Archive of SID

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال دهم / شماره چهارم / زمستان ۱۳۹۹

ویژگی‌های رشدی و ترمودینامیکی فرانکنیا در بسترهای کشت مختلف در دیوار سبز خارجی

منصوره جوزای[۱]، فاطمه کاظمی[۲*] و امیر فتوت[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲)

چکیده

امروزه یکپارچه‌سازی طبیعت و ساختمان‌ها در قالب پشت بام‌ها و دیوارهای سبز به‌عنوان یک راهبرد پایدار در شهرها مورد توجه قرار گرفته است. اما مطالعات روی بسترهای کشتی که در این سیستم‌ها امکان استقرار به گیاهان بدهد، ناچیز است و دستیابی به بستری که عملکرد رشدی و تغذیه‌ای مناسب و پایدار زیست‌محیطی را برای گیاه فراهم کند، هنوز یک چالش است. هدف این مطالعه، ارزیابی عملکرد گیاه پوششی فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*) در چهار ترکیب بستر کشت (۳۰ درصد کوکوپیت+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد خاکبرگ+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد کمپوست قارچ+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست و خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به‌عنوان شاهد) در شرایط کشت در دیوار سبز خارجی است. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی فصول مختلف سال در چهار سطح و فاکتور دوم، بسترهای کشت در چهار سطح بود. اثر بستر بر صفات ترمودینامیک بستر و صفات مورفولوژیک، کیفی و کارآیی مصرف آب گیاه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که دما و رطوبت بستر در تمامی بسترهای حاوی مواد آلی بالاتر از خاک بود. همچنین، ارتفاع، تعداد گره، درصد پوشش‌دهی و کارآیی مصرف آب گیاه در بستر کمپوست قارچ بیشتر از سایر بسترها بود. فرانکنیا با کارآیی مصرف آب بالا و حفظ ویژگی‌های کیفی قابل قبول در تابستان و بهار گونه مناسبی است ولی به‌علت افت این صفات در زمستان، گونه مناسبی برای کاربرد در دیوار سبز خارجی در شهر مشهد در زمستان نیست. نتایج این پژوهش افزودن کمپوست شسته شده قارچ به بستر کشت معمول دیوار سبز، همچنین جایگزینی گیاه فرانکنیا به‌جای سایر گیاهان ناپایدار به‌کار رفته در دیوار سبز خارجی در شرایط آب و هوایی مشابه شهر مشهد در طی فصول بهار، تابستان و پاییز را پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سیستم عمودی، توسعه پایدار، گیاه پوششی، کارآیی مصرف آب، مواد بازیافتی

۱. ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز و استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fatemeh.kazemi@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فضاهای سبز شهری قسمتی از فضاهای باز هستند که در عرصه‌های طبیعی یا مصنوعی حوزه شهری، تحت استقرار درختان، گل‌ها، چمن‌ها و یا سایر گیاهان قرار دارند (۲۶). امروزه به‌دلیل افزایش تراکم ساخت‌وساز در کشورهای در حال توسعه، فضای سبز شهری به‌صورت قابل توجهی رو به کاهش است، به‌همین دلیل برای رفع این مشکل باید ازساختارهای سبز عمودی از جمله دیوارهای سبز کمک گرفت. جایی که امکان توسعه افقی در فضاهای شهری محدود و یا ناممکن است، فضاهای سبز عمودی می‌توانند بازدهی اکولوژیکی به‌نسبت مشابهی را در محیط به‌وجود آورند (۴۵).

نماهای سبز یکی از گزینه‌هایی هستند که با استفاده بهینه از فضا و منابع موجود، سعی در پایدارسازی فضای شهری می‌کنند. تحقیقات نشان داده است که چگونه ساختارهای سبز عمودی کارکردهای اکوسیستمی و زیست‌محیطی برای شهرها به ارمغان می‌آورند از جمله این کارکردها می توان کنترل باد و درجه حرارت (۷)، کاهش اثرات جزایر گرمایی شهری، ترسیب کربن آلی، کاهش آلودگی صوتی، کاهش آلودگی هوا (۳۱)، و بهبود زیبایی‌شناسی شهری و نیز عملکردهای روانشناسی مثبت بر مردم را نام برد (۱۹). با وجود محبوبیت بسیار دیوارهای سبز در شهرها (۳۴)، برای بهبود عملکرد و کارآیی این ساختارها نیازمند تحقیقات بیشتری هستیم. به‌عنوان مثال، روش‌های سنتی ترکیب گیاهان و بسترهای خاک بایستی با تکنولوژی‌های جدید ترکیب شوند تا عملکرد آنها را بهبود بخشند و مزایای حداکثری را برای این سیستم‌ها ایجاد کنند (۱۱).

تاکنون فناوری‌های زیادی برای ایجاد دیوارهای سبز به‌کار رفته است، یکی از این از این موارد استفاده از سیستم کشت هیدروپونیک است (۴۴). انتخاب عمق و ترکیب مناسب محیط کشت در ساختارهای عمودی سبز اهمیت بسزایی دارد (۲۸). یک بستر کشت مناسب باید در طول دوره رشد گیاه از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ثابتی برخوردار باشد. به‌طورکلی، یک بستر کشت مناسب باید دارای ظرفیت نگهداری آب و هوای کافی، زهکشی خوب، قابلیت تبادل کاتیونی زیاد و ظرفیت بافری کافی باشد (۱۷ و ۳۶).

به‌طور معمول، در بسترهای کشت هیدروپونیک از موادی مانند پیت استفاده می‌شود که این مواد دارای ظرفیت تبادلی بالا و همچنین ویژگی‌های مناسب فیزیکی است، ولی به‌دلیل نگرانی‌های محیطی و قیمت بالای آن به‌تازگی کمتر از آن استفاده می‌شود (۱)، درنتیجه پیدا کردن یک جایگزین مناسب برای پیت امری ضروری است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که پیت را می‌توان با انواع مختلف کمپوست بدون اثرات منفی برای گیاهان کشت شده در این بسترها جایگزین کرد (۴۱). از طرفی سالانه میلیون‌ها تن ضایعات کشاورزی دامی و شهری در سطح کشور تولید می‌شود که می‌تواند سهمی در تأمین ماده آلی خاک داشته باشد. از جمله مواد آلی بازیافتی قابل کاربرد در بسترهای کشت گیاهی می‌توان به کمپوست قارچ شسته شده، خاکبرگ پوسیده و ورمی کمپوست اشاره کرد (۱۳).

ورمی‌کمپوست یک کود ارگانیک و زیستی و شامل یک مخلوط بیولوژیکی بسیار فعال از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول‌های کرم خاکی است که سبب افزایش در تجمع میکروارگانیسم‌ها می‌شود که این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند باعث تولید مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مانند اکسین، جیبرلین، سایتوکنن، اتیلن و اسید اسکوربیک شوند و این هورمون‌ها روی رشد تأثیر دارند (۳۹). از طرفی کاربرد کمپوست قارچ به‌عنوان جایگزین پیت و کوکوپیت توصیه شده است (۱). به‌طور کلی تیمار پسماند کمپوست قارچ شسته شده نسبت به شسته نشده نتایج بهتری را نشان داد که احتمالاً به شوری بالای نوع شسته نشده نسبت داده شده است (۲۰). بستر خاکبرگ، ماده‌ای آلی است که از برگ‌های فاسد شده و سایر قسمت‌های گیاهی که روی خاک جنگل انباشته می‌شوند تشکیل شده است که به‌دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی مطلوب می‌تواند به‌عنوان بستر در رشد گیاهچه استفاده شود (۲۷).

همچنین انتخاب گیاه برای بام‌ها و دیوارهای سبز نیز نیازمند توجه ویژه است. بیشتر برای این منظور از گونه‌های با

www.SID.ir

Archive of SID

رشد سریع اما غیرتهاجمی استفاده می‌شود. در اکثر موارد، گونه‌هایی از قبیل سدوم‌ها که تهاجمی نیستند و می‌توانند به‌خوبی در خاک‌های کم‌عمق و خشک رشد کنند، قابل توجه هستند. در واقع در انتخاب نوع گیاهان باید طوری عمل کرد که ضمن افزایش میزان سرانه فضای سبز، در چهار فصل گیاهان چهره سبز داشته باشد (۲۱).

در میان مجموعه غنی از گیاهان پوششی، گیاهانی یافت می‌شوند که می‌توانند جایگزین چمن شوند و می‌توان آنها را برای جاهایی که کاشت چمن با مشکل مواجه است، به‌کار برد. حال اگر بتوان در دیوارهای سبز نیز از این گیاهان برای پوشش‌دهی سریع دیوارها استفاده کرد می‌توان با توجه به مصرف آب کم و مقاومت به خشکی و تنش‌های برخی از آنها بهره‌وری دیوارها را افزایش داد. چمن کویر یا فرانکنیا یکی از این گیاهان پوششی است. فرانکنیا با نام علمی *Frankenia sp.* نیتروژنیره Frankeniaceae بوده و بیش از ۸۱ گونه از این جنس به‌طور وسیع در نواحی گرمسیری و معتدل اروپا، نواحی مدیترانه‌ای آسیای صغیر و استرالیا پراکنده‌اند. ریشه این گیاه قوی بوده و ساقه‌های آن رونده است که به‌دلیل داشتن انعطاف در روی زمین می‌خوابند و می‌توانند قسمتی را پوشش دهند (۲۵). علت انتخاب این گونه در این پژوهش این است که فرانکنیا مثل چمن به‌عنوان یک بستر همگن‌تر نسبت به گونه‌های پوششی دیگر عمل می‌کند و این ویژگی دست طراح را در طرح‌های مصور باز نگه می‌دارد درنتیجه به‌عنوان یک پس زمینه یکنواخت در طراحی‌ها، فرانکنیا را نسبت به گونه‌های پوششی دیگر ترجیح می‌دهیم. پژوهش‌های قبلی روی گونه فرانکنیا در فضاهای سبز معمولی الهامی (۸) و نیز روی بام‌های سبز (۴۳) در سطح شهر مشهد مقاومت و سازگاری این گونه را مورد تأیید قرار داده است ولی هیچ پژوهشی در سطح شهر مشهد و یا حتی در سایر نقاط اقلیمی به عملکرد و سازگاری این گونه در شرایط کشت در دیوار سبز اشاره نکرده است. لذا در این آزمایش به ویژگی‌های رشدی و عملکردی گونه فرانکنیا در بسترهای کشت مختلف در شرایط کشت در دیوارهای سبز خارجی می‌پردازیم.

مواد و روش‌ها

شرایط و مکان اجرای آزمایش

این تحقیق طی خرداد ۱۳۹۷ تا خرداد سال ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. مشهد دومین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران در شمال شرق کشور با اقلیمی نیمه‌خشک، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم‌وخشک است (ارتفاع از سطح دریا ۹۹۵ متر، مختصات جغرافیایی: ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی). برای انجام این تحقیق، پانل‌های کشت عمودی در مکانی با فاصله مناسب از عوامل ایجاد سایه و در جهت رو به جنوب استقرار یافتند. سیستم کشت عمودی مورد استفاده در این طرح روش موسوم به سیستم کشت عمودی پاکتی بود و دیوارهای سبز احداث شده، طبق روش پیشنهادی احداث دیوار سبز، ثبت شده در اختراع به شماره ۸۷۰۱۱ اجرا شده است (شکل ۱). آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار (در واقع ۳ دیوار مجزا هر کدام به‌عنوان یک تکرار) انجام شد. فاکتور اصلی فصول مختلف سال در چهار سطح و فاکتور دوم بسترهای کشت در چهار سطح (۳۰ درصد کوکوپیت+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد خاکبرگ+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست، ۳۰ درصد کمپوست قارچ+ ۶۵ درصد پرلیت+ ۵ درصد ورمی‌کمپوست و خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به‌عنوان شاهد (این خاک از اضافه کردن حدود ۱۰ درصد کود دامی پوسیده به خاک لومی تشکیل می‌شود)) و گیاه مورد نظر فرانکنیا (*Frankenia thymifolia*) بود. سیستم آبیاری در این پروژه، سیستم آبیاری قطره‌ای بود، همچنین میزان آب آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده درنظر گرفته و بر اساس دبی قطره‌چکان‌ها اعمال شد.

صفات مورد بررسی

رطوبت داخل بسترها با سنسور رطوبتی مدل

www.SID.ir

Archive of SID

(USA, EXTECH MO750) در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک و در ساعت ۱۲ ظهر قبل از انجام آبیاری به‌صورت هفتگی تعیین شد. دمای داخل بسترها نیز به‌صورت هفتگی و در ساعت مشخص (۱۲ تا ۱۴) با کمک دماسنج خاک (TH 310) اندازه‌گیری شد.

میزان پوشش‌دهی گیاهی با استفاده از کوآدرات ساخته شده به اندازه هر پلات ۳۰ در ۱۰۰ سانتی‌متری محاسبه شد. اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان با خط‌کش و شمارش تعداد گره به‌روش شمارش نیز به‌صورت ماهانه صورت گرفت. درجه سلامتی (این شاخص بیانگر مواردی چون سالم یا بیمار بودن گیاه و همین‌طور وجود آفت یا عدم وجود آفت در گیاه است که گیاهان سالم عدد ۵ گیاه کاملا سالم وعدد ۱ گیاه با آلودگی بالا را نشان می‌دهد)، کیفیت رنگ فصلی و کیفیت بصری بر اساس روش رزوم (۳۲) توسط چهار ارزیاب مختلف ارزیابی شد (۱- کمترین کیفیت و ۵- بیشترین کیفیت). شاخص رشد گیاهان از حاصل ضرب عرض و طول سایه‌انداز گیاه در ارتفاع گیاه محاسبه شد. همچنین به‌منظور تعیین زیست‌توده کل از هر گونه اندام‌های هوایی و ریشه را برداشت کرده و بلافاصله در آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت قرار داده و سپس توسط دسیکاتور خنک شده و سپس توزین شد (۱۶). کارآیی مصرف آب نیز (Water Use Efficiency) از دو روش محاسبه شد:

در روش اول چهار گیاه از هر تیمار در انتهای مطالعه برداشت شد. برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌های هر گیاه جدا و در آون در دمای ۶۰ درجه خشک و سپس وزن خشک آن به‌دست آمد و با درنظر گرفتن وزن خشک بوته و با تقسیم بر میزان کل آب مصرفی دوره تیمار محاسبه شد (۲۴).

کارآیی مصرف آب ($g. L^{-1}$) =

میزان آب مصرفی / (زیست‌توده اولیه – زیست‌توده نهایی)

در روش دوم با تقسیم تغییر شاخص رشد (اختلاف بین شاخص رشد آغازین و انتهایی) بر تمام آب مصرفی (آبیاری به علاوه آب باران) تخمین زده شد (۱۰).

تجزیه‌وتحلیل آماری با نرم‌افزار JMP 8 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی و رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل انجام شد. در ابتدای آزمایش به‌منظور انجام آزمایش خاک، نمونه‌برداری از خاک شاهد و بسترهای ترکیبی انجام و به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. ویژگی‌های خاک در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است:

نتایج

نتایج مربوط به تجزیه واریانس صفات مورد اندازه‌گیری در جدول (۳) تنظیم شده است.

مطابق با جدول تجزیه واریانس اثرات ساده فصل و بستر کشت در همه صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد و در مورد ارتفاع، شاخص رشد و تمام صفات کیفی، علاوه بر اثر ساده فصل و بستر کشت، اثر متقابل این دو نیز در سطح احتمال حداقل پنج درصد معنی‌دار شد.

ارتفاع گیاه

مطابق با جدول (۳)، اثرات ساده و متقابل فصل و بستر کشت در سطح احتمال حداقل پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع به‌ترتیب مربوط به بستر حاوی کمپوست قارچ در فصل بهار و کمترین مربوط به بستر خاک شاهد در فصل زمستان بود. طی فصل پاییز و زمستان افت ارتفاع قابل توجهی مشاهده شد، اما با شروع فصل بهار دوباره ارتفاع گیاه به اندازه انتهای تابستان رسید (جدول ۴).

شاخص رشد

اختلاف شاخص رشد نیز در بین بسترها و فصول مختلف از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P\leq ۰/۰۱$)، همچنین اثر متقابل بستر و فصل نیز در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۴). در هر چهار بستر کشت در زمستان یک افت معنی‌دار در شاخص رشد را شاهد هستیم اما بیشترین شاخص رشد مربوط به بهار است. بستر کشت حاوی کمپوست قارچ بیشترین شاخص رشد را ایجاد کرده است (جدول ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱. نمای کلی طرح آزمایشی در چهار فصل سال (بخش فوقانی دیوارهای سبز مرتبط با پژوهش گزارش شده در این مقاله است.)

کیفیت بصری

صفت کیفیت بصری به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر فصل و بستر کشت قرار گرفت ($P\leq$۰/۰۱) و علاوه بر اثرات ساده، اثر متقابل نیز معنی‌دار بود. در تمامی فصول بستر کشت حاوی کمپوست قارچ نسبت به سه بستر دیگر توانست کیفیت بصری فرانکنیا را بهبود ببخشد. طی زمستان گیاهان کشت شده در تمامی بسترها افت شدید کیفیت بصری را نشان دادند به‌طوری که کمترین کیفیت مربوط به بستر کشت خاک در زمستان بود (جدول ۴).

رنگ فصلی

همان‌طور که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد در ارتباط با رنگ فصلی اثرات ساده و اثر متقابل فصل و بستر کشت اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند ($P\leq$۰/۰۱). فرانکنیا در فصل تابستان علاوه بر فصل بهار بهترین کیفیت رنگ را ایجاد کرده و در دو فصل سرد سال کیفیت رنگ کاهش یافته است. بستر کشت خاک، بی‌کیفیت‌ترین رنگ را ایجاد کرده است درحالی که تیره‌ترین رنگ مربوط به گیاهان در بستر کشت کمپوست قارچ است (جدول ۴).

درصد پوشش‌دهی

نتایج تجزیه واریانس برای درصد پوشش‌دهی گیاه نشان می‌دهد که اثرات ساده و متقابل فصل و بستر کشت اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهند ($P\leq$۰/۰۱). مطابق با جدول ۴ در فصل بهار بیشترین پوشش‌دهی مشهود است درحالی که در زمستان به‌علت به‌خواب رفتن گیاه و خشک شدن و ریزش شاخساره، افت شدید درصد پوشش‌دهی در تمامی بسترها رؤیت شد. در هر حال بیشترین و کمترین درصد پوشش‌دهی این گیاه در شرایط دیوار سبز به‌ترتیب مربوط به بستر کمپوست قارچ و خاک بود.

درجه سلامتی

صفت درجه سلامتی در گیاه فرانکنیا علاوه بر اثرات ساده فصل و بستر کشت، اثر متقابل در سطح احتمال یک درصد نیز معنی‌دار بود (جدول ۳). در تمامی بسترها در فصل پاییز و

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی بسترهای کشت مورد استفاده در آزمایش

بستر	N	P	K	Mg	OC	OM	C/N	EC	pH
	(درصد)							(dS/m)	
۳۰٪ کوکوپیت +۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۰/۳۲	۰/۰۵	۰/۴۰	۰/۷۳	۶/۵۶	۱۱/۳	۲۰/۴	۱/۳۲	۶/۸۷
۳۰٪ خاکبرگ + ۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۱/۲۵	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۷۰	۸/۸۹	۱۵/۳	۷/۰۹	۱/۳۹	۷/۲۱
۳۰٪ کمپوست قارچ +۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۰/۷۰	۰/۰۹	۰/۵۷	۱/۳۷	۱۰/۹	۱۸/۸	۱۵/۱	۲/۸۳	۷/۱۶
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به‌عنوان شاهد	۰/۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۲۶	۲/۶۲	۴/۵۲	۲۰/۱	۱/۲۲	۸/۰۲

pH (اسیدیته)، EC (هدایت الکتریکی) ، C/N (نسبت کربن به نیتروژن)، OM (ماده آلی)، OC (کربن آلی)، Mg (منیزیم)، K (پتاسیم)، P (فسفر)، N (نیتروژن)

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی بسترهای کشت مورد استفاده در آزمایش

بستر	ظرفیت نگهداری آب	نقطه پژمرگی دائم	تخلخل	وزن مخصوص ظاهری
	(درصد)			(g/cm^3)
۳۰٪ کوکوپیت +۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۷۴۰	۱/۰۵	۷۸	۰/۲۶
۳۰٪ خاکبرگ + ۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۶۹/۱	۸/۹۶	۴۲	۰/۶۰
۳۰٪ کمپوست قارچ +۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۱۱۳	۴/۵۹	۵۶	۰/۲۹
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به‌عنوان شاهد	۳۸	۴/۷۴	۸	۰/۷۵

زمستان کاهش درجه سلامتی را مشاهده کردیم. اما این کاهش در دو بستر کمپوست قارچ و خاکبرگ کمتر بود (جدول ۴).

تعداد گره

مطابق با جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثرات ساده بستر کشت و فصل در شاخص تعداد گره اختلاف معنی‌دار نشان دادند ($P\leq$۰/۰۱). مقایسه میانگین صفت تعداد گره بین بسترهای کشت نشان داد که بیشترین تعداد گره مربوط به بستر حاوی کمپوست قارچ و کمترین تعداد گره مربوط به بستر خاک بود. در فصل بهار بیشترین تعداد گره مشهود است اما کمترین گره در گونه فرانکنیا در زمستان ثبت شده است (جدول ۵).

دما و رطوبت بستر

مطابق جدول تجزیه واریانس (۳) در گیاه فرانکنیا تنها اثرات ساده فصل و بستر کشت دما و رطوبت بستر در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد. در گونه فرانکنیا بیشترین دمای بستردر تابستان ثبت شده است که احتمالاً به‌علت پوشش‌دهی سطح خاک پایین این گیاه در تابستان بوده است.

مقایسه میانگین‌های بسترهای مختلف در گونه فرانکنیا نشان می‌دهد بیشترین و کمترین رطوبت بستر مربوط به کوکوپیت و کمپوست قارچ بود. در گونه فرانکنیا فصل تابستان بیشترین حفظ رطوبت بستر را دارد در حالی‌که دیگر فصل‌ها از نظر آماری یکسان عمل کردند (جدول ۵).

کارآیی مصرف آب بر اساس زیست‌توده کل

در مورد این صفت مطابق جدول (۳) در گونه فرانکنیا اثرات ساده فصل و بستر کشت در سطح احتمال حداقل یک درصد معنی‌دار بوده است. در بین بسترهای کشت، بیشترین کارآیی مصرف آب مربوط به کمپوست قارچ و خاکبرگ و در بین فصول نیز، بیشترین کارآیی مصرف آب مربوط به پاییز و بهار بود. درحالی که تمامی بسترها به‌طور معنی‌داری کارآیی مصرف

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در گیاه فرانکنیا

منابع تغییرات	d_f	ارتفاع	شاخص رشد	تعداد گره	درجه سلامتی	رنگ فصلی	درصد پوشش دهی	کیفیت بصری	رطوبت بستر	دمای بستر	کارایی مصرف آب شاخص رشد	کارایی مصرف آب زیست‌توده
بلوک	۲	۲/۵۲	۱۴۸۳	۲/۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۶	۳/۲۷	۰/۰۰۹	۹/۸۳	۱/۶۹	۰/۰۰۰۹	$۴/۳۸ e^{-5}$
فصل	۳	۲۳۲**	۴۴۸۱۱۹۲**	۱۶۵**	۲/۷۸**	۳/۴۲**	۲۳۵۷**	۱۰/۸**	۲۰۷**	۳۶۵**	۱۸/۳**	۰/۰۰۰۳**
خطای عامل اصلی	۶	۰/۶۸	۱۳۸۷۵	۱/۳۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۱/۹۷	۰/۰۲	۱۹/۱۷	۰/۲۵	۰/۰۲	$۱/۱۲ e^{-5}$
بستر	۳	۲۲۱**	۳۲۷۵۳۶۳**	۱۳۲**	۴/۷۷**	۵/۵۳**	۲۱۲۹**	۷/۴۸**	۴۵۹**	۲۵/۷۷**	۳/۲۸**	۰/۰۰۱**
بستر × فصل	۹	۷/۷۰*	۲۰۵۸۲۸*	۳/۴۱ns	۰/۳۴**	۰/۴۵**	۸۷/۶**	۰/۲۴**	۵۳/۰۱ns	۰/۵۳ns	۰/۰۳ns	$۶/۲۶ e^{-5}$ns
خطای عامل فرعی	۲۴	۲/۶۹	۹۶۵۳۰	۱/۸۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۲/۷۴	۰/۰۲	۴۹/۵۴	۰/۳۴	۰/۱۳	۰/۰۰۰۰۴

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد و ns: غیرمعنی‌دار.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل فصل و بستر کشت بر برخی صفات رشدی و کیفی گیاه فرانکنیا

		ارتفاع (cm)	شاخص رشد (cm^3)	کیفیت بصری (۱–۵)	رنگ فصلی (۱–۵)	پوشش‌دهی (٪)	درجه سلامتی (۱–۵)
تابستان	بستر ۱	۲۴/۶efg	۳۴۶۱def	۲/۲۲hi	۵a	۲۰/۵l	۴/۹۸a
	بستر ۲	۲۶/۹cde	۳۴۹۳def	۲/۴۰gh	۵a	۲۳/۴k	۵a
	بستر ۳	۳۰/۱b	۳۸۷۶cd	۲/۶۵g	۵a	۲۹/۶i	۵a
	بستر ۴	۲۳/۹efgh	۳۰۵۹fgh	۱/۷۲j	۴/۶۵bcd	۱۴/۸m	۴/۵۵cd
پاییز	بستر ۱	۲۳/۱fghi	۳۳۱۹efg	۴/۴۲c	۴/۱۹ef	۴۰/۳g	۳/۷۳f
	بستر ۲	۲۲/۳ghi	۳۳۹۸defg	۴/۶۵c	۴/۳۶def	۵۲/۵e	۴/۶۱c
	بستر ۳	۲۷/۸bcd	۳۸۲۴cde	۴/۹۳ab	۴/۷۹abc	۶۵/۴b	۴/۹۴ab
	بستر ۴	۲۰/۶ij	۲۹۱۶Ghi	۳/۰۶f	۳/۱۶h	۳۴/۸h	۳/۳۹g
زمستان	بستر ۱	۲۱/۲hi	۲۵۰۸ij	۳/۶۶e	۳/۵۹g	۳۶/۴h	۳/۳۲g
	بستر ۲	۲۳ghi	۲۷۳۸hi	۴/۱۳d	۴/۰۶f	۴۵/۴f	۴/۳۰de
	بستر ۳	۲۶/۱def	۳۴۹۰def	۴/۴۳c	۴/۶۵bcd	۶۱/۸c	۴/۶۶bc
	بستر ۴	۱۷/۷j	۲۱۸۵j	۲/۱۰i	۲/۱۹i	۲۶/۶j	۲/۵۵h
بهار	بستر ۱	۲۸/۲bcd	۴۱۸۹bc	۴/۴۴c	۴/۵۰cde	۴۷f	۴/۰۶e
	بستر ۲	۲۹/۲bc	۴۵۲۸b	۴/۶۸bc	۴/۸۶ab	۵۷/۲d	۴/۵۸cd
	بستر ۳	۳۶/۱a	۵۱۰۵a	۴/۹۶a	۴/۹۲ab	۷۸/۸a	۴/۹۴ab
	بستر ۴	۲۱/۱hij	۳۰۶۲fgh	۲/۹۴f	۳/۱۴h	۳۴/۶h	۳/۴۰g

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان‌دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل پنج درصد است.

آب را نسب به بستر خاک در تمامی فصول افزایش دادند (جدول ۵).

کارآیی مصرف آب بر اساس شاخص رشد

مطابق جدول (۳) تنها اثرات ساده فصل و بستر کشت در سطح احتمال یک درصد در مورد کارآیی مصرف آب اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد. بیشترین کارآیی مصرف آب بر اساس شاخص رشد مربوط به فصل تابستان و همچنین بستر کمپوست قارچ و کمترین آن مربوط به خاک شاهد و فصل زمستان بود (جدول ۵).

بحث

توسعه فناوری دیوارهای سبز در سطح جهان در مسیر پیشرفت بوده و هر روز پروژه‌های نوینی در این زمینه توسط طراحان اجرا می‌شود. اما آنچه که اهمیت بسیاری دارد پایداری و ماندگاری این دیوارها است و این جز با داشتن یک بستر مناسب برای استقرار گیاهان در آن فراهم نمی‌شود. نتایج این آزمایش نشان داد که در بستر ترکیبی حاوی کمپوست قارچ، گیاه فرانکنیا ارتفاع بهتری داشت و روند رشدی آن نشان داد که این گیاه در فصل تابستان بعد از کشت سریع به استقرار رسید و همچنین در فصل پاییز رشد را حفظ کرده ولی در زمستان افت

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات ساده فصل و بستر کشت بر برخی ویژگی‌های ترمودینامیکی بستر و عملکردی گیاه فرانکنیا

	تعداد گره	رطوبت بستر (%)	دمای بستر (°C)	کارآیی مصرف آب بر اساس شاخص رشد (cm/L)	کارآیی مصرف آب بر اساس زیست‌توده (g/L)
۳۰٪ کوکوپیت +۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۱۹/۱^{c}	۲۶/۳^{a}	۲۰/۱^{b}	۲/۶^{b}	۰/۰۰۹^{b}
۳۰٪ خاکبرگ + ۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۲۱/۱^{b}	۱۴/۲^{b}	۲۲/۴^{a}	۲/۸^{b}	۰/۰۲^{a}
۳۰٪ کمپوست قارچ +۶۵٪ پرلیت + ۵٪ ورمی کمپوست	۲۴/۱^{a}	۱۲/۷^{c}	۲۲/۲۱^{b}	۳/۳^{a}	۰/۰۲^{a}
خاک معمول مورد استفاده در فضای سبز به‌عنوان شاهد	۱۶/۳^{d}	۱۹/۷^{ab}	۱۹/۵^{c}	۲/۱^{c}	۰/۰۰۴^{c}
تابستان	۲۲/۳^{a}	۲۴/۰۶^{a}	۲۹/۱^{a}	۴/۴^{a}	۰/۰۰۷^{c}
پاییز	۲۰/۴^{b}	۱۸/۲^{b}	۱۶/۷^{c}	۲/۸^{b}	۰/۰۱^{a}
زمستان	۱۴/۹^{c}	۱۶/۳^{b}	۱۸/۲^{b}	۱/۶^{d}	۰/۰۱^{b}
بهار	۲۳/۱^{a}	۱۴/۴^{b}	۲۰/۱^{b}	۲/۰۱^{c}	۰/۰۲^{ab}

حروف لاتین کوچک متفاوت در هر ستون جدول، نشان‌دهنده اختلاف معنادار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال حداقل پنج درصد است.

ارتفاع مشاهده شد. بنابراین، فرانکنیا با اینکه جزء گیاهان پوششی مقاوم به سرما است، در شرایط سخت سرما روی دیوار نتوانست موفق باشد. شاید بتوان عدم موفقیت این گونه روی دیوار در شرایط سرما را به عمق کم بستر در سیستم پاکتی دیوار و نداشتن ریشه‌های موئین در کشت بدون خاک نسبت داد. با این‌حال، در فصل سرما فرانکنیا در بستر ترکیبی حاوی کمپوست قارچ به‌علت بالا بودن دمای بستر عملکرد بهتری نسبت به بسترهای دیگر داشت. نتایج این تحقیق در مورد تأثیر کمپوست بر افزایش ارتفاع با نتایج به‌دست آمده روی بادمجان، بامیه و گوجه فرنگی و همیشه بهار (۲) مطابقت دارد. علت افزایش ارتفاع مربوط به تحریک تولید مواد اکسین مانند است (۲۲). همچنین می‌توان بیان کرد که احتمالاً خواص شیمیایی و فیزیکی اسید هیومیک موجود در کمپوست، از طریق افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم کننده رشد و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها (۲۲)، باعث افزایش تجمع نیتروژن توسط گیاه می‌شود و با افزایش نیتروژن، رشد گیاه و ارتفاع افزایش می‌یابد.

در مورد زیست‌توده کل می‌توان بیان کرد بستری با ظرفیت نگهداری آب بالا، درصد تخلخل زیاد و درنتیجه تهویه و شرایط زهکشی مناسب، می‌تواند شرایط رشد و توسعه مطلوب

www.SID.ir

Archive of SID

ریشه و درنتیجه اندام هوایی گیاه را فراهم سازد (۵). از طرف دیگر، وجود مواد غذایی کافی در بسترهای کشت آلی منجر به افزایش عمر و دوام سطح برگ شد (۳۰) که این امر نیز به‌نوبه خود سبب حفظ سطح فتوسنتز کننده به‌مدت طولانی می‌شود و با دریافت نور بیشتر به مدت طولانی ماده خشک بیشتری تولید می‌شود که خود سبب افزایش زیست‌توده کل در گیاه می‌شود (۳۸). یافته‌های این تحقیق در مورد افزایش زیست‌توده کل در بسترهای کشت ترکیبی کمپوست قارچ در درجه اول و در سایر بسترهای حاوی ترکیبات آلی نسبت به شاهد با نتایج پژوهشگران پیشین (۱۲ و ۱۸) همسو بود.

در مورد شاخص رشد این گیاه که شاخص مهمی در زمینه کارآیی مصرف آب نیز است، بستر ترکیبی کمپوست قارچ موفق عمل کرد و شاخص رشد گیاه را افزایش داد درحالی که که دو بستر دیگر که حاوی مواد آلی بودند نیز نسبت به خاک، شاخص رشد گیاهی بیشتر و درنتیجه کارآیی مصرف آب بالاتری داشتند. کاهش رشد گیاه در بستر خاک می‌تواند به‌علت کمبود مواد معدنی و آلی کافی در این بستر در مقایسه با بسترهای دیگر مورد استفاده باشد که این فرضیه با مشاهده میزان مواد معدنی N و P و K در این نوع بسترها در جدول ۱ اثبات می‌شود.

بلوم (۶) پیشنهاد کرد که کارآیی مصرف آب بالاتر، بیشتر درنتیجه کاهش مصرف آب به‌دلیل کاهش تعرق توسط گیاه است. کاهش میزان تعرق و تبخیر در اثر ضخامت برگ و وجود کرک در برگ، می‌تواند توجیهی برای افزایش کارآیی مصرف آب باشد. لازم به ذکر است مصرف آب در گیاه حاصل فرایند تبخیر و تعرق است، از آنجایی که سطح بسترهای دیوار سبز در مدل پاکتی پوشیده است تبخیر از سطح خاک زیاد چشمگیر نیست و عامل اصلی مصرف آب در دیوارهای سبز تعرق است در بسترهایی که رشد زیست‌توده گیاهی بیشتر و درنتیجه با سایه‌اندازی روی هم سبب کاهش تعرق نیز شوند، کارآیی مصرف آب چندین برابر می‌شود. همچنین باید به این موضوع اشاره کرد که در منظر شهری برخلاف کشاورزی، بهبود در کارآیی مصرف آب حتماً به معنی بهبود رشد یا محصول کلی نیست. هدف نهایی، استفاده کارآمدتر از آب برای رسیدن به گیاهی است که از نظر زیبایی و صفات کیفی، ظاهری قابل قبول داشته باشد (۴۰). در این پژوهش به‌نظر می‌رسد بسترهای حاوی کمپوست قارچ و خاکبرگ با فراهمی بیشتر مواد غذایی برای گیاه باعث تقلیل تنش حاصل از محدود بودن عمق بستر کشت و نوسانات دمایی و رطوبتی و درنتیجه بهبود کارآیی مصرف آب شده‌اند (۹).

از آنجایی که عنصر پتاسیم از عوامل اساسی در رشد گره‌ها است، می‌توان نتیجه گرفت که میزان زیاد پتاسیم در ورمی‌کمپوست علت افزایش تعداد گره و فاصله میان‌گره‌ها در حضور ورمی‌کمپوست است. وجود پتاسیم بیشتر در بسترهای ترکیبی نسبت به تیمار شاهد مؤید مطلب فوق است (جدول ۱)، زیرا پتاسیم به‌عنوان عنصر فعال اسمزی و مؤثر در جذب آب شناخته می‌شود و کمبود آن به‌صورت کاهش در میزان رشد گیاه است (۳). با توجه به زیاد بودن عناصر غذایی در ورمی‌کمپوست و نیز تأثیر مفیدی که این کودها بر فراهمی رطوبت خاک و عناصر غذایی پرنیاز در خاک و جذب آن توسط گیاه دارند، موجب افزایش تعداد ساقه‌های فرعی شده‌اند که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد گره در گیاهان کشت شده در بستر کمپوست قارچ تولید شد واین فاکتور در بستر مذکور اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها نشان داد. وجود مقادیر کافی از عناصر غذایی مهم و ضروری مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کلسیم در کمپوست مصرف شده قارچ که باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود می‌تواند دلیلی بر افزایش تعداد گره در گیاهان باشد (۴۲). مطالعات دیگر نشان می‌دهد که اضافه کردن ۱۵ و ۲۵ درصد پسماند کمپوست قارچ شسته شده به بستر کاشت، رشد خیار را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (۳۳). جاناتان و همکاران (۱۴) افزودن تیمار ۱۰ درصد کمپوست قارچ خوراکی به خاک را در افزایش معنی‌دار ارتفاع سویا مؤثر دانسته‌اند (۱۴).

www.SID.ir

Archive of SID

درجه سلامت، رنگ فصلی و کیفیت بصری فرانکنیا در بسترهای ترکیبی نسبت به بستر شاهد رتبه و امتیاز بالاتر گرفت ولی در بستر حاوی کمپوست قارچ، رتبه اول را به‌خود اختصاص داد. پسماند کمپوست قارچ منبع غنی از نیتروژن آلی به‌حساب می‌آید و به‌مرور زمان و با فراهم شدن شرایط نیتریفیکاسیون، نیتروژن آن به فرم معدنی و آزاد در آمده و می‌تواند آن را در اختیار گیاه قرار دهد (۲۳). در این پژوهش، در اثر مصرف کمپوست قارچ میزان نیتروژن در خاک و گیاه نسبت به تیمار شاهد بیشتر شده و درنتیجه میزان شاخص سبزینگی نیز افزایش یافت و این موضوع در کیفیت بصری گیاه، درجه سلامت و رنگ فصلی موثر است. این یافته با نتایج مدینا (۲۳) مطابقت دارند که گزارش کردند هرگاه میزان عناصر نیتروژن و کلسیم با مصرف ترکیبات آلی از جمله کمپوست قارچ و غیره افزایش یابد به‌دنبال آن شاخص سبزینگی نیز در گیاهان افزایش می‌یابد.

درصد پوشش‌دهی در مورد گیاهان پوششی و برای کاربرد در دیوار سبز شاخص مهمی است. درصد پوشش‌دهی فرانکنیا در بسترهای ترکیبی حاوی ماده آلی به‌خصوص بستر ترکیبی حاوی کمپوست قارچ نسبت به خاک شاهد بهتر عمل کرد و در فصل بهار و تابستان نسبت به فصل پاییز و زمستان در گیاهان بالاتر بود. درصد پوشش‌دهی مطلوب‌تر را می‌توان به بستر حاوی نیتروژن بیشتر نسبت داد. یکی از عواملی که می‌تواند باعث افزایش در سطح برگ شود، نیتروژن است که مسئول رشد سریع و پوشش‌دهی بیشتر در گیاه است (۳۷). در این پژوهش نگهداری رطوبت بستر در کمپوست قارچ کمترین بود که این رویداد را می‌توان به درصد پوشش‌دهی و شاخص رشد بیشتر گیاه در این بستر نسبت داد. به‌علت رشد سریع‌تر، مصرف آب توسط ریشه در این بستر بیشتر بود و درنهایت مصرف آب در این بستر در فصل بهار و تابستان به ترتیب کمترین و بیشترین بود.

دما در بستر ترکیبی خاکبرگ، امتیاز اول را به‌خود اختصاص داد. به‌طور کلی دما در بسترهای حاوی مواد آلی بیشتر از بستر خاک بود و این رویداد در فصل زمستان به‌خاطر گرم نگه‌داشتن ریشه یک حسن به‌حساب می‌آید. علت افت کمتر صفات کیفی و زیبایی فرانکنیا در بسترهای حاوی مواد آلی نسبت به شاهد را شاید بتوان به دمای ریشه ربط داد. با کاهش دمای بستر از فتوسنتز کاسته می‌شود و به‌دنبال آن از توسعه شاخساره نیز جلوگیری به‌عمل می‌آید (۳۵). در این پژوهش، دمای بستر خاک نسبت به سه بستر دیگر بسیار پایین‌تر بود. به‌نظر می‌رسد با توجه به مطالب فوق، خاک شاهد با خنک نگهداشتن بستر موجب کاهش جذب آب توسط گیاه شده و بنابراین میزان رطوبت باقیمانده در بستر خاک شاهد نیز نسبت به دو بستر کمپوست قارچ و بستر خاکبرگ بسیار بالاتر بود. البته این احتمال نیز وجود دارد که وجود رطوبت بیشتر در بستر خاک شاهد موجب کاهش دمای بستر شده باشد. از طرفی می‌توان بیان کرد به‌دلیل رشد کمتر گیاه در بستر خاک شاهد، مصرف آب توسط گیاه نیز کمتر بوده و مقدار رطوبت بیشتری در خاک باقی مانده است. لذا رطوبت بستر خاک بیشتر حفظ شده و محتوای نسبی آب در برگ کمتر شده است (۱۵). تفاوت دمای ریشه در مقایسه با دمای هوا به‌مدت طولانی، بر فعالیت ریشه و رشد گیاه تأثیر سوئی دارد (۲۹). نتیجه این پژوهش با اظهارات رونقی و مفتون (۲۹) مطابقت دارد و در بسترهای آلی که دمای بستر بالاتر و نزدیک به دمای محیط در فصل تابستان بود، (میانگین دمای تابستان ۳۰ تا ۴۰ درجه بود) عملکرد بهتر گیاهان نسبت به عملکرد آنها در بستر خاک شاهد مشاهده شد. دمای بستر کمپوست قارچ و بستر خاکبرگ که نزدیک به دمای محیط بود در افزایش زیست‌توده کل و شاخص رشد گیاه تأثیر بسزایی داشت.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه بستر ترکیبی حاوی کمپوست قارچ در اندازه‌گیری فاکتورهای کیفی مختلف از جمله میزان ارتفاع، سرعت پوشش، تراکم، رنگ و نیز درجه سلامتی بالاترین تأثیر مثبت را داشت، این تیمار می‌تواند به‌منظور اصلاح صفات کیفی

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان در دیوارهای سبز خارجی به‌کار رفته در این بررسی در شرایط آب و هوایی مشابه شهر مشهد استفاده شود.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف کمپوست قارچ خوراکی باعث افزایش ماده آلی و غلظت عناصر غذایی ضروری پرمصرف در خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. بنابراین، کمپوست قارچ شسته شده می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح کننده مناسب با شوری کم برای بهبود وضعیت عرضه عناصر غذایی خاک و افزایش حاصلخیزی آن به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده شود.

منابع مورد استفاده

1. Abad, M., P. Noguera and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
2. Arancon, N. Q., C. A. Edwards, R. M. Atieyh and J. D. Metzger. 2004. Effect of composts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Brioresource Technology* 93: 139-143.
3 Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44: 579-590.
5. Barrett, G. E., P. D. Alexander, J. S. Robinson and N. C. Bragg. 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems- A review. *Scientia Horticulturae* 212: 220-234.
6. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56(11): 1159-1168.
7. Caprotti, F. and J. Romanowicz. 2013. Thermal eco-cities: Green building and urban thermal metabolism. *Journal of Urban and Regional Research* 37(6): 1949-1967.
8. Elhami, H. 2015. Effects of drought stress on yield and quantitative characteristics and characteristics of four covered plant species with potential for use in Mashhad green space. Master thesis. Faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
9. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
10. Fernandez-Canero, R., J. Ordovas and M. A. H. Machuca. 2011. Domestic gardens as water-wise landscapes: A case study in southwestern Europe. *Hort Technology* 21: 616-623.
11. Ghaffarian Hoseini, A. and N. Makaremi. 2012. The Concept of zero energy intelligent buildings (ZEIB): A review of sustainable development for future cities. *British Journal of Environment and Climate Change* 2(4): 339-367.
12. Gonani, Z., H. Riahy and K. Sharifi. 2011. Impact of using leached spent mushroom compost as a partial growing media for horticultural plants. *Journal of Plant Nutrition* 34: 337-344.
13. Hernandez-Apaolaza, L., A. M. Gasco, J. M. Gasco and F. Guerrero. 2005. Ruse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresource Technology* 96: 125-131.
14. Jonathan, S., O. Oyetunji, O. Olawuyi and P. Uwukhor. 2013. Application of *Pleurotus ostreatus* SMC as soil conditioner for the growth of soybean (Glycine max). *Academia Arena* 5: 54-61.
15. Jozay, M. and F. Kazemi. 2019. Evaluating the environmental performance of the growing media in a green wall system in a dry climate region. *Desert* 20: 217-230.
16. Kazemi, F., S. Beecham and J. Gibbs. 2011. Streetscape biodiversity and the role of bioretention swales in an Australian urban environment. *Landscape and Urban Planning* 101: 139-148.
17. Kazemi, F. and R. Mohorko. 2017. Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates. *Urban Forestry & Urban Greening* 23: 13-26.
18. Keever, G. J., G. S. Cobb and R. McDaniel. 1986. Effects of container size, root pruning, and fertilization on growth of seedling pecans. *Journal of Environmental Horticulture* 4: 11-13.
19. Koch, K., R. Samson and D. Siegfried. 2019. Aerodynamic characterization of green wall vegetation based on plant morphology. *Anexperimental and Computational Fluid Dynamics Approach* 178: 34-51.
20. Kubilay Onal, M. and B. Topcuoglu. 2007. The effect of spent mushroom compost on the dry matter mineral content of pipper (Piper Nigrum) grown in greenhouse. Available online at: https://www.semanticscholar.org/paper/. Accessed 8 August 2019.
21. Lazzarin, R. M., F. Castellotti and F. Busato. 2005. Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy Building* 37: 1260-1267.
22. Liuc, J. and B. Pank. 2005. Effect of compost and fertility levels on growth and oil yield of Roman chamomile. *Scientia Pharmaceutica* 46: 63-69.

www.SID.ir

Archive of SID

23. Medina, E., C. Paredets, M .A. Bustamante, R. Moral and J. Moreno-Caselles. 2012. Relationships between soil physico-chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma* 152-161.
24. Medrano, H., M. Tomás, S. Martorell, J. Flexas, E. Hernández, J. Rosselló, A. Pou, J. M. Escalona and J. Bota. 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal* 3: 220-228.
25. Qasemi Ghahsareh, M. and M. Kafi. 2009. Floriculture (Scientific and Practical Points), Volume 2. Moallef Publications.
26. Rabbani Kheir khah, S. M. and F. Kazemi. 2015. Investigating strategies for optimum water usage in green spaces covered with lawn. *Desert* 20: 217-230.
27. Rahimic, A., V. Komlen, D. Vukotic, N. Tanovic and J. Aliman. 2013. Utjecaj listinca na morfoloska svojstva pres a dnica bosiljka (*Ocimum basilicum*). 48th Croatian & 8th International Symposium on Agriculture Dub rovnik, Croatia.
28. Razzaghmanesh, M., S. Beecham and F. Kazemi. 2014. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment* 476-477: 288-297.
29. Ronaghi, A. and M. Maftoon. 2003. Hydroponics, A Practical Guide to Soilless Culture Practitioners, Shiraz University Press (In Farsi).
30. Rout, G. R. and S. Sahoo. 2015. Role of iron in planth growth and metabolisam. *Agricultural Science* 3: 1-24. doi: 10.7831/ras.3.1.
31. Romanova, A., K. Horoshenkov and A. Hurrell. 2019. An application of a parametric transducer to measure acoustic absorption of a living green wall. *Applied Acoustics* 145: 89-97.
32. Rozum, J. 2014. Irrigation effects on growth and visual quality of three ornamental grass species. Theses and Dissertations - Department of Horticulture & Landscape Architecture. Colorado State University, Colorado, USA.
33. Run-Hua, Z., D. Zeng-Qiang and L. Zhi-Guo. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. *Pedosphere* 22: 333-342.
34. Sheweka, S. and N. Magdy. 2011. The living walls as an approach for a healthy urban environment. *Energy Procedia* 6: 592-599.
35. Shibani Rad, A., M. Haghighi and A. Honestly. 2014. Effect of temperature reduction and nitrogen reduction on physiological characteristics (growth and photosynthesis) of lettuce (*Lactuca sativus*). *Process and Plant Function* 4 (13): 121-132. (In Farsi).
36. Shi, Z. Q., F. Jobin-Lawler, A. Gosselin, G. Turcotte, A. P. Papadopoulos and M. Dorais. 2002. Effect of different EC management on yield, quality and nutraceutical properties of tomato grown under supplemental lighting. *Acta Horticulturae* 580: 241-247.
37. Soltani, A. 2009. Mathematical Modeling in Field Crops. JDM Press, Mashhad.
38. Soumare, M., F. Tack and M. Verloo. 2003. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology* 86: 15-20.
39. Tomati, U., A. Grappelli and E. Gali. 1987. The harmonic-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soil* 5: 228-294.
40. Stabler, L. B. and C. A. Martin. 2000. Irrigation regimens differentially affect growth and water use efficiency of two southwest landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture* 18(2): 66-70.
41. Tzortzakis, N., S. Gouma, C. Paterakis and T. Manios. 2012. Deployment of municipal solid wastes as a substitute growing medium component in marigold and basil seedlings production. *The Scientific World Journal* 2012: 1-6. doi: 10.1100/2012/285874.
42. Uzun, I. 2004. Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 12: 157.
43. Vahdati, N., A. Tehranifar and F. Kazemi, 2017. Assessing chilling and drought tolerance of different plant genera on extensive green roofs in an arid climate region in Iran. *Journal of Environmental Management* 192: 215-223.
44. Weinmaster, M. 2009. Are green walls as "Green" as they look? An introduction to the various technologies and ecological benefits of green walls. *Journal of Green Building* 4: 3-18.
45. Zhang, X. 2013. Going green: initiatives and technologies in Shanghai World Expo. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25: 78-88.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 10, No. 4, Winter 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of the Growth and Thermodynamic Properties of Frankenia on Different Growing Media in an External Green Wall

M. Jozay[1], F. Kazemi[2*] and A. Fotovat[3]

(Received: January 25-2020; Accepted: June 22-2020)

Abstract

Currently, the idea of integrating nature and buildings through green roofs and green walls has been considered as a sustainable strategy in cities. However, studies on the substrates which allow the plants to fully establish in these systems are still lacking. It is also a challenge to find the substrates which provide the plants with proper growth, nutrition, and environmental sustainability. This study aimed to evaluate the performance of *Frankenia thymifolia* in four types of growing media (30% cocopit + 65% perlite + 5% vermicompost, 30% soil + 65% perlite + 5% vermicompost, 30% mushroom compost + 65% perlite + 5% vermicompost and common soil used in the green spaces as the control) in growing conditions of the external green walls. The experiment was conducted as a split-plot in a randomized complete block design with three replications. The main factor was different seasons of the year in four levels and the second factor was the substrates in four levels. The effect of different substrates on thermo-dynamic factors of the substrates and on morphological, qualitative, and water use efficiency characteristics of the plants were significant at the 5% probability level. The results showed that the temperature and humidity of the substrates containing organic compounds were higher than those of the soil. Also, plant height, number of nodes, percentage of coverage, and water use efficiency of the plants were higher in the growing medium containing mushroom compost. Having a high water use efficiency and keeping its qualitative characteristics to an acceptable level in the summer and spring, Frankenia was found to be a suitable species in these seasons. However, due to the cold-induced deleterious effects in winter on these characteristics, it was not a suitable plant species for external green wall systems in climatic conditions of the winter season of Mashhad. Based on this study's results, we suggest adding washed mushroom compost to the usual green wall substrate. Frankenia can also be considered a suitable plant for external green walls in spring, summer, and autumn in similar weather conditions to Mashhad.

Keywords: Vertical system, Sustainable development, Ground cover plants, Water use efficiency, Recycled material

1.2 and 3. M.Sc. Student and Associate Professor, Respectively Department of Horticulture and Landscape and Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
*: Corresponding Author, Email: fatemeh.kazemi@um.ac.ir

www.SID.ir