-494.
 - Palanuvej, C., Hokputsa, S., Tunsaringkarn, T. and Ruangrunsi, N., 2009. In vitro glucose entrapment and alpha-glucosidase inhibition of mucilaginous substances from selected Thai medicinal plants. Scientia Pharmaceutica, 77(4): 837-850.
 - Raei, Y., Shariati, J. and Weisany, W., 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of sunflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25(1): 65-84.
 - Razban, M. and Pirzad, A.R., 2012. Evaluate the effect of varying amounts of super absorbent under different irrigation regimes on growth and water deficit tolerance with purslane (*Portulaca oleracea* L.) under the application of nitroxin biofertilizer and urea. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(1): 25-44.
 - Ghasemian, V., Shafagh, J. and Pirzad, A., 2017. Effect of fertilizer treatments and irrigation regimes on *lallemantia iberica* seed mucilage yield and compounds. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 27(3): 17-31.
 - Ghaffari, A., Ali, A., Tahir, M., Waseem, M., Ayub, M., Iqbal, A. and Mohsin, A.U., 2011. Influence of integrated nutrients on growth, yield and quality of maize (*Zea mays* L.). American Journal of Political Science, 2(01):63-69.
 - Gertz, C.H., 1990. HPLC Tips and Tricks. Great Britain, Oxford, 608p.
 - Ghosh, P.K., Bandyopadhyay, K.K., Manna, M.C., Mandal, K.G., Misra, A.K. and Hati, K.M., 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology, 95(1): 85-93.
 - Gholinezhad, E., 2017. Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 150-167.
 - Gholami Ganje, S., Salehi, A., Shahrabasi S. and Amiri Nasab, A.M., 2019. Evaluation the effect of vermicompost different levels and mycorrhiza fungi on yield and essential oil production of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science, 50(2): 325-335.
 - Grindlay, D. and Reynolds, T., 1986. The *Aloe vera* phenomenon: A review of the properties and modern uses of leaf parenchyma gel. Journal of Ethnopharmacology, 16: 117-151.
 - Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology, 81(1): 77-79.
 - Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M. R., Jalilian, J. and Eini, O., 2013. Effects of arbuscular Mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. Agronomy Journal, 105(1): 79-84.
 - Jalili, A., Rabie, V., Azami, A.M. and Daghestani, M., 2011. Genotype diversity of plums and tomatoes using morphological characteristics in Maraghe region. Seed and Plant Improvement Journal, 27(3): 357-374.
 - Karimi Jalilehvandi, T., Maleki Farahani, S. and Rezazadeh, A.R., 2020. Effects of sowing date and chemical fertilizer on the flavonoid content and

- and El-Nawawy, M., 2011. Preparation of mucilage/protein products from flax seed. *American Journal of Food Technology*, 6(4): 260-278.
- Singh, D., Chand, S., Anvar, M. and Patra, D., 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by isabgol (*Plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. *Journal Medicin Aromatic of Plant Science*, 25(2): 414-419.
 - Siu, K.C., Xu, L., Chen, X. and Wu, J.Y., 2016. Molecular properties and antioxidant activities of polysaccharides isolated from alkaline extract of wild *Armillaria ostoyae* mushrooms. *Carbohydrate Polymers*, 137: 739-746.
 - Tashakori Fard, E., Ghasem kheyli, F.T., Pirdashti, H., Ghanbary, M.T. and Bahmanyar, M.A., 2017. Symbiotic effect of trichoderma atroviride on growth characteristics and yield of two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) in a contaminated soil treated with copper nitrate. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1): 74-86.
 - Tohidi Moghadam, H., Ghoshchi, R.F., Hamidi, A. and Kasraey, P., 2007. Influence of biofertilizer application on quantity and quality characteristics of soybean. *Iranian Journal of Dynamic Agriculture*, 4(2): 205-216.
 - Wen, L., Xu, Y., Wei, Q., Chen, W. and Chen, G., 2018. Modeling and optimum extraction of multiple bioactive exopolysaccharide from an endophytic fungus of *Crocus sativus* L. *Pharmacognosy magazine*, 14(53): 36-43.
 - Weisany, W., Raei, Y. and Pertot, I., 2015. Changes in the essential oil yield and composition of dill (*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. *Industrial Crops and Products*, 77: 295-306.
 - Yousefi, A.A., Khavazi, K., Moezi, A.A., Rejali, F. and Nadian, H.A., 2011. Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. *World Applied Sciences Journal*, 15(9): 1310-1318.
 - of german chamomile (*Matricaria Chamomilla*), as a second crop. *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, 21(4): 131-137.
 - Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A. and Rahimi, A., 2011. Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1): 168-184.
 - Rezaei-Chiyaneh, E., Faridvand, S., Amirnia, R., Mahdavia, H. and Rahimi, A., 2018. Effect of organic and biofertilizers on yield and some qualitative characteristics of the Dragon's Head (*Lallemantia iberica*) in dryfarming conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4): 25-40.
 - Sadeghi, A.A., Bakhsh Kelarestaghi, K. and Hajmohammadnia Ghalibaf, K., 2014. The effects of vermicompost and chemical fertilizers on yield and yield components of marshmallow (*Altheae officinalis* L.). *Journal of Agroecology*, 6(1): 42-50.
 - Shahbazi, Z., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M. and Farajee, H., 2019. The effect of organic fertilizer and mycorrhizal fungus on morphological characteristics, shoot biomass and mucilage of borage (*Borago officinalis*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3): 561-570.
 - Shajari, M.A., Ghorbani, R. and Mahallati, M.N., 2014. Effects of organic, biological and chemical fertilizers on vegetative indices and essential oil content of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Agroecology*, 6(3): 425-443.
 - Sepehri, A. and Samadi, M., 2015. The effect of integrated chemical and biological fertilizers on growth indices and mucilage yield of isabgol (*Plantago ovata* Forssk) across different plant densities. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(3): 485-495.
 - Singer, F.A.W., Taha, F.S., Mohamed, S.S., Gibriel, A.

Study on the mucilage content and composition of dragon's head (*Lallemantia iberica* Benth.) with integrative application of mycorrhizal fungus and chemical fertilizer under rainfed conditions

A. Javanmard^{1*}, S. Saadi Moghaddam², M. Amani Machiani³, M. Nouraein⁴ and M.R. Morshedloo⁵

1*- Corresponding author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran, Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

2- M.Sc. student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

3- Ph.D. student of Agrotechnology-Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

4- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

5- Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Received: December 2019

Revised: May 2020

Accepted: June 2020

Abstract

To investigate the effect of integrative application of mycorrhizal fungus and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of medicinal plant dragon's head (*Lallemantia iberica* Benth.) under rainfed conditions, an experiment was conducted as a randomized complete block design with seven treatments and three replications in the research farm of Maragheh University, Iran, in 2017. Treatments included 100% conventional chemical fertilizer (250 and 150 kg ha⁻¹ urea and triple superphosphate, respectively), *Glomus mosseae* (GM), *G. intraradices* (GI), 50% chemical fertilizer+GM, 50% chemical fertilizer+GI and 50% chemical fertilizer+GI+GM. The results demonstrated that the highest (802.8 kg ha⁻¹) and lowest (463.5 kg ha⁻¹) seed yield and the highest (40.64%) and lowest (25.85%) harvest index were achieved in the integrative application of 50% chemical fertilizer+GI+GM and separate application of GI treatments, respectively. Besides, the highest content (9.18%) and yield (73.75 kg ha⁻¹) of mucilage was observed in 50% chemical fertilizer+GI+GM treatment. Furthermore, the highest amount of mucilage compounds (glucuronic acid, galacturonic acid, arabinose, raffinose, galactose, glucose, xylose and rhamnose) was obtained in 50% chemical fertilizer+GI+GM treatment. Based on cluster analysis, the treatments were divided into three groups. In general, the application of 50% chemical fertilizer+GI+GM while reducing the use of chemical fertilizers improved the quantitative and qualitative yield of the dragon's head.

Keywords: Harvest index, mucilage, yield, glucose, mycorrhizal fungus.