رابطه خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۰ / صفحات ۹۳-۷۹
مقاله پژوهشی

بررسی اثر کودهای زیستی و بیوچار بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل نرگس شهلا (*Narcissus tazetta* L. cv. 'Shahla')

مریم دهستانی اردکانی [۱و۲*]، نرگس خسروی[۱]، مصطفی شیرمردی[۱و۲]، جلال غلام‌نژاد[۱و۲] و فاطمه ناصری‌نسب[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۳۰)

چکیده

نرگس گیاهی سوخ‌دار از خانواده Amaryllidaceae است. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر کودهای زیستی و بیوچار بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گل نرگس شهلا (*Narcissus tazetta* L. cv. 'Shahla') بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه اردکان انجام شد. بیوچار در سه سطح (۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) با خاک مخلوط شد و چهار تیمار کودهای زیستی (عدم کاربرد کود زیستی (شاهد)، ۲۰ و ۴۰ گرم قارچ مایکوریزا در کیلوگرم خاک و همچنین غوطه‌وری سوخ‌ها در محلول ۵ درهزار کود زیستی نیتروزیست حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن) استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین قطر بزرگ‌ترین گل (۳۶/۷۳ میلی‌متر)، قطر کاسبرگ (۱۰/۵۳ میلی‌متر)، بلندترین طول ساقه گل‌دهنده (۲۶/۰۰ میلی‌متر)، بیش‌ترین تعداد برگ (۸/۶۶ عدد)، عرض برگ (۲۰/۴۰ سانتی‌متر)، بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۳/۱۸ گرم در گلدان)، افزایش قطر سوخ (۱/۶۶ میلی‌متر)، کارتنوئید (۲/۲۲ میلی‌گرم در گرم)، شاخص کلروفیل (۹۸/۰۵ اسپد)، کلسیم (۳/۸۳ درصد) و فسفر برگ (۰/۹۶ درصد) در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم قارچ مایکوریزا در گلدان حاصل شد. در تمام صفات مورد بررسی، استفاده از کودهای زیستی و بیوچار به‌تنهایی منجر به بهبود ویژگی‌های رشد و گلدهی گیاه نسبت به شاهد شد اما بهترین نتایج در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا به‌دست آمد، درحالی که با افزایش سطوح بیوچار و کودهای زیستی در تیمارهای ترکیبی ۴ درصد بیوچار و کودهای زیستی نتایج مطلوبی حاصل نشد.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های رشدی، عناصر غذایی، قارچ مایکوریزا، گلدهی، نرگس

مقدمه

نرگس شیراز، با نام علمی *Narcissus tazetta* L. گیاهی سوخوار از خانوادهٔ آماریلیداسه است که ۲۰-۳ گل خوش‌بو در یک ساقه دارد. گونه *Narcissus tazetta* با پوشش گل مسطح و

۱- گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، ایران
۲- پژوهشکده گیاهان دارویی و صنعتی، اردکان، ایران.
۳- دکترای بیماری شناسی گیاهی، جهاد کشاورزی، استان یزد
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mdehestani@ardakan.ac.ir

تاج گل نیمه‌کروی از مهم‌ترین گونه‌های نرگس است. این گونه نرگس از اواسط پاییز تا اواسط زمستان روی گل است (۷). گل‌های نرگس به‌خاطر آلکالوئیدهایشان مشهور هستند که از آنها در صنایع دارویی و آرایشی استفاده می‌شود. همچنین از آن‌ها معمولاً در پارک‌ها، باغ‌ها و رفیوژها به‌عنوان گیاهان زینتی استفاده می‌شود (۲۰). گل‌های نرگس با ساقه‌های بلند به‌عنوان گل شاخه بریده یا گلدانی نیز استفاده می‌شوند (۶).

به‌حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و جایگزین کردن آن‌ها با کودهای آلی و زیستی به‌عنوان یکی از اصول مهم کشاورزی پایدار در سال‌های اخیر اهمیت یافته است. کودهای زیستی متشکل از باکتری‌ها و همچنین قارچ‌های مفیدی هستند که هر یک به‌منظور خاصی، مانند تثبیت نیتروژن و رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آن‌ها تولید می‌شوند. این باکتری‌ها علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌های گیاه و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک بیش‌تر رشد گیاه و افزایش کمیّت و کیفیت محصول می‌شوند (۱۴). از جمله این کودها می‌توان به کودهای زیستی حاوی قارچ‌های مایکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده شکل‌های نامحلول فسفر و روی اشاره کرد (۲۸). آثار مثبت قارچ‌های مایکوریزا در تحرک بخشی فسفر و جذب آن با مکانیسم توسعه سطح ریشه، افزایش سرعت جذب آب و مواد غذایی توسط هیف قارچ، افزایش هدایت هیدرولیکی خاک و تسهیل انتقال توده‌ای فسفر، ترشح ترکیبات آلی تعدیل‌کننده pH و افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز امکان پذیر می‌شود (۲۸). بررسی‌های محبوب خمامی و همکاران (۲۴) نشان داد که کاربرد کود زیستی فسفاته بر اکثر صفات مورد بررسی مانند ارتفاع نهایی بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد گل، قطر گل، وزن تازه اندام هوایی و فسفر اندام هوایی گیاه زینتی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) مؤثر بوده و به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد موجب کاهش مصرف کود فسفره شده است. بهلولی و همکاران (۴) نیز با بررسی نقش قارچ مایکوریزا بر برخی ویژگی‌های رشدی گل مغربی (*Oenothera biennis* L.) نشان دادند که در رسانایی الکتریکی ۴ دسی‌زیمنس بر متر بیش‌ترین ارتفاع گیاه، طول ریشه و غلظت فسفر در تیمار ۳ گرم قارچ میکوریزا درکیلوگرم به‌دست آمد.

بیوچار[1] محصولی غنی از کربن است که از گرمادهی زیست‌توده‌هایی مانند چوب، کود دامی یا برگ، در یک محفظه دربسته، در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود حاصل می‌شود. از نظر تخصصی، بیوچار از تجزیه گرمایی مواد آلی تحت شرایط محدودیت اکسیژن و در دماهای کم‌تر از ۷۰۰ درجه سلسیوس به‌دست می‌آید (۲۳). برای نمونه سلیمان و همکاران (۳۵) دریافتند که افزایش دمای پیرولیز منجر به افزایش pH و کاهش گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) بیوچار می‌شود. افزایش دمای تولید همچنین منجر به افزایش رسانایی الکتریکی (EC) و یون‌های محلول در آب در بیوچار می‌شود. این ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر اساس منشا بیوچار بسیار متفاوت است (۳۵). ویژگی‌هایی که بیوچار را یک گزینه عملی برای اصلاح و تقویت خاک مناسب می‌سازد شامل CEC، توان جذب، مقاومت مکانیکی، محتوای کربن آلی و گنجایش نگهداری آب زیاد، و نیمه‌عمر بسیار زیاد (بیش از ۱۰۰ سال) آن است (۲۳). علاوه بر این بیوچار موجب افزایش حاصلخیزی، کیفیت و فعالیت آنزیم‌های خاک می‌شود (۳۲). تقی‌زاده طبری و همکاران (۳۶) نشان دادند که استفاده از بیوچار موجب بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و افزایش ارتفاع، تعداد ساقه گل‌دهنده و تعداد ساقه گیاه شد. ولی‌زاده قلعه بیگ و همکاران (۳۷) بیش‌ترین میزان سطح برگ، وزن تازه و خشک اندام هوایی و حجم ریشه کاهو رقم "سیاهو" را در سطح ۵ گرم در کیلوگرم بیوچار رُز مشاهده کردند. کریمی و همکاران (۱۹) با کاربرد همزمان چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریزا در گیاهان همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)، نشان دادند که میزان کلروفیل، قطر گل، ارتفاع گیاه، سطح برگ، قطر ساقه،

1. Biochar

[DOR: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.4.5]
[DOI: 10.47176/jspi.12.1.19991]

وزن خشک گیاه و غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و آهن نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هدف از پژوهش حاضر بررسی آثار بیوچار تهیه شده از شاخ و برگ ناشی از هرس درختان پسته، کود زیستی نیتروزیست و قارچ مایکوریزا و برهمکنش آن‌ها بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گل نرگس بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اوایل شهریور سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان آغاز شد. سوخ‌های هم‌اندازه با قطر حدود ۶ سانتی‌متر و وزن تقریبی ۳۰ گرم انتخاب شدند و کشت سوخ‌ها در اوایل مهرماه ۱۳۹۸ انجام گرفت. سوخ‌های نرگس شهلا از یک مرکز فروش سوخ نرگس در شهرستان بهبهان (استان خوزستان) تهیه شد. آزمایش درون گلدان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد که در هر گلدان یک سوخ کشت شد. فاکتورها شامل بیوچار در سه سطح (۰، ۲ و ۴ درصد وزنی) با خاک مخلوط شد و چهار تیمار کودهای زیستی (عدم کاربرد کود زیستی (شاهد)، ۲۰ و ۴۰ گرم قارچ مایکوریزا در کیلوگرم خاک و همچنین غوطه‌وری سوخ‌ها در محلول ۵ درهزار کودزیستی نیتروزیست حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن) بود. سوخ‌های نرگس پس از حذف پوست خشک بیرونی (تونیک) و اندازه‌گیری وزن اولیه با محلول قارچ‌کش بنومیل به غلظت یک در هزار (یک گرم پودر قارچ‌کش در یک لیتر آب) به‌مدت ۳۰ دقیقه ضدعفونی شدند و بلافاصله در مخلوط خاکی در گلدان‌های پلاستیکی حاوی ۳ کیلوگرم خاک کشت شدند. خاک مورد استفاده در این پژوهش پیش از استفاده برای کشت، با بخار آب گندزدایی شد.

برای تهیه بیوچار، نمونه خشک شده شاخ و برگ حاصل از هرس درختان پسته از باغی در شهرستان اردکان استان یزد جمع‌آوری شده و در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه اردکان، زغال زیستی مورد نیاز تهیه شد. برای تهیه زغال زیستی، نمونه‌ها در شرایط بدون اکسیژن درون کوره الکتریکی با دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. برای این کار نمونه‌ها را ابتدا در درون ظروف درب‌دار ریخته، سپس برای ایجاد شرایط بدون اکسیژن، چندین شمع در داخل کوره روشن شد تا اکسیژن باقیمانده در کوره و همچنین ظروف حاوی مواد اولیه مصرف شود و یا مقدار آن به‌حداقل رسیده و شرایط برای انجام فرآیند پیرولیز فراهم شود. درب کوره با گریس نسوز کاملاً درزگیری شد. اعمال گرما تا زمان اتمام خروج دود از نمونه‌ها ادامه داشت. پس از این کوره خاموش شد و زمان داده شد تا نمونه‌ها کاملاً سرد شده و سپس نمونه‌ها از کوره خارج شدند. پس از اختلاط بیوچار با خاک بر اساس تیمارهای مورد نظر، نمونه‌ها به میزان سه کیلوگرم در گلدان‌ها ریخته شدند. قارچ مایکوریزا نیز برای هر گلدان به‌صورت تماس مستقیم با سطح زیرین سوخ‌ها به‌کار برده شد. قارچ مایکوریزا از شرکت زیست‌فناوری پیشاتاز واریان البرز تهیه شد. در هر گرم از قارچ میکوریز حداقل ۱۰۰ اندام فعال از سه گونه *Glomus mosseae* ، *Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum* وجود داشت. در تیمار قارچ زیستی نیتروزیست سوخ‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در محلول ۵ در هزار غوطه‌ور شدند و پس از خشک شدن سوخ‌ها در گلدان کشت شدند. کود زیستی نیتروزیست از شرکت کشت‌کار گستر نوژان خراسان شمالی خریداری شد. این کود حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و مواد آلی و معدنی بود. جمعیت باکتری در هر میلی‌لیتر آن به میزان 10^9 عدد بود. عملیات آبیاری بلافاصله پس از کشت انجام شد. در طول دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها، با استفاده از آب مقطر به‌صورت وزنی بر اساس گنجایش مزرعه (FC) خاک انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی، خاک و بیوچار به‌ترتیب دارای pH برابر ۷/۸ و ۸/۷، رسانایی الکتریکی برابر ۱/۷ و ۱/۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، کربن آلی ۰/۵۴ و ۵۳/۵ درصد، پتاسیم قابل استفاده ۲۵۳ و ۵۳۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فسفر قابل استفاده ۱۱/۶ و ۳۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کلسیم ۲/۶ و ۱/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و منیزیم ۱/۳ و ۱/۱ میلی‌اکی‌والان بر

[DOR: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.4.5]
[DOI: 10.47176/jspi.12.1.19991]

لیتر بودند. بافت خاک لوم رسی و محتوای خاکستر بیوچار ۴۶/۵ درصد و عملکرد آن برابر ۳۱/۳ درصد بود. میانگین دمای گلخانه در طول دورهٔ رشد سوخ‌ها، ۴ ± ۲۴ درجه سلسیوس در روز و ۴ ± ۱۸ درجه سلسیوس در شب تنظیم شد. آبیاری بر حسب نیاز گیاهان و به محض خشک شدن سطح خاک گلدان‌ها انجام شد.

ویژگی‌های گل مانند قطر بزرگ‌ترین گل و قطر کاسه گل زمانی که گل‌ها کاملاً باز شدند با کولیس دیجیتال (مدل 16ER ساخت شرکت TITAN چین) بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. طول ساقه گل‌دهنده با استفاده از خط‌کش از محل خروج ساقه گل‌دهنده از خاک تا زیر یقه گل بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های هر گیاه در هر گلدان در پایان آزمایش به‌صورت جداگانه شمارش شد و طول و عرض مجموع برگ‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] (مدل Winarea-UT-11، ساخت ایران) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، پس از اتمام دوره کشت، ریشه‌ها برداشت شده و به‌مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج مدل (CCM- 200) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش ریتچی و همکاران (۳۱) توسط رابطه (۱) محاسبه شد:

$$RWC=(FW-DW)/(TW-DW)\times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه، FW وزن تازه برگ بلافاصله پس از نمونه‌برداری، DW وزن خشک برگ پس از قرار گرفتن در آون، و TW وزن آماس برگ است. برای اندازه‌گیری میزان کارتنوئید برگ مقدار نیم گرم از برگ تازه گیاهی را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع له شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به نمونه افزوده شده، و در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. عصاره جداشده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و با قرائت در طول موج ۴۷۰ نانومتر، میزان کارتنوئیدها بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (۳):

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227 \quad (2)$$

در این رابطه، chl. a و chl. b به ترتیب کلروفیل a و b، و A470 جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۴۷۰ نانومتر است.

غلظت فسفر در نمونه‌ها به روش نیترو وانادومولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر(مدل Clement) در طول موج ۴۳۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد (۲۵). از عصاره حاصل از سوزاندن خشک (در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۶ ساعت) و ترکیب با HCl برای اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم گیاه استفاده شد. از این عصاره برای اندازه‌گیری میزان جذب کلسیم (در طول موج ۴۲۲/۷ نانومتر) و جذب منیزیم (در طول موج ۲۸۵/۲ نانومتر) با دستگاه جذب اتمی استفاده شد (۳۹). تجزیه واریانس کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های گل

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر بیوچار، کودهای زیستی و برهم‌کنش آن‌ها بر قطر بزرگ‌ترین گل و طول ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیوچار و کودهای زیستی بر قطر کاسه گل اثر معنی‌داری نشان ندادند، اما اثر برهم‌کنش آنها در سطح احتمال پنج درصد بر قطر کاسه گل معنی‌دار بود. اثر بیوچار بر تعداد روز تا جوانه‌زنی گل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. اثر برهم‌کنش بیوچار و کودهای زیستی بر تعداد روز تا ظهور جوانه گل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، همه تیمارهای مورد استفاده به‌طور معنی‌داری قطر بزرگ‌ترین گل، کاسه گل و طول

1. Leaf area meter

[DOR: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.4.5]
[DOI: 10.47176/jspi.12.1.19991]

جدول ۱. تجزیه واریانس ویژگی‌های رشدی گل نرگس تحت تاثیر تیمارهای بیوچار و کود زیستی.

Table 1. Variance analysis of some growth characteristics of Narcissus as affected by different levels of biochar and biofertilizer.

CV%	Error خطا	A × B	کود زیستی Biofertilizer (B)	بیوچار Biochar (A)	منابع تغییرات Source of variance	
-	24	6	3	2	درجه آزادی df	
3.05	1.03	18.68**	18.44**	31.09**	قطر بزرگ‌ترین گل Diameter of largest flower	
8.97	0.69	1.41*	1.93ns	1.25ns	قطر کاسه گل Diameter of sepal	
1.62	5.75	17.48**	56.63**	36.25**	طول ساقه گل‌دهنده Length of flowering stem	
11.49	109.61	231.15*	258.32ns	739.08**	روز تا ظهور جوانه گل Days to budding	میانگین مربعات Mean Square
21.51	1.22	3.86*	8.47**	17.19**	تعداد برگ Number of leaves	
13.45	391.20	1377.64**	9172.39**	5534.56**	طول برگ Leaf length	
11.70	2.28	30.50**	9.63*	52.50**	عرض برگ Leaf width	
25.28	0.22	0.84**	2.62**	4.14**	وزن خشک ریشه Dry weight of root	

†**، * و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و اثر غیرمعنی‌دار است.

†**, * and ns represent significant at probability levels of 1 and 5% and non-significant, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر برهمکنش بیوچار و کود زیستی بر برخی ویژگی‌های رشدی گل نرگس.

Table 2. Mean comparison of interaction effect of biochar and biofertilizer on some growth characteristics of Narcissus.

بیوچار Biochar (%)	کود زیستی Biofertilizer	قطر بزرگ‌ترین گل Diameter of largest flower (mm)	قطر کاسه گل Diameter of sepal (mm)	طول ساقه گل‌دهنده Length of flowering stem (cm)	روز تا ظهور جوانه گل Days to budding	تعداد برگ Number of leaves	طول برگ Leaf length (cm)	عرض برگ Leaf width (cm)	وزن خشک ریشه Dry weight of root (g/pot)
0	0	26.99e	8.29d	16.00e	98.00ab	3.66d	91.43 d	7.73f	0.99d
	۲۰ مایکوریزا 20 g/kg MF	32.52d	9.37a-d	20.33cd	99.33ab	4.33d	119.83bcd	12.66bc	1.39d
	۴۰ مایکوریزا 40 g/kg MF	33.85 bcd	9.91ab	23.33b	96.33ab	4.33d	127.80bc	13.60bc	2.51 ab
	نیتروزیست Nitrozist	34.55bc	9.67ad	26.50a	99.66ab	۶/۳۳bc	133.83bc	12.23cde	1.25d
2	0	33.28cd	8.29d	20.20d	97.66ab	4.00d	121.43bcd	10.31def	2.25bc
	مایکوریزا 20 g/kg MF	35.13ab	9.34a-d	23.66b	۸۸/۳۳bcd	7.00ab	263.00a	13.16bc	2.95ab
	۴۰ مایکوریزا 40 g/kg MF	36.73a	10.53a	26.00a	75.00d	8.66a	265.97a	20.40a	3.18a
	نیتروزیست Nitrozist	35.22ab	10.20ab	26.90a	75.00d	6.33bc	134.03bc	12.73bc	1.28d
4	0	33.71bcd	9.20a-d	20.46cd	95.33abc	3.66d	136.43bc	13.66bc	2.73ab
	۲۰ مایکوریزا 20 g/kg MF	33.56bcd	9.10bcd	22.18bc	90.00a-d	4.33d	148.17b	14.96b	1.53cd
	۴۰ مایکوریزا 40 g/kg MF	29.57e	8.93bcd	19.73d	105.00a	4.00d	114.60bcd	13.73bc	0.99d
	نیتروزیست Nitrozist	34.43bc	8.55cd	21.00cd	78.33cd	5.00bc	107.30cd	10.00def	1.28d

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

ساقه گل‌دهنده را نسبت بـه شـاهد افـزایش دادنـد (جـدول ۲). بیش‌ترین قطر بزرگ‌ترین گل (۳۶/۷۳ میلی‌متر) (۳۶/۰۸ درصـد بیش از شاهد) و قطر کاسبرگ (۱۰/۵۳ میلی‌متر) (۲۷/۰۲ درصد بیش از شاهد) در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم قارچ مایکوریزا در گلدان حاصل شد. کم‌ترین قطر بـزرگ‌تـرین گـل (۲۶/۹۹ میلی‌متر) و طول ساقه گل‌دهنده (۱۶/۰۰ میلـی‌متـر) در شاهد به‌دست آمد. کم‌ترین قطر کاسه گل (۸/۲۹ میلـی‌متـر) در تیمار شاهد و ۲ درصد بیوچار به‌تنهایی مشاهده شد (جدول ۲). بلندترین طول ساقه گل‌دهنده (۲۶/۵۰، ۲۶/۹۰ و ۲۶/۰۰ میلـی-متر) در تیمارهای کود زیسـتی نیتروزیسـت بـه‌تنهـایی، ترکیـب نیتروزیست و ۲ درصد بیوچار و نیز ترکیب ۲ درصد بیوچـار و ۴۰ گرم در گلدان قارچ مایکوریزا به‌دسـت آمـد کـه بـه‌ترتیـب ۶۵/۶۲، ۶۸/۱۲ و ۶۲/۵ درصد بیش‌تر از شاهد بود (جـدول ۲). کم‌ترین تعداد روز تا ظهور جوانه گـل (۷۵ روز) در تیمارهـای ترکیبی ۲ درصد بیوچار + ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مـایکوریزا و نیز ۲ درصد بیوچار + کود زیستی نیتروزیست مشاهده شد که ۳۰/۶۶ درصد کم‌تر از شاهد بـود. بـیش‌تـرین زمـان تـا ظهـور جوانه‌های گـل ۱۰۵ روز بـود کـه در تیمـار ترکیبـی ۴ درصـد بیوچار و ۴۰ گـرم در کیلـوگرم قـارچ مـایکوریزا حاصـل شـد. بررسی نتایج نشان داد که بـا افـزایش غلظـت قـارچ مـایکوریزا به‌تنهایی و در تیمار ترکیبی با ۲ درصد بیوچار، قطر بزرگ‌تـرین گل، کاسه گل و طول ساقه گل‌دهنده افـزایش و تعـداد روز تـا ظهور جوانه گل کاهش یافـت، درحـالی کـه در سـطوح بـالای بیوچار (۴ درصد بیوچار) صفات مـورد بررسـی کـاهش یافتنـد (جدول ۲). با توجـه بـه مورفولـوژی گیـاه (سـوخ‌دار بـودن) و خاصیت بیوچار (افزایش تخلخل و افزایش میزان نگهداری آب خاک) به‌نظر می‌رسد که سطوح بالای بیوچار موجب نگهـداری آب بیش‌تر در خاک (با در نظر گرفتن حجم محـدود گلـدان) و آسیب به سوخ‌ها و در نتیجه کاهش صفات رشدی مورد بررسی شده باشد. با افزایش غلظت بیوچار به‌تنهایی نیز قطر بزرگ‌ترین گل، کاسه گل و طول ساقه گل‌دهنده افزایش یافت و تعداد روز تا ظهور جوانه گل کاهش یافت (جـدول ۲). نتـایج حاصـله بـا یافته‌های کریمی و همکاران (۱۹) همخوانی نشان داد. آنها نشان دادند که برهمکنش قارچ و بیوچار موجب افزایش قطـر گـل و کاهش تعداد روز تا گلدهی شد. با توجه به اینکه ماهیت بیوچار ماده آلی است، استفاده از آن در خاک‌هـای فقیـر از مـواد آلـی، علاوه بر تأمین مـاده آلـی خـاک، موجـب بهبـود ویژگـی‌هـای فیزیکی، شیمیایی و زیسـتی خـاک مـی‌شـود. همچنـین کـاربرد بیوچار منجر به افزایش دسترسی گیاه بـه عناصـر غـذایی ماننـد پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سـدیم، فسـفر، روی، آهـن و نیتـروژن، افزایش فتوسنتز و میزان رنگدانه‌ها شده و در نهایـت منجـر بـه افزایش کیفیت و عملکرد محصـولات مختلـف مـی‌شـود (۴۲). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده اسـت کـه قـارچ مـایکوریزا قادر است به‌طور بالقوه مورفولوژی گـل را بهبـود بخشـد، البتـه این موضوع بـه‌شـدت سـازگاری هـر دو گیـاه میزبـان و قـارچ بستگی دارد (۳۹). پژوهش‌های نشـان دادنـد کـه کـاربرد قـارچ مایکوریزا موجب زود گلدهی در توت‌فرنگی، گـل‌هـای شـاخه بریده رز و اطلسی می‌شود (۵، ۱۰ و ۱۱). زی و وو (۳۹) نشان دادند که گلدهی سنبل‌هـای (*Hyacinths orientalis* l. Anna marie) تیمارشده با قارچ مایکوریزا تحت تأثیر گونه قارچ مورد استفاده قرار می‌گیرد. فیتوهورمون‌های درون‌زا از عوامل مهـم در تنظـیم گلـدهی گیاهـان زینتـی هسـتند (۳۵). پرنـر و همکـاران (۲۹) گزارش کردند که قارچ مایکوریزا به‌طور مستقیم یـا غیرمسـتقیم بر تعادل هورمونی گیاه تأثیر گذاشته و رشد و شکوفایی گـل را تنظیم می‌کند. اکسین نقش مهمی در ریخت‌زایی گیـاه دارد (۲). نتایج زی و وو (۴۰) نشان داد که تلقیح پیازهای گیـاه سـنبل بـا قارچ مایکوریزا بدون توجه به گونه آن به‌شدت باعـث افـزایش قابل توجه غلظت ایندول استیک اسید (IAA) در گل‌هـا نسـبت به گیاهان تلقیح نشده شد. ایـن بـدان مفهـوم اسـت کـه قـارچ مایکوریزا ممکن است با سرعت بخشیدن به سنتز IAA، رشـد و شکوفایی گل را تنظیم کند. زی و وو (۴۰) گزارش کردند که تلقیح مایکوریزایی باعث غلظت بیش‌تر سدیم، فسـفر و پتاسـیم در گل ، برگ و ریشه گیاهان سنبل شد.

[DOR: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.4.5]
[DOI: 10.47176/jspi.12.1.19991]

تعداد، طول و عرض برگ

اثر بیوچار و کود زیستی بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر بیوچار، کود زیستی و برهمکنش آن‌ها بر طول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر بیوچار و برهم‌کنش بیوچار و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد و اثر کودهای زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر عرض برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که همه تیمارها نسبت به شاهد تعداد، طول و عرض برگ را افزایش دادند اما این افزایش در همه تیمارها معنی‌دار نبود. بیش‌ترین تعداد برگ (۸/۶۶ عدد) و مجموع عرض برگ (۲۰/۴۰ سانتی‌متر) در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲/۳۶ و ۲/۶۳ درصد بیش‌تر از شاهد بود (جدول ۲). در تیمارهای ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۲۰ و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بیش‌ترین مجموع طول برگ (۲۶۳/۰۰ و ۲۶۵/۹۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲/۸۷ و ۲/۸۱ برابر بیش‌تر از شاهد بود. کم‌ترین مجموع طول و عرض برگ (به‌ترتیب ۹۱/۴۲ و ۷/۷۳ سانتی‌متر) در شاهد مشاهده شد. با افزایش غلظت قارچ مایکوریزا به‌تنهایی و در ترکیب با ۲ درصد بیوچار تعداد، طول و عرض برگ افزایش یافت در حالی‌که با افزایش غلظت بیوچار به ۴ درصد، این روند اثر کاهشی نشان داد. با افزایش غلظت بیوچار به‌تنهایی نیز تعداد، مجموع طول و عرض برگ افزایش یافت. کاربرد کود زیستی نیتروزیست به‌تنهایی و در ترکیب با بیوچار تفاوت معنی‌داری در افزایش تعداد، مجموع طول و عرض برگ نشان نداد (جدول ۲). کاربرد همزمان قارچ مایکوریزا و بیوچار در هیشه‌بهار نیز موجب افزایش سطح برگ شد (۱۹). زینال و همکاران (۴۱) نیز گزارش کردند که سطح برگ گیاه *Phragmites karka* با کاربرد بیوچار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. دهستانی اردکانی و همکاران (۹) بیش‌ترین میانگین تعداد برگ در سه رقم سیب را در تیمار ۷۰ گرم مایکوریزا در هر گلدان و همین‌طور در رقم "رد دلیشز" با ۷۰ و ۱۰۰ گرم مایکوریزا در گلدان گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد که قارچ مایکوریزا با همزیستی مثبت با ریشه گیاه، سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف شده و در نهایت موجب بهبود رشد و افزایش تعداد برگ گیاه شده است. به‌طوری که در نتایج پژوهش حاضر مشخص است در این تیمار میزان عناصر کلسیم، منیزیم و فسفر نیز افزایش یافته است.

وزن خشک ریشه

اثر بیوچار، کود زیستی و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). همه تیمارها به‌طور معنی‌داری وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۲). بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۳/۱۸ گرم) در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا حاصل شد که ۳/۱۲ برابر بیش‌تر از شاهد بود. با افزایش غلظت قارچ مایکوریزا به‌تنهایی و در ترکیب با ۲ درصد بیوچار وزن خشک ریشه افزایش یافت درحالی که با افزایش غلظت بیوچار به ۴ درصد، این روند اثر کاهشی نشان داد. با افزایش غلظت بیوچار به‌تنهایی نیز وزن خشک ریشه افزایش نشان داد. کاربرد کود زیستی نیتروزیست به‌تنهایی و در ترکیب با بیوچار تفاوت معنی‌داری در افزایش وزن خشک ریشه نشان نداد (جدول ۲). هووارد و همکاران (۱۸) و ناگمی و همکاران (۲۶) در گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، حجازی‌زاده و همکاران (۱۷) در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و ولی‌زاده قلعه بیگ و همکاران (۳۷) در کاهو، افزایش وزن تازه و خشک ریشه را با کاربرد بیوچار نسبت به شاهد گزارش کردند. زینال و همکاران (۴۱) نیز گزارش کردند که وزن تازه و خشک ساقه و ریشه گیاه *Phragmites karka* با افزودن بیوچار افزایش معنی‌دار نشان داد. بیوچار مقدار آب قابل دسترس گیاه را به‌شکل معنی‌داری افزایش می‌دهد، علاوه بر این، افزایش در میزان رشد در حضور بیوچار می‌تواند به‌علت افزایش جذب مواد غذایی به دنبال افزایش غلظت عناصر غذایی در محلول خاک باشد که ناشی از تعدیل pH خاک و یا افزایش کربن آلی خاک است. همچنین از آنجا که استفاده از بیوچار باعث تغییر تخلخل

جدول ۳. تجزیه واریانس برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و غلظت عناصر گل نرگس تحت تاثیر تیمارهای بیوچار و کود زیستی.

Table 3. Analysis of variance of some physiological characteristics and nutrients concentration of Narcissus as affected by biochar and biofertilizer treatments.

			Mean Square	مربعات	میانگین		
فسفر Phosphorus	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	محتوای نسبی آب برگ (RWC) Relative water content (RWC) of leaf	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کارتنوئید Caretenoid	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variance
0.023^{ns}	1.86**	1.61*	78.10^{ns}	933.46**	0.63*	2	بیوچار Biochar (A)
0.007^{ns}	2.18**	0.29^{ns}	56.89^{ns}	976.84**	0.18^{ns}	3	کود زیستی Biofertilizer (B)
0.037*	0.53**	0.89*	159.66*	899.14**	0.14*	6	A × B
0.75	0.10	0.32	57.38	63.10	0.15	24	خطا Error
20.96	29.42	20.90	12.20	11.14	22.87	-	CV%

†**، * و ^{ns} به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و اثر غیرمعنی‌دار است.

†**, * and ns represent significant at probability levels of 1 and 5% and non-significant, respectively.

خاک، نگهداری رطوبت و نیز نیتروژن خاک می‌شود و از این طریق محیط مناسب و نیز انرژی و غذای لازم را برای باکتری‌های خاک فراهم می‌کند، بنابراین در تغییر جامعه میکروبی خاک نقش دارد (۸). کریمی و همکاران (۱۹) نیز نشان دادند که تیمار کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و دودرصد بیوچار و همچنین تیمار کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و چهار درصد بیوچار باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه نسبت به شاهد شد. بهلولی و همکاران (۴) نیز استفاده از قارچ مایکوریزا را در شوری شدید عامل افزایش وزن تازه ریشه گل مغربی دانستند.

کارتنوئید

اثر بیوچار و برهم‌کنش بیوچار و کودهای زیستی بر کارتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر میزان کارتنوئید برگ نشان ندادند (جدول ۳). همه تیمارها نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری میزان کارتنوئید برگ را افزایش دادند (جدول ۴). بیش‌ترین میزان کارتنوئید (۲/۲۲ میلی‌گرم در گرم) در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا حاصل شد که ۶۳/۲۳ درصد بیش‌تر از شاهد بود. کم‌ترین مقدار کارتنوئید (۱/۳۶ میلی‌گرم در گرم) در نمونه‌های شاهد مشاهده شد. با افزایش غلظت قارچ مایکوریزا به‌تنهایی و در ترکیب با ۲ و ۴ درصد بیوچار مقدار کارتنوئید افزایش یافت. با افزایش غلظت بیوچار به‌تنهایی نیز میزان کارتنوئید افزایش یافت (جدول ۴). نتایج حاصله با کشاورز فرد و همکاران (۲۱) هم‌خوانی نشان نداد. آن‌ها گزارش کردند که کاربرد بیوچار تأثیری بر میزان کارتنوئید برگ آهار نداشت. تقی‌زاده طبری و همکاران (۳۶) نیز گزارش کردند استفاده از بیوچار میزان کارتنوئید برگ گاوزبان اروپایی را کاهش داد، که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی نداشت. به‌نظر می‌رسد که استفاده از بیوچار علاوه بر بهبود جذب آب، موجب بهبود جذب عناصر غذایی شده که در نهایت موجب بهبود رشد و سلامت گیاه شده است.

شاخص کلروفیل

اثر بیوچار، کود زیستی و برهمکنش آن‌ها بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همه تیمارها نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری میزان شاخص کلروفیل برگ را افزایش دادند (جدول ۳). بیش‌ترین شاخص کلروفیل (۹۸/۰۵ اسپد) در

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر برهمکنش بیوچار و کود زیستی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر گل نرگس.

Table 4. Mean comparison of interaction effect of biochar and biofertilizer on some morphological characteristics and concentration of nutrients of Narcissus.

بیوچار Biochar (%)	کود زیستی Biofertilizer	کارتنوئید Caretenoid (mg/g)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (SPAD)	محتوای نسبی آب برگ (RWC) Relative water content (RWC) of leaf (%)	کلسیم Calcium (%)	منیزیم Magnesium (%)	فسفر Phosphorus (%)
0	0	1.36 c	48.85e	55.17d	1.89d	0.26e	0.65b
	۲۰ مایکوریزا 20 g/kg MF	1.40 bc	73.46d	65.77a-d	2.73bcd	1.60ab	0.78ab
	۴۰ مایکوریزا 40 g/kg MF	1.63 abc	77.80cd	68.15abc	3.00abc	1.83a	0.84ab
	نیتروزیست Nitrozist	1.50 bc	74.70d	56.08cd	2.66bcd	0.46de	0.93ab
2	0	1.65 abc	52.55e	60.37a-d	2.60bcd	0.96cd	0.80ab
	۲۰ مایکوریزا 20 g/kg MF	1.97 abc	91.30ab	65.80a-d	2.70bcd	1.90a	0.91ab
	۴۰ مایکوریزا 40 g/kg MF	2.22 a	98.05a	73.06a	3.83a	1.96a	0.96a
	نیتروزیست Nitrozist	1.77 abc	52.96e	57.36bcd	2.30cd	0.63de	0.82ab
4	0	2.05 abc	90.50abc	57.20bcd	3.30ab	0.46de	0.89ab
	۲۰ مایکوریزا 20 g/kg MF	1.82 abc	80.10bcd	59.82bcd	2.40bcd	1.43abc	0.77ab
	۴۰ مایکوریزا 40 g/kg MF	2.01 abc	47.35e	55.54cd	2.06cd	0.43de	0.97ab
	نیتروزیست Nitrozist	1.43abc	68.83cd	69.45ab	2.86bc	1.26bc	0.78ab

* میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level using LSD test.

تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا حاصل شد که ۲ برابر بیش‌تر از شاهد بود. کم‌ترین مقدار شاخص کلروفیل (۴۸/۸۵ و ۴۷/۳۵ اسپد) در نمونه‌های شاهد و تیمار ترکیبی ۴ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا مشاهده شد. با افزایش غلظت بیوچار به‌تنهایی میزان شاخص کلروفیل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با افزایش غلظت بیوچار در ترکیب با قارچ نیتروزیست میزان شاخص کلروفیل کاهش یافت (جدول ۴). پژوهش‌های متعددی نشان دادند که استفاده از بیوچار منجر به افزایش میزان شاخص کلروفیل برگ می‌شود (۳۸). کریمی و همکاران (۳۹) نیز نشان دادند که کاربرد همزمان قارچ مایکوریزا و بیوچار منجر به افزایش شاخص کلروفیل برگ گل همیشه بهار شد. به‌نظر می‌رسد که بیوچار مورد استفاده با توجه به نتایج آنالیز بیوچار، باعث افزودن مقداری از عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم و کلسیم به خاک شده است. علاوه بر این ممکن است بخشی از این عناصر از فاز آلی وارد فاز معدنی شده و در نتیجه برای گیاه قابل دسترس شده باشند. همچنین این احتمال وجود دارد که بیوچار به‌صورت غیرمستقیم و از طریق ترکیباتی مانند اسیدهای آلی بر فراهمی عناصر تأثیر گذاشته باشد (۱۵). علت کاهش شاخص کلروفیل با افزایش غلظت بیوچار و کود نیتروزیست ممکن است به‌دلیل این

[DOR: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.4.5]
[DOI: 10.47176/jspi.12.1.19991]

باشد که میزان تخلخل خاک و فراهمی عناصر غذایی برای گیاه در این شرایط افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان نگهداری آب در خاک افزایش می‌یابد، درحالی که نرگس گیاهی پیازی است و افزایش نگهداری آب در خاک موجب کاهش کارآیی آن و افزایش پوسیدگی سوخ‌ها می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی منیزیم در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که با افزایش جذب این عنصر (که در ساختار کلروفیل نقش اساسی دارد) میزان شاخص کلروفیل نیز افزایش یافت. بنابراین در تیمارهایی که استفاده از مایکوریزا یا بیوچار دسترسی گیاه را به این عنصر افزایش داده، میزان شاخص کلروفیل نیز افزایش یافت. دهستانی اردکانی و همکاران (۹) نیز نشان دادند که با افزایش سطوح مایکوریزا در خاک در سه رقم سیب میزان کلروفیل برگ افزایش یافت.

محتوای نسبی آب برگ

بیوچار و کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب (RWC) برگ نداشتند، اما اثر برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر RWC برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بیش‌ترین محتوای آب نسبی برگ (۷۳/۰۶ درصد) به‌دست آمد که ۳۲/۴۲ درصد برابر بیش‌تر از شاهد بود (جدول ۴). کم‌ترین محتوای آب نسبی برگ (۵۵/۱۷ درصد) در شاهد مشاهده شد. با افزایش غلظت قارچ مایکوریزا به تنهایی و در ترکیب با ۲ درصد بیوچار RWC برگ افزایش یافت درحالی که با افزایش غلظت بیوچار به ۴ درصد، RWC برگ کاهش یافت (جدول ۴). بهلولی و همکاران (۴) نشان دادند که در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر گیاهان گل مغربی تیمار شده با ۱/۵ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بیش‌ترین RWC برگ را نشان دادند. RWC برگ شاخص مناسبی برای بیان وضعیت آب در گیاهان بوده و وضعیت فراگیرتری از تعادل بین عرضه نسبی آب برگ و میزان تعرق را نشان می‌دهد (۲۲). چنانچه RWC برگ بیش‌تر باشد گیاه وضعیت تورژسانس خود را حفظ کرده و رشد آن ادامه می‌یابد (۳۰).

کلسیم، منیزیم و فسفر

اثر بیوچار و ترکیب بیوچار و کودهای زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر میزان کلسیم برگ معنی‌دار بود. کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر میزان کلسیم نشان ندادند (جدول ۳). همه تیمارها نسبت به شاهد میزان کلسیم برگ را افزایش دادند (جدول ۴). در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا بیش‌ترین کلسیم برگ (۳/۸۳ درصد) به‌دست آمد که ۲/۰۲ برابر بیش‌تر از شاهد بود. کم‌ترین کلسیم برگ (۱/۸۹ درصد) در شاهد حاصل شد (جدول ۴). با افزایش غلظت قارچ مایکوریزا به‌تنهایی و در ترکیب با ۲ درصد بیوچار، میزان کلسیم افزایش یافت درحالی که با افزایش غلظت بیوچار به ۴ درصد، کلسیم برگ کاهش یافت. با افزایش غلظت بیوچار به‌تنهایی نیز غلظت کلسیم برگ افزایش یافت (جدول ۴). نتایج کریمی و همکاران (۱۹) روی گل همیشه بهار نشان داد که کاربرد مجزای بیوچار و قارچ مایکوریزا به‌طور معنی‌داری میزان کلسیم برگ را افزایش داد اما استفاده همزمان آن‌ها در افزایش کلسیم مؤثر نبود. بیوچار می‌تواند به‌عنوان منبعی از مواد مغذی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در خاک باشد (۱). به‌طور مشابهی، پتاسیم زیاد و کلسیم در سبزیجات و در خاک اصلاح شده با بیوچار مشاهده شده است (۳۴).

اثر بیوچار، کودهای زیستی و برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر میزان منیزیم برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). همه تیمارها نسبت به شاهد میزان منیزیم برگ را افزایش دادند (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار منیزیم برگ در تیمار ۴۰ گرم قارچ مایکوریزا در کیلوگرم (۱/۸۳ درصد) به‌تنهایی و نیز تیمارهای ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۲۰ و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا (به‌ترتیب ۱/۹۰ و ۱/۹۶ درصد) به‌دست آمد. کمترین میزان منیزیم برگ (۰/۲۶ درصد) در شاهد حاصل شد (جدول ۴). با افزایش غلظت قارچ مایکوریزا به‌تنهایی و در ترکیب با ۲ درصد بیوچار، میزان منیزیم افزایش یافت درحالی که با افزایش غلظت بیوچار به ۴ درصد، منیزیم برگ کاهش یافت. غلظت منیزیم برگ در تیمارهای بیوچار به‌تنهایی، بیش از شاهد بود. میزان منیزیم در

[DOR: 20.1001.1.20089082.1400.12.1.4.5]
[DOI: 10.47176/jspi.12.1.19991]

تیمارهای کود زیستی نیتروزیست به‌تنهایی و در ترکیب با بیوچار، بیش از شاهد بود (جدول ۴). نتایج این پژوهش با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۹) روی گل همیشه بهار هم‌خوانی نداشت. آن‌ها گزارش کردند که کاربرد مجزا یا همزمان قارچ مایکوریزا و بیوچار تأثیری بر غلظت منیزیم برگ نداشت.

اثر بیوچار و کودهای زیستی بر میزان فسفر معنی‌دار نبود اما برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر میزان فسفر برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار فسفر برگ (۰/۹۶ درصد) در تیمار ترکیبی ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که ۴۷/۶۹ درصد بیش از شاهد بود. کم‌ترین میزان فسفر برگ (۰/۶۵ درصد) در شاهد حاصل شد (جدول ۴). نتایج حاصله با کریمی و همکاران (۱۹) روی گل همیشه بهار هم‌خوانی داشت. آن‌ها بیش‌ترین غلظت فسفر برگ را در تیمار کاربرد همزمان قارچ و چهار درصد بیوچار گزارش کردند. زی و وو (۴۰) گزارش کردند که تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث غلظت بیش‌تر فسفر در گل، برگ و ریشه گیاهان سنبل شد. هیف‌های قارچ با تولید و ترشح H^+ و اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک از ترکیبات فسفره معدنی نامحلول استفاده می‌کنند (از اسید اگزالیک، اگزالات تولید می‌شود که با یون فسفات مبادله می‌شود). قارچ از طریق ترشح فسفاتاز اسیدی و قلیایی باعث حل شدن فسفر آلی می‌شود (ریشه گیاهان غالباً فسفاتاز اسیدی تولید می‌کنند) (۱۲). افزایش قابل توجه در عملکرد در زمان استفاده از بیوچار به‌دلیل بهبود نگهداری آب خاک و کاهش آبشویی فسفر و نیتروژن و عناصر غذایی می‌تواند باشد (۲۷).

مقدار استفاده از بیوچار، ترکیبات اولیه و زیست تخریب‌پذیری آن بر محتوای مواد مغذی خاک مؤثر است (۱۸). کاربرد بیوچار بر pH خاک، مواد مغذی و فعالیت و ساختار میکروبی تأثیر می‌گذارد، و در نتیجه، چرخه نیتروژن و فسفر را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۳).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کودهای زیستی و بیوچار حاصل از بقایای هرس درختان پسته، به‌طور معنی‌داری بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیک و گلدهی گل نرگس اثر گذاشتند. بر اساس نتایج، کاربرد همزمان ۲ درصد بیوچار و ۴۰ گرم در کیلوگرم قارچ مایکوریزا، منجر به افزایش معنی‌دار قطر بزرگ‌ترین گل، کاسه گل، طول ساقه گل‌دهنده، تعداد، طول و عرض برگ، وزن تازه و خشک ریشه، افزایش قطر سوخ، کارتنوئید، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، غلظت فسفر، منیزیم و کلسیم و کاهش تعداد روز تا ظهور جوانه گل و نشت یونی نسبت به کاربرد مجزای این تیمارها و همچنین شاهد شد. کاربرد بیوچار و کودهای زیستی به‌تنهایی نیز آثار مثبت و معنی‌داری بر همه صفات مورد بررسی نشان دادند. نکته قابل توجه آن است که در بیش‌تر صفات مورد بررسی تیمارهای ترکیبی ۴ درصد بیوچار و کودهای زیستی نتوانستند به‌صورت مطلوب ویژگی‌های رشدی و گلدهی گیاه را بهبود بخشند. به‌صورت کلی، بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر کاربرد قارچ مایکوریزا و بیوچار برای بهبود رشد و عملکرد گل نرگس پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N., Liu, F., 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management* 138: 37–44.
2. Alabadí, D., Blázquez, M.A., Carbonell, J., Ferrándiz, C., Pérezamador, M.A., 2009. Instructive roles for hormones in plant development. *International Journal of Developmental Biology* 53(8-10): 1597–1608.
3. Arnon, A. N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112–121.
4. Bohlouli, M., Dehestani-Ardakani, M., Shirmardi, M., Razmjoo, J., 2019. Effect of organic and biological fertilizers on some growth characteristics of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) under salinity conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 12(1): 263–280. (in Persian with English abstract)
5. Bona, E., Lingua, G., Manassero, P., Cantamessa, S., Marsano, F., Todeschini, V., Copetta, A., D'Agostino, G., Massa, N., Avidano, L., Gamalero, E., Berta, G., 2015. AM fungi and PGP pseudomonads increase flowering, fruit production, and vitamin content in strawberry grown at low nitrogen and phosphorus levels. *Mycorrhiza* 25(3): 181–193.
6. Çelikel, F.G., Demir, S., Kebeli, F., Sarı, Ö., 2016. Some research studies on cut flower and potted plant production of flower bulbs. *Bahçe* 45: 873–876.

7. Chehrazi, M., Naderi, R.A., Shahnezhat Boushehri, A.A., Hasani, M.E., 2008. Study of genetic diversity of exotic and endemic daffodils (*Narcissus* spp.) using RAPD markers. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 8(4): 225–236.
8. Chen, H., Ma, J., Wei, J., Gong, X., Yu, X., Guo, H., Zhao, Y., 2018. Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. *Science of the Total Environment* 635: 333–342.
9. Dehestani-Ardakani, M., Kamli, K., Mohasedat, Z., 2017. Study the effects of mycorrhiza fungus on vegetative growth and nutrient uptake in three apple cultivars ('Red delicious', 'Golden delicious' and 'Starking'). *Journal of Plant Ecophysiology* 9(30): 192–204. (in Persian with English abstract)
10. Garmendia, I., Mangas, V.J., 2012. Application of arbuscular mycorrhizal fungi on the production of cut flower roses under commercial-like conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(1): 166–174.
11. Gaur, A., Gaur, A., Adholeya, A., 2000. Growth and flowering in *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* and *Impatiens balsamina* inoculated with mixed AM inocula or chemical fertilizers in a soil of low P fertility. *Scientia Horticulturae* 84(1-2): 151–162.
12. Goussous, S. J., Mohammad, M.J., 2009. Comparative effect of two arbuscular mycorrhiza and N and P fertilizers on growth and nutrient uptake of onions. *International Journal of Agricultural Biology* 11: 463–467.
13. Gul, S., Whalen, J.K., 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar amended soils. *Soil Biology and Biochemistry* 103: 1–15.
14. Han, H.S., Supanjani, E., Lee, K.D. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant, Soil and Environment* 52 (3): 130–136.
15. He, Z., He, C., Zhang, Z., Zou, Z., Wang, H., 2007. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhiza under NaCl stress. *Colloids Surf B: Biointerfaces* 59: 128–33.
16. Hejazizadeh, A., Gholamalizadeh Ahangar, A., Ghorbani, M., 2016. Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by sunflower (*Heliantus annus* L.). *Journal of Water and Soil Science* 26(2): 259– 271. (in Persian with English abstract)
17. Howard, T., 2011. The effect of biochar on the root development of corn and soybeans in Minnesota soil and sand. International Biochar Initiative, pp. 1–23.
18. Igalavithana, A.D., Ok, Y.S., Usman, A.R., Al-Wabel, M.I., Oleszczuk, P., Lee, S.S., 2016. The effects of biochar amendment on soil fertility. *Agricultural and Environmental Application of Biochar Advances and Barriers* 63: 123–144.
19. Karimi, E., Shirmardi, M., Dehestani Ardakani, M., Karimi, M., Gholamnezhad, J., 2020. Effect of biochar and mycorrhizal fungi on the growth characteristics and nutrition of calendula (*Calendula Officinalis* L.). *Applied Soil Research* 8(2): 112–128. (in Persian with English abstract)
20. Kebeli, F., Çelikel, F.G., 2013. Effect of planting time on flower quality and flowering period of natural and cultural Narcissus bulbs. In: Erken K, Pezikoğlu F. (Eds.), V. Ornamental Plants Congress, Yalova, Turkey, May 6–9, pp. 823–829.
21. Keshavarz Fard, S., Solgi, M., Bagheri, H., Shahrjerdi, I., 2020. The application of biochar with humic acid for resistance to drought stress in Zinnia. *Applied Biology* 33(1): 148–174.
22. Kumar, A., Elaston, J., 1992. Genotypic differences in leaf water relation between *Brassica juncea* and *B. napus*. *Annual Botany* 70: 3–9.
23. Lehmann, J., Joseph, S., 2015. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Routledge.
24. Mahboub Khomami, A., Hashemabadi, D., Barari Tajany, A., Fallah, A., 2017. A comparison of the effects of chemical and biological phosphorus fertilizer on phosphorus uptake and yield of Ornamental calendula (*Calendula officinalis*). *Applied Soil Research* 5(1): 79–91. (in Persian with English abstract)
25. Murphy, J., Riley J.P., 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31–36.
26. Namgay, T., Singh, B., Singh, B.P., 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research* 48: 638–647.
27. Palansooriya, K. N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J. K., Koutsospyros, A., Moon, D.H., 2019. Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. *Journal of Environmental Management* 234*:* 52–64.
28. Parvizi, Kh.., Dashti, A., Rerjali, F., Chayichi, M., 2014. Effect of two species of arbuscular fungi (*Glomus. etunicatum* and *Glomus. mosseae*) on nutrient uptake and production of tubers of potato plantlets from tissue culture. *Irannian Journal of Soil Biology* 1: 61–69. (in Persian with English abstract)
29. Perner, H., Schwarz, D., Bruns, C., Mäder, P., George, E., 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal colonization and two levels of compost supply on nutrient uptake and flowering of *pelargonium* plants. *Mycorrhiza* 17(5): 469–474.
30. Rao, M.S.S., Mendham, N.J., 1991. Soli- plant-water relationship of oilseed rape (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Agricultural Science* 117: 197–205.
31. Ritchie, S.W., Nguyan, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf Water content and gas exchange parameters of two wheat

genotypes differing in drought resistance. *Crop science* 30: 105–111.
32. Sarmah, A.K., Srinivasan, P., Smernik, R.J., Manley-Harris, M., Antal, M.J., Downie, A., van Zwieten, L., 2010. Retention capacity of biochar-amended New Zealand dairy farm soil for an estrogenic steroid hormone and its primary metabolite. *Soil Research* 48 (7): 648–658.
33. Shamshiri, M.H., Usha, K., Singh, B., 2012. Growth and nutrient uptake responses of Kinnow to vesicular arbuscular mycorrhizae. *Agronomy* (4): 689–693.
34. Suddick, E.C., Six, J., 2013. An estimation of annual nitrous oxide emissions and soil quality following the amendment of high temperature walnut shell biochar and compost to a small scale vegetable crop rotation. *Science of the Total Environment* 465: 298–307.
35. Suliman, W., Harsh, J.B., Abu-Lail, N.I., Fortuna, A.-M., Dallmeyer, I., Garcia-Perez, M., 2016. Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. *Biomass Bioenergy* 84: 37–48.
36. Taghizadeh Tabari, Z., Asghri, H.R., Abbasdokht, H., Babakhanzadeh sajirani, E., 2020. Effects of biochar and salicylic acid on physiological and morphological characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 36(1): 98–111.
37. Valizadeh Ghale Beig, A., Nemati, H., Emami, H., Aroie, H., 2020. The Effect of cutflower-rose waste biochar on morphological traits and heavy metals in lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Syaho). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 10(4): 21–35. (in Persian with English abstract)
38. Wang, Y.F., Pana, F., Wanga, G., Zhanga, G., Wang, Y., Chena, Xu., Maoa, Z.H., 2014. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system *Ofmalus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Scientia Horticulturae*. 175: 9–15.
39. Xie, M.M., Wu, Q.S., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate flowering of *Hyacinths orientalis* l. Anna marie. *Emir Journal of Food and Agriculture* 144–149.
40. Xie, M.M., Wu, Q.S., 2017. Mycorrhiza modulates morphology, color and duration of flowers in hyacinth. *Biotechnology* 16(3): 116–122.
41. Zainul, A., Hans-Werner, K., Bernhard, H., Bilquees, G., Ajmal, K.M., 2017. Impact of a biochar or a compost-biochar mixture on water relation, nutrient uptake and photosynthesis of *Phragmites karka. Pedosphere*. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60362-X.
42. Zhang, X., 2013. Using biochar for remediation of heavy metals. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1651–1658.