

تأثیر خصوصیات فیزیکی بسترهای کاشت بر رشد و کارایی مصرف آب در پرورش نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

حسین مزاری^۱، مجتبی دلشاد^{۲*} و عبدالکریم کاشی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۹)

چکیده

یکی از مهم‌ترین ارکان سیستم‌های کشت بدون خاک، بستر کشت می‌باشد. پرورش‌دهندگان گیاهان معمولاً بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نسبت به انتخاب بسترها اقدام می‌نمایند. به منظور بررسی اثر برخی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی بسترهای کشت بر رشد و کارایی مصرف آب نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، ویژگی‌های فیزیکی ۵۰ بستر ترکیبی اندازه‌گیری گردید و سپس سه بستر با خصوصیات فیزیکی مشابه (ظرفیت نگهداری آب، حجم هوای مؤثر و خلل و فرج مؤثر) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار، ۳ تکرار و ۱۲ مشاهده در هر واحد آزمایشی، طراحی و اجرا گردید. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک کل بوته، سطح برگ و تعداد برگ در بستر ترکیبی ماسه-کوکوپیت و کمترین مقدار در بستر پرلیت-ورمیکولیت به دست آمد. بسترهای ماسه-کوکوپیت و پرلیت کوکوپیت تأثیر یکسانی بر صفات قطر و ارتفاع و ارتفاع اولین گره داشتند. بستر ماسه کوکوپیت، بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری معادل ۱/۱۷ گرم ماده خشک بر لیتر آب مصرفی را دارا بود و بستر پرلیت-ورمیکولیت، کمترین کارایی معادل ۰/۳۴ گرم ماده خشک بر لیتر آب مصرفی را نشان داد. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، مشخص گردید که اگرچه بسترهای مورد مطالعه دارای ظرفیت نگهداری آب یکسانی بودند؛ اما بهترین رشد و کارایی مصرف آب در بستر ماسه-کوکوپیت، که دارای میزان آب سهل‌الوصول (۵۹ درصد) بیشتری بود حاصل گردید. نتایج نشان می‌دهد که دارا بودن ظرفیت نگهداری آب یکسان در دو بستر، الزاماً به معنی رفتار مشابه آنها نیست و خصوصیات دقیق‌تر دیگری نیز دخالت دارند.

واژه‌های کلیدی: آب سهل‌الوصول، حجم هوای مؤثر، ظرفیت نگهداری آب، نشای گوجه‌فرنگی.

The effects of substrate physical properties on growth and irrigation water use efficiency of greenhouse tomato transplant

Hossein Mazari¹, Mojtaba Delshad^{2*} and Abdolkarim Kashi³

1. Former M.Sc. Student, Associate Professor and Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Feb. 28, 2017 - Accepted: Oct. 11, 2017)

ABSTRACT

Substrate is one of the most important factors in soilless cultures. Growers of horticultural crops usually select substrates based on physical and chemical characteristics. In order to evaluate the effects of some of the most important physical properties of media, on growth and irrigation water use efficiency of greenhouse tomato transplant, physical properties (water holding capacity, effective air filled pore space and effective pore space) of 50 mixed media were measured. Media which had the same physical properties among the mixed media were selected as experimental treatments to grow greenhouse tomato transplants. Randomized complete block design with 3 replications and 12 observations in each experimental unit was used for the experiment. Results showed that maximum and minimum plant total dry weight, leaf area and leaf number was recorded in sand-cocopeat and perlite-vermiculite media, respectively. Sand- cocopeat and perlite-cocopeat media had the same values of stem diameter, plant height and height of the first node especially during first 2 weeks. Maximum and minimum irrigation water use efficiency (1.17 g/l and 0.34 g/l) occurred in sand-cocopeat and perlite-vermiculite media, respectively. Results indicated that although studied media had the same water holding capacity, but the best growth and irrigation water use efficiency was obtained on sand-cocopeat medium which had a higher amount of easily available water. According to results, it can be concluded that the same water holding capacity of two media doesn't necessarily guarantee similar results from them and other properties must be taken in account.

Keywords: Easily available water, effective air-filled pore space, tomato transplant, water-holding capacity.

* Corresponding author E-mail: delshad@ut.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم‌ترین سیستم‌های پرورش گیاهان گلخانه‌ای، سیستم‌های کشت بدون خاک است. در نوعی از این سیستم‌ها، کشت گیاه در بسترهای مصنوعی و غیرخاکی انجام می‌شود. این بسترها دارای ویژگی‌های فیزیکی متفاوتی می‌باشند و در اغلب موارد، به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییر در نوع و نسبت اجزای یک بستر ترکیبی می‌تواند سبب تغییر در خصوصیات آن شده و در نتیجه بر تعداد دفعات محلول‌رسانی، کارایی مصرف آب و عملکرد کل گیاه، مؤثر واقع گردد (Silber & Bar-tel, 2008). با توجه به اینکه خصوصیات فیزیکی یک بستر خالص یا ترکیبی را نمی‌توان در طول کشت تغییر داد، بنابراین، بستر مناسب، قبل از شروع کشت باید انتخاب گردد (Verdonck & Demeyer, 2001). معمولاً به دلیل مشخص نبودن ویژگی‌های فیزیکی بسترهای کشت و همچنین مقدار دقیق نیاز آبی گیاهان در شرایط گلخانه‌ای، تولیدکنندگان جهت جلوگیری از بروز تنش‌های آبی و تغذیه‌ای، بیش از حد نیاز گیاه، آبیاری یا محلول‌رسانی انجام می‌دهند و این امر در کشت‌های بدون خاک با سیستم باز، باعث آبشویی عناصر، هدررفتن نمک‌ها و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (Gruda, 2005). به منظور جلوگیری از بروز انواع تنش‌ها در بسترهای متخلخل، علاوه بر تهیه و تنظیم محلول مناسب، دو نکته را باید مد نظر قرار داد: ۱- کنترل محلول‌رسانی (تعیین زمان و مقدار محلول‌رسانی)، ۲- انتخاب بستری با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطلوب (Raviv et al., 2000). نسبت C/N، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH و هدایت الکتریکی، از جمله مهم‌ترین خصوصیات شیمیایی هستند که در مورد بسترهای هیدروپونیک مورد دقت و کنترل قرار می‌گیرند (Pill & Goldberger, 2009; Milks et al., 1989). که به طور مستقیم روی رشد گیاه اثرگذار هستند، شامل: چگالی بستر، چگالی ذرات، منافذ کل و ظرفیت نگهداری آب بستر و همچنین ویژگی‌هایی که به طور غیرمستقیم روی رشد گیاه اثرگذارند، شامل مقدار هوا و پتانسیل ماتریک بستر می‌باشند (Prasad & Chaulain, 2004; Michiles et al., 1992; Allaire et al., 1996). ظرفیت نگهداری آب هر بستر، میزان آب قابل در دسترس

(AW)^۱ برای گیاه را در حد فاصل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم نشان می‌دهد که شامل آب سهل‌الوصول (EAW)^۲ و آب بافری (WBC)^۳ می‌باشد. میزان آب سهل‌الوصول در بسترهای کاشت، یکی از ویژگی‌های مهم هر بستر می‌باشد و مقدار آن در بسترهای مناسب بیشتر از ۴۰ درصد است (Benito et al., 2005).

اجزای بسترهای ترکیبی، اغلب با توجه به خصوصیات فیزیکی آن‌ها انتخاب می‌شوند؛ به نحوی که بتواند یکدیگر را تکمیل کرده و بهترین شرایط را برای رشد و تولید مهیا کنند. به عنوان مثال، بسترهای ترکیبی مانند پیت و کمپوست، اغلب فاقد ذرات درشت لازم جهت هوادهی مناسب بستر هستند و با بسترهایی مانند ماسه و پرلیت مخلوط می‌شوند. پرلیت، ظرفیت نگهداری آب پایینی دارد (۳۸/۱۷-۱۶/۳٪)، از لحاظ شیمیایی خنثی و pH آن بین محدوده ۵/۵-۷ می‌باشد و ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار پایینی دارد (Wallach, 2008). استفاده از ماسه به عنوان بستر کشت به دلیل طبیعی بودن، ارزان بودن و در دسترس بودن آن در کشت‌های بدون خاک، مخصوصاً در نهالستان‌ها گسترش یافته است. چگالی توده ماسه بین ۱/۴۸ تا ۱/۸۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب و تخلخل کل آن ۳۰ تا ۴۵ درصد گزارش شده است (Raviv et al., 2002). کوکوپیت دارای ظرفیت نگهداری آب و هوادهی مناسبی می‌باشد (Shinohara et al., 1997). الیاف نارگیل دارای تخلخل کل ۹۸ درصد و حجم منافذ ۷۰ درصد می‌باشد؛ در حالی که پودر الیاف نارگیل دارای تخلخل کل ۸۶ تا ۹۴ درصد و حجم منافذ ۹ تا ۱۴ درصد می‌باشد (Raviv et al., 2002). Roosta & Afsharipoor (2012) گزارش کردند که حداکثر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک، زمانی به دست آمد که از ترکیب پرلیت و کوکوپیت استفاده شد؛ در حالی که در سیستم آکوآپونیک، با افزایش درصد پرلیت، رشد و عملکرد افزایش یافت. رشد مناسب گیاهان در کشت بدون خاک، تنها زمانی امکان‌پذیر است که همه فاکتورهای دخیل در تغذیه گیاهان به درستی اعمال شوند. این فاکتورها شامل

1. Available water
2. Easily available water
3. Water buffering capacity

۷۰، ۴۰-۶۰، ۵۰-۵۰، ۶۰-۶۰، ۷۰-۷۰، ۸۰-۸۰، ۹۰-۹۰، ۱۰۰-۱۰۰ حاصل شده بود، در ۶ تکرار اندازه‌گیری گردید. بستر پرلیت، درشت و ماسه دارای ابعاد ذره ۴ میلی‌متر، کوکوپیت و ورمیکولیت ایرانی کم‌تر از ۱ میلی‌متر و پرلیت متوسط، حدود ۲ میلی‌متر بودند. جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی در بسترها، ترکیبی از روش‌های استاندارد اتحادیه اروپا (DIN, 2012) استفاده گردید.

مطالعات گلخانه‌ای

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از مرحله اول، بسترهای دارای خصوصیات فیزیکی مشابه، اما اجزای متفاوت (جدول ۱)، از بین ۵۰ بستر مورد مطالعه در طی مطالعات آزمایشگاهی، بر اساس آنالیز آماری انتخاب شدند (جدول ۲) و میزان آب سهل‌الوصول و آب بافری این سه بستر نیز به‌روش De Boodt & Verdonck (1972) اندازه‌گیری گردید (جدول ۳). با توجه به این احتمال، که ممکن است توزیع نور، در محل اجرای آزمایش یکسان نباشد، آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تیمار (۳ بستر دارای ظرفیت نگهداری آب، حجم هوای مؤثر و خلل و فرج مؤثر یکسان)، ۳ تکرار و ۱۲ مشاهده در هر واحد آزمایشی (در مجموع ۱۰۸ نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای- رقم سیندا متعلق به شرکت رکس‌وان هلند) طراحی و اجرا شد.

تهیه محلول غذایی و تأمین نیاز آبی گیاهان

محلول‌رسانی بر اساس ظرفیت نگهداری آب هر بستر و با استفاده از روش وزنی تعیین گردید. در این آزمایش میزان رطوبت، در طی کل دوره پرورش نشاء، همواره در حالت حداکثر ظرفیت نگهداری آب بستر (تخلیه آب کمتر از ۱۵ درصد) نگه داشته شد. بدین‌منظور، جهت انتخاب زمان مناسب محلول‌دهی، ابتدا تعدادی از ظروف کاشت نشاء (با حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر) توسط هر یک از بسترهای مورد مطالعه پر، و بر اساس ظرفیت نگهداری آب هر بستر آبیاری شد. سپس میزان رطوبت موجود در هر یک از ظروف کاشت (۵ گلدان علامت‌گذاری شده از هر واحد آزمایشی، که به‌صورت مشخص در محل آزمایش تعبیه شده بود) هر سه روز یک‌بار، به فاصله

غلظت عناصر غذایی، تأمین آب، دمای محلول غذایی، غلظت اکسیژن حل‌شده در محلول، هدایت الکتریکی و pH محلول غذایی می‌باشند (Barker & Pilbeam, 2015). با توجه به اینکه حجم یک بستر، در ظروف کشت نسبتاً کم است؛ بهینه‌کردن خصوصیات فیزیکی بستر ضروری می‌باشد (Bilderback et al., 1982). نشاهای گوجه‌فرنگی پرورش‌یافته در بسترهای با حجم هوای مؤثر ۱۰/۸۵ درصد در بستر ماسه-کوکوپیت، از رشد بهتری نسبت به سایر بسترها با حجم هوای بالاتر برخوردار بودند (Mazari et al., 2016). در سال‌های اخیر، استفاده از بسترهای مصنوعی برای سیستم‌های کشت بدون خاک و حتی تولید نشاء مورد استفاده برای کشت‌های خاکی گسترش زیادی یافته است. در بسیاری از موارد، به‌جای استفاده از یک بستر خالص، ترکیبی از دو یا چند بستر مورد استفاده قرار می‌گیرد، تا خصوصیات مناسب‌تری حاصل گردد. با توجه به گسترده‌بودن خواص فیزیکی یک بستر کشت (ظرفیت نگهداری آب، حجم هوای مؤثر، خلل و فرج مؤثر، هدایت هیدرولیکی، چگالی توده، آب در دسترس، آب سهل‌الوصول، آب بافری، توزیع اندازه ذرات، سرعت انتشار اکسیژن و ...) و گسترش واحدهای تخصصی تولید نشاء در کشور، این پژوهش به‌منظور مطالعه و بررسی برخی از مهم‌ترین خواص فیزیکی بسترها و تأثیر آن بر مدیریت پرورش گیاه، در دو بخش آزمایشگاهی و گلخانه‌ای به اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

مطالعات آزمایشگاهی

در مرحله اول آزمایش، سه ویژگی فیزیکی شامل ظرفیت نگهداری آب (WHC)^۱ خلل و فرج مؤثر (EPS)^۲ و حجم هوای مؤثر (EAFPS)^۳ در ۵۰ بستر ترکیبی، که از اختلاط بسترهای پرلیت درشت-کوکوپیت، پرلیت درشت-ورمیکولیت، پرلیت درشت-ماسه، پرلیت درشت-پرلیت متوسط و ماسه-کوکوپیت با نسبت اختلاط‌های ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰،

1. Water holding capacity
2. Effective pore space
3. Effective air filled pore space

بعد از خشک شدن کامل، پاکت‌ها را از داخل آن خارج و وزن خشک اندام‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE)^۲

کارایی مصرف آب آبیاری، عبارت است از نسبت ماده خشک تولیدشده به‌میزان آب مورد استفاده برای گیاه (Abuarab *et al.*, 2013). با توجه به این‌که مقدار آب به‌کار برده‌شده برای هر بستر، در طی دوره آزمایش ثبت گردیده بود این شاخص در انتها محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.2 انجام شد. آزمون LSD برای مقایسه میانگین در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

اثر بسترهای مختلف بر خصوصیات رشدی نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های آزمایشی نشان داد که تیمارهای اعمال‌شده، اثر معنی‌داری بر ارتفاع، قطر ساقه، ارتفاع اولین گره، سطح برگ، تعداد برگ (جدول‌های ۶ و ۷) و همچنین بر وزن خشک کل و کارایی مصرف آب آبیاری داشت (جدول ۸).

ارتفاع بوته، قطر ساقه و ارتفاع اولین گره

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی نشان داد که بسترهای مورد استفاده، اثر معنی‌داری بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و ارتفاع اولین گره داشتند (شکل ۱). در تمام مراحل اندازه‌گیری (۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز بعد از کاشت) بین دو بستر ماسه-کوکوپیت و پرلیت-کوکوپیت، از لحاظ صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و ارتفاع اولین گره تفاوت معنی‌دار دیده نشد و هر دو در یک گروه قرار گرفتند. در تمام مراحل اندازه‌گیری، کمترین ارتفاع بوته، قطر ساقه و ارتفاع اولین گره مربوط به بستر پرلیت-ورمیکولیت بود.

زمانی یک ساعت اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج حاصل از وزن کردن گلدان‌های حاوی بستر، میزان از دست‌دهی رطوبت هر بستر در طی زمان، برای اعمال آبیاری تعیین گردید. محلول‌رسانی بر اساس ظرفیت نگهداری آب هر بستر، بلافاصله بعد از جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی شروع شد و تا ۴۵ روز ادامه پیدا کرد. از محلول پایه هوگلند (جدول ۴) استفاده گردید. علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی، pH و EC هر بستر نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۵). مقدار pH و EC برای تمامی بسترها، به‌روش (Awang *et al.*, 2009) محاسبه شد (در این روش جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، نسبت بستر به آب ۱: ۲ می‌باشد).

صفات اندازه‌گیری شده در گیاهان

کلیه صفات در طی دوره پرورش نشاء، سه مرتبه و به‌فاصله هر ۱۵ روز اندازه‌گیری شدند. در هر تخریب، تعداد ۳ گیاهچه از هر واحد آزمایشی انتخاب و ماده خشک برگ، ساقه و ریشه و سطح برگ آن‌ها اندازه‌گیری شد.

ارتفاع، قطر، ارتفاع اولین گره و تعداد برگ

ارتفاع و ارتفاع اولین گره هر نشاء، بر حسب سانتی‌متر و با استفاده از خط‌کش از سطح بستر تا مریستم انتهایی و محل اولین گره، اندازه‌گیری شد. همچنین قطر ساقه در ۱ سانتی‌متری بالای برگ‌های لپه‌ای، با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. تعداد برگ‌های هر گیاه، در هر بار اندازه‌گیری شمارش و ثبت گردید.

وزن خشک کل و سطح برگ

پس از انتقال گیاهان به آزمایشگاه، به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ، برگ‌های هر بوته از ساقه جدا شده و سپس سطح آن‌ها با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ^۱ مدل CI-20 ساخت شرکت CID آمریکا اندازه‌گیری شد. در نهایت، کل اندام گیاه در داخل پاکت‌های مقوایی قرار گرفته و داخل آون به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

جدول ۱. بسترهای دارای خصوصیات فیزیکی (ظرفیت نگهداری آب، حجم هوای مؤثر و خلل و فرج مؤثر) یکسان
Table 1. Substrates with the same physical properties (water-holding capacity, effective air-filled pore space and effective air space)

Treatments	Water Holding Capacity (%)	Effective Air Filled Pore Space (%)	Effective Pore Space (%)
Perlite – Cocopeat (20:80)	65.62	8.66	74.28
Sand – Cocopeat (20:80)	64.96	7.89	72.85
Perlite – Vermiculite (30:70)	60.38	8.05	68.44

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی ۵۰ بستر ترکیبی و خالص
Table 2. Means comparison of physical properties of 50 mixed and pure media

Effective Pore Space (%)	Mixed media	Effective Air Filled Pore Space (%)	Mixed media	Water holding capacity (%)	Mixed media
86.10a	23	23.50 a	33	79.92a	23
86.08a	55	32.50 a	33	79.68a	55
82.03ab	24	32.50a	43	74.91ab	24
76.50a-c	26	32.50a	44	67.63a-c	54
76.28a-c	25	32.50a	11	67.62a-c	25
75.39a-d	27	32.00ab	10	67.31a-c	26
74.16a-e	54	32.00ab	42	64.08 a-c	12
73.06a-f	28	31.50ab	41	64.98 a-d	13
72.85a-f	53	31.50ab	9	64.96 a-d	53
72.34a-f	29	30.49a-c	8	64.06a-d	27
71.24a-g	12	30.00a-d	40	62.20 b-e	14
70.92a-g	17	29.50a-d	7	61.30 b-e	52
70.49a-h	30	29.50a-d	21	60.89 b-e	28
70.25a-h	52	29.00b-e	38	60.38b-e	15
70.17a-h	16	29.00b-e	39	59.93b-f	16
70.00a-h	13	28.12c-f	6	57.92c-g	17
68.49b-i	31	27.50cd-g	37	57.41c-g	51
68.44b-i	15	27.00d-h	36	56.55c-g	29
68.25b-i	14	27.00d-h	5	51.70c-h	30
68.22b-i	51	26.25e-i	4	51.09 c-h	18
68.08b-i	18	25.62fg-j	32	49.48d-i	50
66.95b-i	19	25.50fg-j	35	47.19e-j	31
65.78b-j	20	25.00g-j	45	45.95e-k	19
64.01b-j	32	25.00g-j	34	43.64f-l	49
62.56c-j	21	24.50g-j	3	41.78g-m	20
60.74c-l	50	24.00h-k	20	38.39h-n	32
60.56c-l	2	23.50i-k	2	38.02h-n	48
60.23c-l	1	33.44i-k	46	37.48h-n	1
58.63d-m	5	22.75jk	1	37.06 h-n	2
58.37d-m	4	21.30kl	31	33.5 i-o	3
58.06d-m	3	21.00kl	19	33.6 j-p	21
57.91d-m	6	19.02lm	47	32.12 j-q	4
57.91d-m	33	18.78l-n	30	31.64j-q	5
57.91d-m	22	17.00m-o	18	30.07k-r	47
57.91d-m	44	15.79n-p	29	29.78k-r	6
57.91d-m	11	15.20o-q	48	28.36 l-s	7
57.86d-m	7	13.55p-r	49	27.27l-s	8
57.77e-m	8	13.00p-s	17	26.25m-t	9
57.84e-m	9	12.17q-t	28	25.72m-t	10
57.72e-m	10	11.32 r-u	27	25.55m-t	46
57.19e-n	49	10.85r-v	50	25.41m-t	44
56.46g-n	43	10.82r-v	51	25.41m-t	33
54.41 g-n	42	10.32s-v	16	25.41m-t	22
53.22h-o	48	9.19t-w	26	25.41m-t	11
51.78i-p	41	8.94u-x	52	23.96 n-t	43
49.10j-p	40	8.66u-x	25	22.41n-t	42
49.09 j-p	47	8.05v-y	15	20.28o-t	41
48.99 j-p	46	7.89v-y	53	19.09o-t	40
45.83k-p	39	7.12w-z	24	16.83p-t	39
44.79l-p	38	6.52w-z	54	15.79q-t	38
41.78m-p	37	6.21w-z	55	14.37r-t	37
39.77 n-p	36	6.19w-z	23	12.77st	36
36.00 op	35	6.05x-z	14	10.51t	35
35.25op	45	5.02yz	13	10.25t	45
35.21p	34	4.16z	12	10.21t	34

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون LSD دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

** از شماره ۱ تا ۱۱ بسترهای ترکیبی پرلیت-درشت-پرلیت متوسط (۰-۱۰۰، ۱۰-۱۰۰، ۲۰-۸۰، ۳۰-۷۰، ۴۰-۶۰، ۵۰-۵۰، ۶۰-۴۰، ۷۰-۳۰، ۸۰-۲۰، ۹۰-۱۰، ۱۰۰-۰)، و به همین ترتیب از شماره ۱۲ تا ۲۲ پرلیت-درشت-ورمیکولیت، از شماره ۲۳-۳۳ پرلیت-درشت-کوکوپیت، از شماره ۳۴ تا ۴۴ پرلیت-درشت-ماسه، از شماره ۴۵ تا ۵۵ کوکوپیت - ماسه.

* In each column, means with the same letters are not different according to LSD test.

** From 1 to 11 are mixed media containing coarse perlite- medium perlite with volumetric mixing ratio of: (0-100, 10-90, 20-80, 30-70, 40-60, 50-50, 60-40, 70-30, 80-20, 90-10, 100-0 respectively.), 12-22 coarse perlite-vermiculite, 23-33 coarse perlite-cocopeat, 34-44 coarse perlite- sand, and 45-55 cocopeat-sand.

جدول ۳. میزان آب بافری (WBC) و آب سهل الوصول (EAW) در بسترهای مورد مطالعه

Table 3. The amount of water buffering capacity and easily available water on studied media

Treatments	EAW%	WBC%
Perlite – Cocopeat (20:80)	49	16
Sand – Cocopeat (20:80)	57	7
Perlite – Vermiculite (30:70)	36	24

جدول ۴. محلول غذایی هوگلند

Table 4. Hoagland plant nutrient solution

Elements	N	K	Ca	P	S	Mg	B	Fe	Mn	Zn	Cu	Mo
Concentration (ppm)	210	235	200	31	64	48	0.5	1-5	0.5	0.05	0.02	0.01

جدول ۵. هدایت الکتریکی (EC) و pH بسترهای کشت استفاده شده در آزمایش‌های گلخانه‌ای

Table 5. EC and pH of growing media used in greenhouse experiments

Media	Perlite-vermiculite (30:70)	Sand-cocopeat (20:80)	Perlite-cocopeat (20:80)
pH	7.5	7	7.3
EC (mmohs/cm)	3.7	1.6	1.9

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر صفات رویشی نشاء گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

Table 6. Results of variance analysis of the effects of treatments on vegetatives traits of greenhouse tomato transplant

Source	df	Mean square					
		Dimeter 15 days post planting	Dimeter 30 days post planting	Dimeter 45 days post planting	Height 15 days post planting	Height 30 days post planting	Height 45 days post planting
Treatment	2	0.47**	0.38**	1.55**	124.55**	355.32**	841.62**
Block	2	0.00008	0.00009	0.002	0.41	0.40	13.29
Block × Treatment	4	0.0002	0.02	0.02	0.47	4.33	7.76
Residual	18	0.02	0.02	0.04	6.9	39.61	36.67
Total	26	0.49	0.47	1.22	132.34	399.68	899.25
C.V.		14.82	13.44	8.71	14.19	16.98	9.1

***, **, *, ns: نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

***, **, *, ns: significantly differences at 1 and 5% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر صفات رویشی نشاء گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

Table 7. The results of variance analysis of the effects of treatments on vegetatives traits of greenhouse tomato transplant

SOV	df	Mean square					
		Leaf number 15 days post planting	Leaf number 30 days post planting	Leaf number 45 days post planting	Height of the first node 15 days post planting	Height of the first node 30 days post planting	Height of the first node 45 days post planting
Treatment	2	13.55**	28.74**	90.88**	1.45**	5.87**	7.61**
Block	2	0.66	0.51	2.00	0.003	0.05	0.07
Block × Treatment	4	2.44	0.81	1.11	0.003	0.12	0.60
Residual	18	18.00	14.00	14.66	0.08	0.80	1.97
Total	26	34.66	44.07	108.66	1.54	6.85	10.37
C.V.		39.13	21.07	13.31	11.82	14.69	22.21

***, **, *, ns: نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

***, **, *, ns: significantly differences at 1 and 5% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.

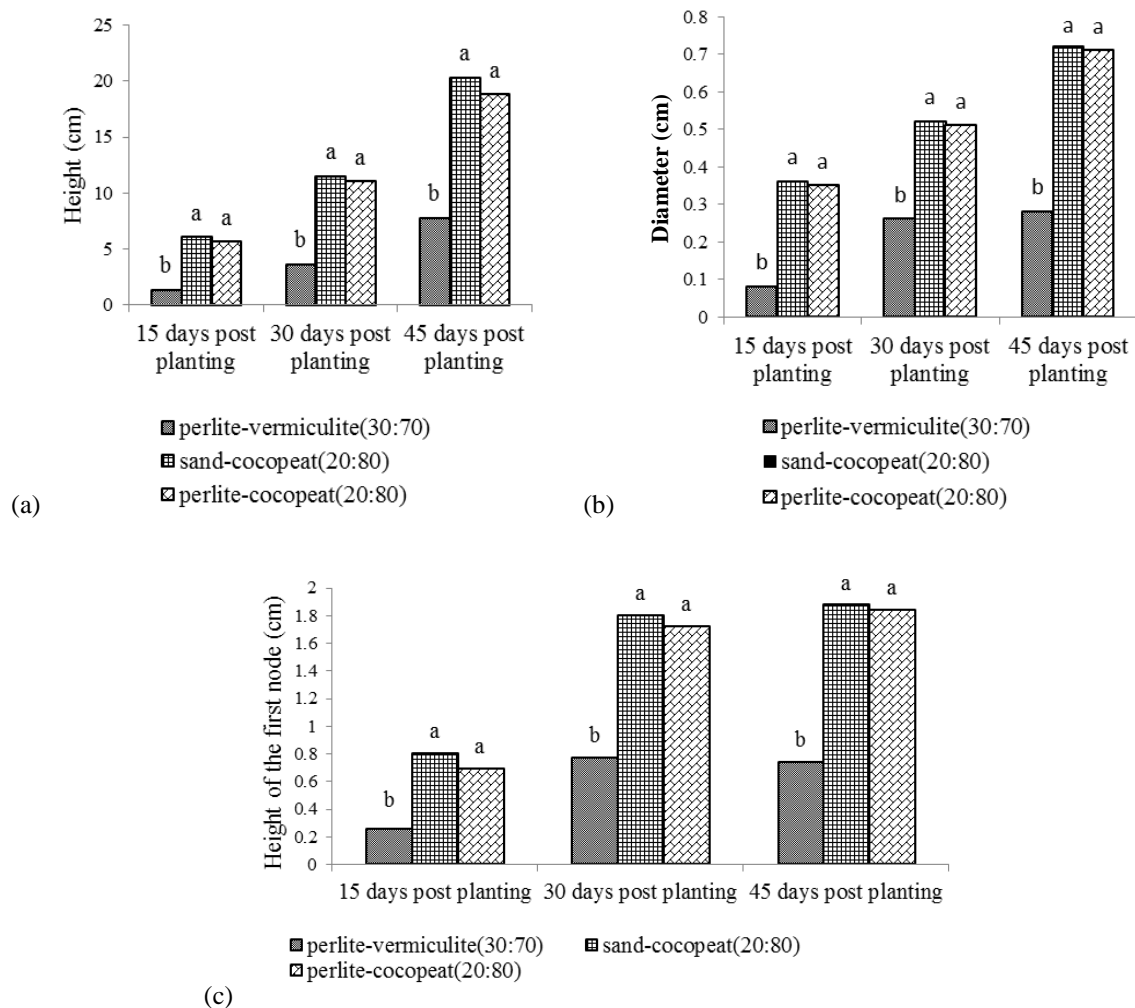
جدول ۸. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر کارایی مصرف آب آبیاری و صفات رویشی نشاء گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

Table 8. Results of variance analysis of the effects of treatments on irrigation water use efficiency and vegetatives traits of greenhouse tomato transplant

SOV	df	Mean square						
		Total dry weight 15 days after planting	Total dry weight 30 days after planting	Total dry weight 45 days after planting	Leaf area 15 days post planting	Leaf area 30 days post planting	Leaf area 45 days post planting	Irrigation water use efficiency
Treatment	2	243235.18**	2384467.63**	20849548.22**	0.00004**	0.003**	0.007**	3.55**
Block	2	322.29	389.85	12872.67	0.0000004	0.000002	0.0000002	0.002
Block × Treatment	4	122.37	892.37	52441.11	0.0000003	0.00001	0.00001	0.01
Residual	18	7107.33	64183.33	249606.67	0.000004	0.0001	0.00006	0.05
Total	26	250787.18	2449933.18	21164468.67	0.00005	0.003	0.007	3.36
C.V.		8.80	9.07	6.6	11.57	14.09	5.94	6.47

***, **, *, ns: نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

***, **, *, ns: significantly differences at 1 and 5% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر بسترهای کشت بر ارتفاع بوته (a)، قطر ساقه (b) و ارتفاع اولین گره (c) نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای
Figure 1. Mean comparisons of the effect of growing substrates on height (a), diameter (b) and height of the first node (c) of greenhouse tomato transplants

وزن خشک کل

نتایج حاصل از داده‌های آماری نشان داد در هر سه مرحله اندازه‌گیری، بیشترین وزن خشک کل (۲۶۰۷/۶۷ میلی‌گرم)، مربوط به بستر ماسه-کوکوپیت بود. همچنین کمترین وزن خشک کل (۵۶۵/۴۴ میلی‌گرم)، در بستر پرلیت-ورمیکولیت مشاهده شد (شکل ۳). اختلاف بین بسترها در مقدار وزن خشک کل، در مراحل ابتدایی رشد کم بود و باگذشت زمان، این اختلاف آشکارتر گردید.

کارایی مصرف آب آبیاری (IWUE)^۱

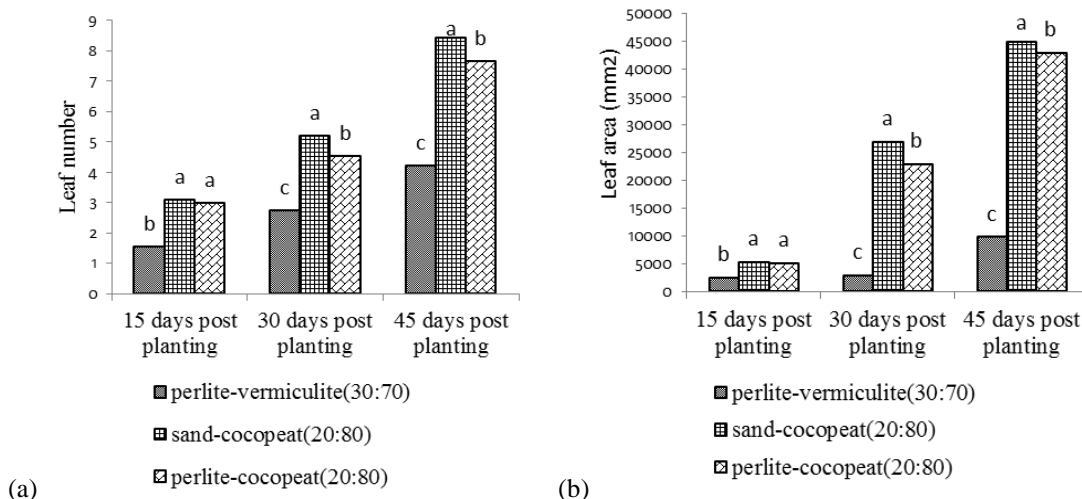
نتایج آزمایش در بسترهای مختلف، اختلاف معنی‌داری

سطح برگ و تعداد برگ

اندازه‌گیری سطح برگ و تعداد برگ در مراحل مختلف نشان داد که بین بسترها تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد، بین بستر ماسه-کوکوپیت و پرلیت-کوکوپیت در ۱۵ روز اول کاشت، تفاوتی دیده نمی‌شود و بیشترین تعداد و سطح برگ در این دو بستر مشاهده می‌گردد. اندازه‌گیری تعداد و سطح برگ، ۳۰ و ۴۵ روز بعد از کاشت نشان داد که بین تمام بسترها، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به‌طور کلی، در انتهای آزمایش، بستر ماسه-کوکوپیت دارای بیشترین و بستر پرلیت-ورمیکولیت دارای کمترین سطح و تعداد برگ بودند.

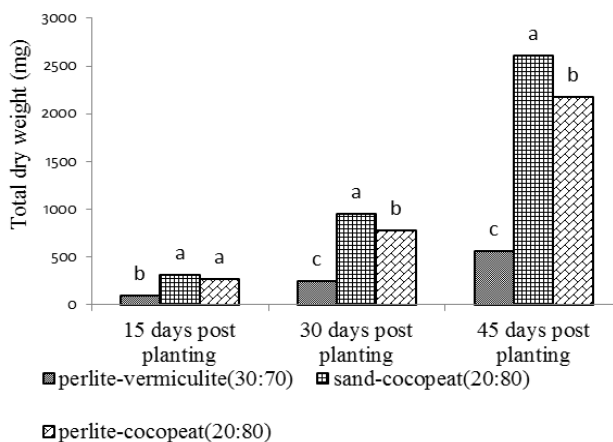
ماسه کوکوپیت داشت. همچنین کمترین کارایی مصرف آب آبیاری، معادل ۰/۳۴ گرم ماده خشک بر لیتر، محلول مصرفی (بهزای مصرف ۱/۶۴ لیتر آب برای هر گیاه در طول دوره پرورش)، در بستر پرلیت-ورمیکولیت مشاهده شد (جدول ۹).

در کارایی مصرف آب آبیاری نشان داد (جدول ۹). تمام بسترها به لحاظ IWUE با یکدیگر تفاوت داشتند. بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری، معادل ۱/۱۷ گرم ماده خشک بر لیتر، محلول مصرفی (بهزای مصرف ۲/۲۱ لیتر آب برای هر گیاه تا پایان دوره پرورش نشا) را بستر



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر صفات تعداد برگ (a) و سطح برگ (b)

Figure 2. Mean comparisons of the effect of treatments on the number of leaves (b) and leaf area (a) characteristics.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر بسترها بر وزن خشک کل

Figure 3. Mean comparisons of the effect of treatments on plant total dry weight.

جدول ۹. میانگین کارایی مصرف آب آبیاری و میزان آب مصرف شده در بسترهای مختلف در طی دوره پرورش (۴۵ روز) نشای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

Table 9. Mean of irrigation water-use-efficiency and the amount of water used during growing period (45 days) of greenhouse tomato transplants

Treatment	Water used (Liters per plant)	Total dry weight (g)	IWUE (g/l)
Sand-cocopeat	2.21a	2.58a	1.17a
Perlite-cocopeat	2.12a	2.16b	1.02b
Perlite-vermiculite	1.64b	0.56c	0.34c

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون LSD معنی‌دار نیستند.

* In each column, means with the same letters are not significant according to LSD.

بحث

نتایج نشان داد که گیاهان پرورش یافته در بستر پرلیت-ورمیکولیت، نسبت به سایر بسترها دارای رشد و کیفیت کمتری هستند. نتایج حاصل از اندازه گیری خصوصیات شیمیایی بسترها (جدول ۵)، نشان داد که بستر پرلیت-ورمیکولیت دارای هدایت الکتریکی بالایی ($3/7$ میلی موس بر سانتی متر) است. ورمیکولیت، بسته به اندازه ذرات و فرآیند جداسازی اجزای مضر نظیر کلراید و سدیم، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی متنوعی نشان می دهد (Handreck & Black, 2002). به نظر می رسد که رشد گیاهان پرورش یافته در این بستر، بیشتر تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی نامناسب ورمیکولیت ایرانی قرار گرفته و هدایت الکتریکی بالای این بستر، بر خصوصیات فیزیکی آن غالبیت داشته است که در نهایت منجر به کاهش رشد و عملکرد در این بستر گردیده است.

با توجه به یکسان بودن خصوصیات شیمیایی و فیزیکی (ظرفیت نگهداری آب بستر، حجم هوای مؤثر و خلل و فرج مؤثر) در دو بستر پرلیت-کوکوپیت و ماسه-کوکوپیت، انتظار بر این بود تا رشد و عملکرد نشای گوجه فرنگی، در این دو بستر مشابه باشد؛ در حالی که این اتفاق نیفتاد. سطح برگ، تعداد برگ، وزن خشک کل و کارایی مصرف آب آبیاری در بستر ماسه-کوکوپیت نسبت به بستر پرلیت-کوکوپیت برتری معنی داری داشت. قبلاً مشخص شده است نیاز گیاه به تهویه مناسب در محیط ریشه، به میزان کل اکسیژن بستگی ندارد؛ بلکه به مقدار اکسیژن در دسترس بستگی دارد و به عبارت دیگر ممکن است حتی در شرایط اکسیژن بالا در محیط ریشه، باز هم گیاه با کمبود اکسیژن مواجه گردد (Mazari *et al.*, 2016). Hada (2007)، گزارش کرد که سرعت رشد گیاهان، وزن تازه ریشه و برگ، قطر و ارتفاع گیاهان پرورش یافته در بستر ماسه، در مقایسه با بستر پرلیت و پامیس برتری چشم گیری داشته است. اکسیژن در دسترس برای گیاه، بر اساس سرعت انتشار اکسیژن از منافذ به سطح ریشه تخمین زده می شود (Raviv & Blom, 2001). اکسیژن موجود در منافذ بستر، به دو صورت محلول و گاز موجود می باشد، اگرچه ریشه گیاهان فقط اکسیژن محلول در آب را مصرف می کنند، بنابراین سرعت انتشار اکسیژن در بستر،

به شدت به مقدار آب بستر وابسته است. Allaire *et al.* (1996) گزارش کردند که رشد *Prunus x Cistena* در بسترهای مختلف پیت، به درصد حجم هوا وابسته نبوده، بلکه کاملاً وابسته به ORD^1 بوده است. در این پژوهش، اگرچه حجم هوای مؤثر در تمام بسترها یکسان بود (جدول ۱)؛ اما با توجه به میزان آب مصرف شده بیشتر در بستر ماسه-کوکوپیت (جدول ۹)، احتمالاً سرعت انتشار اکسیژن در بستر ماسه-کوکوپیت نسبت به بستر پرلیت-کوکوپیت بیشتر بوده، که نتیجه آن، ایجاد شرایط بهینه برای ریشه و در نتیجه افزایش وزن خشک کل، سطح برگ و تعداد برگ و در نتیجه بهبود کارایی مصرف آب آبیاری در این بستر بوده است. حجم هوای متفاوت در بسترها، می تواند به شدت بر کارایی مصرف آب آبیاری تأثیر بگذارد (Mazari *et al.*, 2016). در مجموع، عواملی که بر کارایی مصرف آب اثر می گذارند، شامل آب، دی اکسید کربن، دمای هوا، گونه گیاهی، آرایش برگ ها و رفتار روزنه ای، نوع مسیر فتوسنتزی و عوامل خاکی هستند (Stanhill, 1986).

با توجه به اینکه آبیاری گیاهان، بر اساس خصوصیات فیزیکی خاص هر بستر انجام شد، گیاهان رشد یافته در بستر ماسه-کوکوپیت، به دلیل رشد بهتر و در نتیجه جذب آب بیشتر، نیازمند آبیاری در فواصل زمانی کوتاه تری بودند، بنابراین، مقدار کل آب استفاده شده در این بستر، ناگزیر بیشتر شد، هر چند بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری نیز در این بستر حاصل گردید. از طرفی، مقدار ماده خشک تولید شده در بستر پرلیت-کوکوپیت در مقایسه با بستر ماسه-کوکوپیت و همچنین مقدار آب مصرف شده در این بستر، به دلیل میزان آب سهل الوصول کمتر و میزان آب بافاری بیشتر، کاهش یافت. خصوصیات شیمیایی نامناسب بستر پرلیت-ورمیکولیت نیز سبب شد تا رشد گیاهان در این بستر بهینه نباشد و کمترین مقدار ماده خشک در این بستر حاصل گردد.

بنا به نظر Raviv *et al.* (2001)، رابطه بین پتانسیل ماتریک (Ψ_m)^۲ و مقدار آب موجود در بستر، جهت

1. Oxygen Diffusion Rate
2. Matric potential

Prasad & Chualain, 2004; Michiels *et al.*, 1992). نتایج به دست آمده بر این نکته تأکید دارد که خصوصیات فیزیکی اصلی، که به طور مستقیم روی رشد گیاه اثرگذارند و اغلب مبنای تشابه بسترهای کشت قرار می‌گیرد، به تنهایی معیار مناسبی جهت انتخاب بستر کشت نمی‌باشند و لازم است خصوصیات فیزیکی فرعی، که تأثیر بسزایی بر رشد و عملکرد گیاه دارند نیز مورد ارزیابی قرار گیرند. به طور کلی، مقدار آب سهل‌الوصول بیشتر در بستر ماسه-کوکوپیت و احتمالاً سرعت انتشار اکسیژن بالاتر و پتانسیل ماتریک بیشتر (کمتر منفی) در این بستر نسبت به سایر بسترها، منجر به افزایش رشد، عملکرد و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب آبیاری در این بستر شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که رشد، عملکرد و حتی کارایی مصرف آب آبیاری در بسترهای دارای ویژگی‌های فیزیکی اصلی یکسان شامل: ظرفیت نگهداری آب، حجم هوای مؤثر و خلل و فرج مؤثر، می‌تواند متفاوت باشد و به این دلیل نیز، بهترین رشد و کارایی مصرف آب آبیاری، در بستر ماسه-کوکوپیت که دارای میزان آب سهل‌الوصول بالاتری بود، حاصل گردید. این موضوع نشان می‌دهد که علاوه بر صفات فیزیکی شاخص (ظرفیت نگهداری آب بستر، حجم هوای مؤثر و خلل و فرج مؤثر)، که اغلب مبنای اصلی برای تشابه بسترها قرار می‌گیرند، خصوصیات و ویژگی‌های دیگری نیز از قبیل میزان آب سهل‌الوصول، هدایت هیدرولیکی، پتانسیل ماتریک، سرعت انتشار اکسیژن و ویژگی‌های بارز شیمیایی، باید مورد توجه قرار گیرند. در این آزمایش، کمترین رشد، در بستر با هدایت الکتریکی بالا به دست آمد که با احتمال و قوت زیادی می‌توان آن را ناشی از دخالت خواص شیمیایی بر سیستم دانست، چراکه مختصات فیزیکی و روابط آبی بسترها، تا حد زیادی مشابهت داشتند. تحقیقات بیشتری لازم است تا مشخص شود هنگام تهیه بسترهای ترکیبی، کدام خواص فیزیکی یا شیمیایی اجزا و ترکیب نهایی، اولویت و تقدم بیشتری را دارا می‌باشند.

پی‌بردن به میزان آب در دسترس برای گیاه ضروری است. مقدار پتانسیل ماتریک در بسترهای کشت بین ۰/۰۱- مگا پاسکال (ظرفیت نگهداری آب) تا ۰/۱- مگا پاسکال (نقطه پژمردگی دائم) است، هرچه میزان آن منفی‌تر شود جذب آب توسط گیاه مشکل‌تر می‌گردد. محدودیت در جذب آب، سبب کاهش پتانسیل آب برگ و در نتیجه محدودیت رشد برگ و اندام هوایی می‌گردد (Raviv *et al.*, 2001). در این آزمایش اگرچه تمام بسترها دارای ظرفیت نگهداری آب یکسانی بودند (جدول ۱) و در طول آزمایش مقدار آب موجود در بسترها، همواره در حالت ظرفیت نگهداری آب بود، اما نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان آب سهل‌الوصول (مقدار آبی که در مکش ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر از بستر خارج می‌شود) و آب بافری (مقدار آبی که در مکش ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر از بستر خارج می‌شود و گیاه برای جذب آن، نیاز به صرف انرژی بیشتری دارد و جذب آن سخت‌تر است) در بسترهای مختلف (جدول ۳)، نشان داد که بستر ماسه-کوکوپیت به طور قابل توجهی نسبت به سایر بسترها، دارای میزان آب سهل‌الوصول بیشتری هست و میزان آب بافری آن نیز در محدوده مناسبی قرار گرفته است؛ در حالی که میزان آب سهل‌الوصول در دو بستر دیگر پایین‌تر بود و در عوض، مقدار آب بافری در آن‌ها بیشتر بود؛ بنابراین به نظر می‌رسد که رشد نشای گوجه‌فرنگی در بسترهای مختلف، تحت تأثیر مقدار آب سهل‌الوصول بسترها قرار گرفته است. Prasad & Chualain (2004) با اندازه‌گیری میزان آب سهل‌الوصول در بسترهای پرلیت و ماسه، که دارای اندازه ذرات یکسانی بودند، گزارش کردند که میزان آب سهل‌الوصول ماسه بیشتر از پرلیت است. میزان آب سهل‌الوصول در بسترهای کشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تأثیر بسزایی در رشد و عملکرد نهایی گیاه دارد (Benito *et al.*, 2005). ویژگی‌هایی که به طور مستقیم روی رشد گیاه اثر گذارند شامل چگالی بستر، چگالی ذرات، ظرفیت نگهداری آب و تخلخل کل بستر می‌باشند (Allaire *et al.*, 1996). همچنین ویژگی‌هایی که به طور غیرمستقیم روی رشد گیاه اثرگذارند شامل مقدار اکسیژن در دسترس و پتانسیل ماتریک بستر می‌باشند

REFERENCES

1. Abuarab, M., Mostafa, E. & Ibrahim, M. (2013). Effect of air injection under subsurface drip irrigation on yield and water use efficiency of corn in a sandy clay loam soil. *Journal of Advanced Research*, 4(6), 493-499.
2. Allaire, S. E., Caron, J., Duchesne, I., Parent, L. É. & Rioux, J. A. (1996). Air-filled porosity, gas relative diffusivity, and tortuosity: Indices of *Prunus × Cistena* sp. growth in peat substrates. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(2), 236-242.
3. Awang, Y., Shaharom, A. S., Mohamad, R. B. & Selamat, A. (2009). Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. *American journal of agricultural and biological sciences*, 4(1), 63-71.
4. Barker, A. V. & Pilbeam, D. J. (Eds.). (2015). *Handbook of plant nutrition*. Chemical Rubber Company press.
5. Benito, M., Masaguer, A., De Antonio, R. & Moliner, A. (2005). Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresource technology*, 96(5), 597-603.
6. Bilderback, T. E., Fonteno, W. C. & Johnson, D. R. (1982). Physical properties of media composed of peanut hulls, pine bark, and peatmoss and their effects on azalea growth. *Journal American Society for Horticultural Science*, 107(3), 522-525.
7. Bowman, D. C., Evans, R. Y. & Paul, J. L. (1990). Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(3), 382-386.
8. De Boodt, M., Verdonck, O., (1972). The physical properties of substrates in horticulture. *Acta Horticult*, 26, 37-44.
9. DIN, EN. (2012). 13041. *Soil Improvers and growing media—Determination of physical properties—Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space*. German Version prEN, Beuth, Berlin/Cologne.
10. Fei, C., Zhaohui, S., Yuguo, Z. & Shijun, L. (2001). Analysis of physical and chemical properties of reed residue substrate. *Journal-Nanning Agricultural University*, 24(3), 19-22.
11. Gruda, N. (2005). *Growth and quality of vegetables in peat substitute growing media*. Ph.D. Diss., Humboldt University, Berlin, Germany.
12. Haddad, M. (2007). Effect of three substrates on growth, yield and quality of tomato by the use of geothermal water in the south of Tunisia. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 5(2), 175.
13. Handreck, K. A. & Black, N. D. (2002). *Growing media for ornamental plants and turf*. UNSW press.
14. Kang, J. Y., Lee, H. H. & Kim, K. H. (2001, September). Physical and chemical properties of inorganic horticultural substrates used in Korea. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 644* (pp. 237-241).
15. Mazari, H., Delshad, M. & Kasha, A. (2016). Study of the effect of substrates with different effective air-filled pore space on greenhouse tomato transplant growth. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(3), 407-419. (in Farsi)
16. Merhaut, D. J. (2007). *Handbook of plant nutrition*. Elsevier press.
17. Michiels, P., Hartmann, R. & Coussens, C. (1992, September). Physical properties of peat substrates in an ebb/flood irrigation system. In *International Symposium on Horticultural Substrates other than Soil in situ 342* (pp. 205-220).
18. Milks, R. R., Fonteno, W. C. & Larson, R. A. (1989). Hydrology of horticultural substrates. II. Predicting physical properties of media in containers. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
19. Pill, W. G. & Goldberger, B. C. (2009). Growth of Tomato in Biosolids–Woodchip Co-compost with Varying Proportions of Peat Moss and Perlite Subjected to Two Fertilization Regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(15-16), 2440-2459.
20. Prasad, M. (1979). Physical properties of media for container-grown crops. I. New Zealand peats and wood wastes. *Scientia Horticulturae*, 10(4), 317-323.
21. Prasad, M. & Chualáin, D. N. (2004). Relationship between particle size and air space of growing media. *Acta Horticulturae*, 161-166.
22. Raviv, M. & Blom, T. J. (2001). The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Scientia Horticulturae*, 88(4), 257-276.
23. Raviv, M., Lieth, J. H. & Wallach, R. (2000, May). The effect of root-zone physical properties of coir and UC mix on performance of cut rose (cv. Kardinal). In *World Congress on Soilless Culture: Agriculture in the Coming Millennium 554* (pp. 231-238).
24. Raviv, M., Wallach, R., Silber, A. & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their analysis. Hydroponic production of vegetables and ornamentals.

25. Roosta, H. R. & Afsharipoor, S. (2012). Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysiological traits and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Advances in Environmental Biology*, 6(2), 543-555.
26. Shinohara, Y., Hata, T., Maruo, T., Hohjo, M. & Ito, T. (1997, May). Chemical and physical properties of the coconut-fiber substrate and the growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 481* (pp. 145-150).
27. Silber, A. & Bar-Tal, A. (2008). Nutrition of substrate-grown plants. *Soilless Culture Theory and Practice*. M. Raviv and H. Lieth (eds.) Ed. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. pp, 291-339.
28. Stanhill, G. (1986). Water use efficiency. *Advances in Agronomy*, 39, 53-85.
29. Verdonck, O. & Demeyer, P. (2001, September). The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. In: *International Symposium on Growing Media and Hydroponics 644* (pp. 99-101).
30. Wallach, R. (2008). Physical characteristics of soilless media. *Soilless culture: theory and practice, 1st edn. Elsevier, Amsterdam*, 41-116.
31. Wilson, G. C. S. (1985, June). Tomato production in different growing media. In: *Symposium on Nutrition, Growing Techniques and Plant Substrates 178* (pp. 115-120).