مقاله پژوهشی

بررسی اثرات بسترهای آلی روی پارامترهای عملکردی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی در گیاهچه‌های کاهو (*Lactuca sativa*)

فرنوش رستمی[۱]، رضا صالحی‌محمدی (نویسنده مسئول)[۲*]، علی محمدی‌ترکاشوند[۳]، پژمان مرادی[۴] و سپیده کلاته‌جاری[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغی وزراعی، دانشکده کشاورزی و علوم صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، frnwshrstmy@gmail.com

۲*- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، salehir@ut.ac.ir

۳- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و علوم صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، m.torkashvand54@yahoo.com

۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران، pjmoradi@gmail.com

۵- استادیار، گروه علوم باغی وزراعی، دانشکده کشاورزی و علوم صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، kalatejari@yahoo.com

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۱

Investigating the effects of organic substrates on yield, physiological and photosynthetic parameters in lettuce (*Lactuca sativa*) seedlings

Farnoush Rostami [1], Reza Salehi Mohammadi (Corresponding author)[2*], Ali mohammadi torkashvand [3], Pejman Moradi[4] and Sepideh kalatejari[5]

1- Ph.D student, Department of Horticulture and Agronomy, Faculty of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. frnwshrstmy@gmail.com

2*- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran. salehir@ut.ac.ir

3- Associate professor, Department of Horticulture and Agronomy, Faculty of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. m.torkashvand54@yahoo.com

4- Associate professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran. pjmoradi@gmail.com

5- Assistant Professor, Department of Horticulture and Agronomy, Faculty of Agriculture and Food Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. kalatejari@yahoo.com

Received: October 2022 Accepted: December 2022

Abstract

One of the factors involved in the high quality production of vegetable seedlings is the type of cultivation medium. In the present study, the effects of Cocopeat, Nipeat, and perlite on the morphological, physiological traits, and photosynthetic performance of lettuce seedlings were studied in the form of randomized complete block design. After preparation, the seeds were cultivated in 6 culture beds including 1) 100% cocopeat (CP_{100}); 2) 100% Nipeat (NP_{100}); 3) 50% Cocopit+50% Nipeat (CP_{50}+NP_{50}); 4) 25% cocopeat + 50% Nipeat + 25% Perlite ($CP_{25}NP_{50}P_{50}$); 5) 50% Nipeat +50% Perlite (NP_{50}+P_{50}); 6) 70% Nipeat + 30% Perlite (NP_{70}+P_{30}). At first, germination indicators such as the germination percentage and rate of lettuce seeds were calculated and after the seedlings reached the stage of transfer to the field, the morphological, physiological and chlorophyll fluorescence characteristics were investigated. The results indicated a high vegetative performance of lettuce seedlings in the CP_{100} treatment, but in the substrates containing perlite, a decrease in all the studied morphological traits and photosynthesis performance was observed. The highest amount of chlorophyll a, b and total, carotenoids and relative content of leaf water and the lowest amount of proline were reported in CP_{100} culture medium. Therefore, in general, it can be concluded that using 100% cocopeat can lead to better growth of lettuce seedlings.

Keywords: Cocopeat, Lettuce, Nipeat, Perlite, Substrate

چکیده

یکی از عوامل دخیل در تولید با کیفیت نشاءهای سبزی‌ها نوع بستر کشت می‌باشد. در پژوهش حاضر، اثرات بسترهای کشت کوکوپیت، نی‌پیت و پرلیت بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد فتوسنتزی گیاهچه‌های کاهو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی **مطالعه شد. بذور گیاهان بعد از تهیه در ۶ بستر کشت شامل ۱۰۰ درصد کوکوپیت (CP_{100})؛ ۱۰۰ درصد نی‌پیت (NP_{100})؛ ۵۰ درصد کوکوپیت+۵۰ درصد نی‌پیت (CP_{50}+NP_{50})؛ ۲۵ درصد کوکوپیت+۵۰درصد نی‌پیت+ ۲۵ درصد پرلیت ($CP_{25}NP_{50}P_{50}$)؛ ۵۰ درصد نی‌پیت+۵۰ درصد پرلیت (NP_{50}+P_{50})؛ ۷۰درصد نی‌پیت+ ۳۰ درصد پرلیت (NP_{70}+P_{30}) کشت شدند. در ابتدا، شاخص‌های جوانه‌زنی همچون درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور کاهو محاسبه و پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله انتقال به مزرعه صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و کلروفیل فلورسانس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از عملکرد بالای رویشی گیاهچه‌های کاهو در تیمار CP_{100} بود، اما در بسترهای حاوی پرلیت کاهش در کلیه صفات مورفولوژیکی و عملکرد فتوسنتز مطالعه شده مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئیدها و محتوای نسبی آب برگ و کمترین مقدار پرولین در محیط کشت CP_{100} گزارش** شد. بنابراین، به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از کوکوپیت ۱۰۰٪ می‌تواند منجر به رشد بهتر گیاهچه‌های کاهو شود.

کلمات کلیدی: پرلیت، سوبسترا، کاهو، کوکوپیت، نی پیت

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
سال ۱۴۰۱، دوره ۱۷، شماره ۳، صص ۵۲-۳۷

مقدمه و کلیات

کاهو (*Lactuca sativa* L.) یک سبزی برگی با ارزش است که در سطح جهانی کشت می‌شود. گونه‌ای خودگرده‌افشان و متعلق به خانواده Asteraceae می‌باشد. این سبزی، جایگاه ویژه‌ای در رژیم غذایی بسیاری از مردم جهان و از جمله ایران دارد. حساس‌ترین مرحله رشد گیاه، جوانه‌زنی می‌باشد که تأثیر قوی روی نمو گیاه در دیگر مراحل و در نهایت عملکرد گیاه دارد (Rifna *et al*., 2019). جوانه‌زنی کم و رشد نامطلوب گیاهچه منجر به کاهش شدید در عملکرد محصول نهایی می‌گردد (Soltani and Soltani, 2015). بنابراین، بسیار مهم است که عوامل مؤثر بر رشد گیاهچه کاهو مطالعه و بهینه‌سازی صورت گیرد. بستر کشت یکی از فاکتورهای مهم و موثر بر رشد گیاه از جمله مرحله رشد گیاهچه، است. در حال حاضر توجه زیادی به کشت و کاهو در بسترهای کاشت بدون خاک شده است (Liu and Xu, 2018). کنترل تغذیه گیاه، افزایش تراکم کاشت، کاهش بروز بیماری‌ها و آفات و افزایش کمیت و کیفیت محصول نسبت به کشت خاکی از مزایای مهم این دسته از محیط‌های کشت می‌باشند (Martinez and Abad, 1992). ظرفیت نگهداری آب بالا، تهویه مناسب، زهکشی خوب و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (CEC) از ضرورت‌های بستر کشت مناسب می‌باشد. محیط‌های کشت مختلف هر کدام حاوی مواد مختلفی هستند که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارند. بنابراین انتخاب محیط کشت مناسب در تولید محصولاتی مانند کاهو بسیار مهم است (جوانمردی، ۱۳۸۶). کوکوپیت (CP) ترکیبی است که از فرآوری پوسته‌های میوه نارگیل به دست می‌آید که از نظر فیزیکی مواد اسفنجی و شبیه ذغال سنگ نارس است که از نسبت‌های مساوی لیگنین و سلولز تشکیل شده است و در سال‌های اخیر به طور گسترده در صنعت باغبانی در اروپا، استرالیا، ایالات متحده و کانادا استفاده شده است (Noguera *et al*., 2000). پرلیت آلومینوسیلیکاتی با منشا آتشفشانی است و ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی ندارد. پرلیت موجب افزایش زهکشی محیط کشت و بهبود تهویه آن می‌شود. تولید موفق محصولات زراعی در کشت بدون خاک در گلخانه‌ها مستلزم ذخیره کافی مواد مغذی در محیط‌های کشت مختلف در هر مرحله از رشد گیاه است (BÃ¶hme, 1994). باگاس یک ماده الیافی است که از نیشکر به شکل خرده چوب استخراج می‌شود که حاوی ۵۵-۵۰ درصد آب است (Rasul *et al*., 1999). ساختار باگاس شامل سلولز (۳۵٪)، همی‌سلولز (۲۴٪)، لیگنین (۲۲٪) و حدود ۲۰٪ خاکستر حاوی مواد معدنی دیگر است (Alves *et al*., 2010). به نظر می‌رسد این ماده قابلیت استفاده به عنوان محیط کشت در تولید محصولات گلخانه‌ای بدون خاک را دارد و مطالعات در این زمینه می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثر محیط کشت بدون خاک بر واکنش‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی کاهو در شرایط گلخانه بود.

فرآیند پژوهش

طرح مطالعه: به منظور بررسی واکنش‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فتوسنتزی گیاهچه‌های کاهو به بسترهای مختلف کشت در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در کرج از طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۶ بستر کشت، ۱۰۰ درصد کوکوپیت (CP_{100})؛ ۱۰۰ درصد نی‌پیت (NP_{100})؛ ۳۵۰ درصد کوکوپیت+۵۰ درصد نی‌پیت (CP50+NP50)؛ ۲۵ درصد کوکوپیت+۵۰درصد نی‌پیت+ ۲۵ درصد پرلیت ($CP_{25}NP_{50}P_{50}$)؛ ۵۰ درصد نی‌پیت+۵۰ درصد پرلیت ($NP_{50}+P_{50}$)؛ ۶۷۰درصد نی‌پیت+ ۳۰ درصد پرلیت ($NP_{70}+P_{30}$). پس از آماده سازی بسترها سینی‌های کاشت تهیه شدند. سپس بذر کاهو رقم مرگان هر سینی کاشت کاشته شد. آبیاری روزانه انجام گردید.

ارزیابی پارامترهای جوانه‌زنی و مورفولوژیک: جوانه‌زنی و پارامترهای مورفولوژیکی شامل درصد جوانه زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه، قطر ساقه، طول ساقه، تعداد برگ، وزن تر ساقه و ریشه ، وزن خشک ریشه و ساقه را ارزیابی شد.

بذرهایی با طول ریشه‌چه ۲ میلی‌متر یا بیشتر به عنوان بذر جوانه زده در نظر گرفته شدند. درصد جوانه زنی (GP) بر اساس فرمول PG = 100 (n/N) تعیین شد که در آن n تعداد بذرهای جوانه زده و N تعداد کل بذرهای کاشته شده است.

سرعت جوانه زنی (GR) بذر کاهو بر اساس رابطه زیر تعیین شد:

$$GR= (a/1)+(b-a/2) + (c-b/3)+\ldots + (n-m-1/N)$$

که در آن a، b،n... تعداد بذر کاهو جوانه زده پس از ۱، ۲، ۳،...،N روز از شروع کاشت است.

طول ریشه و ساقه با استفاده از خط کش میلی‌متری و قطر ساقه با کولیس اندازه‌گیری شد. وزن تر ساقه و ریشه با استفاده از ترازوی دیجیتالی دقیق اندازه گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه‌ها و ساقه‌ها ابتدا آنها را به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و در نهایت وزن خشک آنها با ترازو دیجیتال اندازه‌گیری شد.

پارامترهای رویشی که در این آزمایش اندازه‌گیری شد شامل: ارتفاع نشاء، قطر نشاء، وزن تر شاخساره، وزن خشک شاخساره، درصد ماده خشک شاخساره، تعداد برگ، سطح برگ وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، درصد ماده خشک ریشه، حجم ریشه و طول ریشه بود.

وزن تر ریشه: برای اندازه‌گیری وزن تر، بوته‌ها در پایان آزمایش از خاک خارج و به سه قسمت برگ، ساقه و ریشه تقسیم و سپس ریشه‌ها جداگانه با ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد.

وزن خشک ریشه: برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها را بمدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه قرار داده و سپس وزن شد.

درصد ماده خشک ریشه: درصد ماده خشک ریشه با استفاده از توزین وزن معینی از ریشه و قرار دادن در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن تابث محاسبه شد.

حجم ریشه: حجم ریشه به روش اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم معینی از آب (قانون ارشمیدس) محاسبه شد.

طول ریشه: ریشه‌ها پس از قطع اندام هوایی به دقت از گلدان‌ها خارج و با آب مقطر شستشو شد. پس از جدا کردن مواد زائد، با استفاده از کولیس دیجیتالی طول ریشه‌ها اندازه‌گیری شد.

ارتفاع نشاء: ارتفاع با استفاده از خط‌کش بر اساس سانتی‌متر به‌دست آمد.

قطر نشاء: با استفاده از کولیس دیجیتالی قطر نشاء اندازه‌گیری شد.

وزن تر شاخساره: برای اندازه‌گیری وزن تر، بوته‌ها در پایان آزمایش از خاک خارج و سپس شاخساره جداگانه با ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شد.

وزن خشک شاخساره: برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها (شاخساره) را بمدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه قرار داده و سپس وزن شد.

درصد ماده خشک شاخساره: درصد ماده خشک شاخساره با استفاده از توزین وزن معینی از شاخساره و قرار دادن در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن تابث محاسبه شد.

تعداد برگ: در پایان آزمایش با شمارش تعداد برگ محاسبه شد.

سطح برگ: سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ مدل (Delta-T Device LTD, England) بر حسب سانتیمتر مربع محاسبه گردید.

کلروفیل و کاروتنوئیدها: برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل، ۱ گرم برگ در هاون با ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد استخراج و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. از قسمت بالایی (قسمت شناور) عصاره به‌دست‌آمده، نمونه‌برداری و سرعت جذب توسط اسپکتروفتومتری در طول موج‌های A645، A663 و A470 خوانده شد (Bagheri *et al.*, 2021).

کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز: فعالیت کاتالاز عصاره برگ توسط اسپکتروفتومتری بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن به مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (pH ۷)، ۱۵ میلی‌مولار آب اکسیژنه و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با افزودن H_2O_2 آغاز شد و کاهش جذب به مدت ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. مقدار پراکسید هیدروژن تجزیه شده با استفاده از ضریب خاموشی ۴۰ میلی‌مولار بر سانتی متر محاسبه شد (Velikova *et al.*, 2000). فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز بر اساس روش اسدی صنم و همکاران (۲۰۱۵) توسط ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۱ میلی‌مولار (pH 6.8)، ۰/۵ میلی‌لیتر متیل کاتکول ۱۰۰ میلی‌مولار و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول آنزیمی و شدت جذب توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۲۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش (Giannopolitis and Ries, 1977) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۰.۵ گرم از بافت برگ تازه در نیتروژن مایع قرار داده شد و سپس ۳ میلی‌لیتر بافر HEPES-KOH با pH 7.8 حاوی ۰/۱ میلی مولار EDTA استخراج شد. هموژنه به دست آمده با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد و مایع رویی برای اندازه گیری

فعالیت اسپکتروفتومتری SOD در طول موج ۵۶۰ نانومتر استفاده شد.

پرولین و محتوای نسبی آب: برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC)، نمونه‌های برگ تهیه، توزین و وزن تازه آن‌ها ثبت شد. نمونه‌ها به مدت یک شب در آب مقطر با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از حذف رطوبت سطح، وزن‌های متورم شده توسط ترازوی دیجیتال ثبت شد. سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و وزن خشک آنها اندازه گیری شد. در نهایت مقدار نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Paknejad *et al.*, 2007).

$$RWC(\%)= F_W\text{-}D_W/S_w\text{-}D_w\times100$$

در این معادله، F_w وزن برگ بلافاصله پس از نمونه‌برداری، D_w وزن خشک برگ پس از قرار دادن در آون و S_w وزن اشباع برگ پس از قرار دادن در آب مقطر بود.

کلروفیل فلورسنس: از برگ‌های جوان توسعه یافته در انتهای دوره برای اندازه‌گیری حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم (Fv/Fm) با استفاده از دستگاه فلورکم مدل Handy flourCam FC (FC 1000-H 100H, Photon (Systems Instruments, PSI, Czech Republic استفاده شد. گیاهان به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی سازگار شد، بعد از ۲۰ دقیقه سریعا نمونه‌های برگی برای اندازه‌گیری Fv/Fm مورد استفاده قرار گرفت. سپس Fv/Fm با استفاده از یک پروتکل مخصوص محاسبه شد. تصاویر در طول فلاش‌های کوتاه در تاریکی انجام شد. در پایان فلاش‌های کوتاه، نمونه‌ها در معرض یک پالس اشباع از نور ($3900Mmol\ m^{-2}\ S^{-1}$) قرارگرفت که این پالس منجر به اشباع‌گذاری فتوشیمیایی و احیا اولین کوییتون گیرنده در فتوسیستم ۲ می‌شود (Genyu *et al.*, 1989). پس از رسیدن فلورسانس به حالت پایدار، دو سری متوالی از داده‌ها به صورت عددی و میانگین بیان شد، اولین سری در طول فلاش‌های کوتاه مدت در تاریکی (F_o) و دیگری در طول پالس اشباع حاصل شد (F_m). از این دو سری داده ۲ عکس به دست آمد. F_v با استفاده از رابطه $F_v= F_m- F_o$ بیان می‌شود. سپس Fv/Fm با استفاده از نسبت $(Fm- F_o)/F_m$ به دست آمد. محاسبات برای هر عکس با استفاده از نسخه ۷ نرم افزار FlourCam محاسبه شد. تست OJIP با استفاده از دستگاه PAR-flourPen 100-MAX در برگ‌های جوان توسعه یافته که ۲۰ دقیقه در تاریکی سازگار شد انجام می‌گردد. بعد از سازگاری در تاریکی، F_o در زمان ۵۰ ms شدت فلورسانس در ۳ ms (مرحله J) و شدت فلورسانس در ۳۰ ms (مرحله I) و ۳۰۰ ms (مرحله P) اندازه-گیری شد. در نهایت محاسبات با استفاده از نرم‌افزار PAR-Fluorpen نسخه ۱ انجام گرفت.

آنالیز آماری: داده‌های به دست آمده از آزمایش بر اساس طرح آماری استفاده شده توسط نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک: نتایج آنالیز واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بستر کشت روی صفات مورفولوژیکی نشاهای کاهو در جدول ۱ آورده شده

است. تیمارهای به کار رفته روی طول ریشه (P<0.01)، حجم ریشه (P<0.05)، وزن برگ (P<0.01)، تعداد برگ (P<0.05)، وزن ریشه (P<0.05)، وزن خشک ریشه (P<0.05) و برگ (P<0.05)، درصد جوانه‌زنی (P<0.05) و سرعت جوانه‌زنی (P<0.01) نشاهای کاهو اثر معنی‌دار داشته است.

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس اثر بسترهای مختلف کشت روی خصوصیات مورفولوژیک گیاه کاهو

Table 1- The results of variance analysis of the effect of different cultivation substrates on the morphological characteristics of lettuce

منابع تغییرات	درجه آزادی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	وزن ریشه	وزن برگ	تعداد برگ	حجم ریشه	طول ریشه
بلوک	۲	۲/۳۸^{ns}	۲/۷۲^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۱/۴۹^{ns}	۰/۵۶۱^{ns}	۱/۷۲^{ns}	۱/۱۹^{ns}	۰/۱۶۶^{ns}
تیمار	۵	۱۷/۴۲**	۵۰/۷۵*	۰/۰۶۶*	۰/۰۱۲*	۲/۴۶*	۴۳/۵۷**	۴/۰۵*	۵/۷۰*	۳/۸۳*
خطا	۱۰	۱/۲۵	۳۵/۵۲	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸	۱/۰۹	۲/۸۴	۱۳/۲۲	۱/۷۳	۰/۸۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۰/۶۱	۷/۵۹	۲/۹۱	۱/۷۳	۲۶/۴۸	۳۳/۶۳	۱۴/۲۷	۲۰/۴۹	۱۱/۵۲

ns: غیرمعنی‌دار؛ * و ** به ترتیب تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

ns: not significant; * and ** are significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک کاهو در تیمارهای مختلف بستر کشت در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاکی از این بود که کاربرد کوکوپیت ۱۰۰ درصد (۹/۱۶ سانتی‌متر) و کوکوپیت ۵۰ درصد و نی‌پیت ۵۰ درصد (۹/۰۰ سانتی متر) در بستر کشت کاهو منجر به بیشترین طول ریشه در این گیاه می‌گردد. کمترین طول ریشه در تیمار نی‌پیت ۵۰ درصد+پرلیت ۵۰ درصد مشاهده شد. با این وجود، بیشترین حجم ریشه در تیمار بستر کشت نی‌پیت ۱۰۰ درصد بدست آمد (۸/۳۳ سانتی‌متر مربع). تعداد برگ که یک صفت مهم عملکردی در کاهو است در تیمار کوکوپیت ۱۰۰ درصد بیشترین بود (۱۰/۰۰) و کمترین آن در تیمار نی‌پیت ۷۰ درصد+پرلیت ۱۰۰ درصد مشاهده شد (۶/۶۶). همچنین، وزن برگ که یک صفت مهم عملکردی در کاهو است در تیمار کوکوپیت ۱۰۰ درصد بیشترین (۱۰/۰۰ گرم) و کمترین آن در بستر کشت حاوی نی‌پیت ۵۰ درصد+پرلیت ۵۰ درصد (۲/۶۶ گرم) حاصل شد. همچنین، در مطالعه حاضر، زمانی که در بستر کشت کاهو از کوکوپیت ۱۰۰ درصد استفاده شد، بیشترین میزان وزن ریشه (۵/۰۶گرم)، وزن خشک ریشه (۵/۲۴ گرم) و وزن خشک برگ (۵/۵۵ گرم) بدست آمد (جدول ۲). در بستر کشت کوکوپیت ۱۰۰ درصد بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذور کاهو دیده شد. با این وجود، درصد جوانه‌زنی در موقع کاربرد بستر کشت کوکوپیت ۲۵درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد+پرلیت ۲۵درصد بیشترین بود. بنابراین، با توجه به نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان داشت که استفاده از کوکوپیت ۱۰۰ درصد در بستر کشت

گیاهان کاهو می‌تواند به عملکرد بالای این گیاه منجر . شود.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک گیاهچه‌های کاهو در تیمارهای مختلف بستر کشت بر حسب آزمون LSD

Table 2- Comparison of the average morphological characteristics of lettuce seedlings in different treatments of culture medium according to LSD test

تیمارها	طول ریشه	حجم ریشه	تعداد برگ	وزن برگ	وزن ریشه	وزن خشک ریشه	وزن خشک برگ	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
CP_{100}	۹/۱۶^{a}	۷/۰۰^{ab}	۱۰/۰۰^{a}	۱۲/۵۰^{a}	۵/۰۶^{a}	۵/۲۴^{a}	۵/۵۵^{a}	۷۵/۰۰^{ab}	۱۴/۰۰^{a}
NP_{100}	۸/۰۰^{ab}	۸/۳۳^{a}	۸/۰۰^{ab}	۲/۱۶^{c}	۲/۷۳^{b}	۵/۱۹^{ab}	۵/۱۷^{b}	۸۰/۰۰^{ab}	۱۱/۳۳^{bc}
$CP_{50}+NP_{50}$	۹/۰۰^{a}	۵/۳۳^{bc}	۸/۶۶^{ab}	۵/۱۰^{b}	۴/۲۶^{ab}	۵/۲۷^{ab}	۵/۳۲^{ab}	۷۶/۳۳^{ab}	۱۲/۳۳^{ab}
$CP_{25}NP_{50}P_{25}$	۷/۰۰^{bc}	۵/۰۰^{bc}	۷/۶۶^{b}	۴/۱۳^{cb}	۴/۵۰^{ab}	۵/۳۴^{ab}	۵/۳۴^{ab}	۸۵/۳۳^{a}	۹/۳۳^{dc}
$NP_{50}+P_{50}$	۶/۳۳^{c}	۴/۷۳^{c}	۷/۳۳^{b}	۳/۵۳^{cb}	۳/۱۶^{ab}	۵/۲۹^{ab}	۵/۳۱^{ab}	۷۴/۳۳^{b}	۸/۶۶^{d}
$NP_{70}+P_{30}$	۸/۵۰^{ab}	۶/۳۳^{abc}	۶/۶۶^{b}	۲/۶۶^{cb}	۳/۹۳^{ab}	۵/۱۶^{b}	۵/۱۳^{b}	۷۹/۶۶^{ab}	۷/۶۶^{d}

CP_{100}: کوکوپیت ۱۰۰ درصد؛ NP_{100}: نی‌پیت ۱۰۰ درصد؛ $CP_{50}+NP_{50}$: کوکوپیت ۵۰ درصد+نی‌پیت ۵۰درصد؛ $CP_{25}NP_{50}P_{25}$: کوکوپیت ۲۵درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد و پرلیت ۲۵ درصد؛ $NP_{50}+P_{50}$ نی‌پیت ۵۰ درصد+ پرلیت ۵۰ درصد؛ $NP_{70}+P_{30}$: نی‌پیت ۷۰ درصد+ پرلیت ۳۰ درصد. حروف متفاوت در ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P<0.05$ می‌باشد

CP100: cocopeat 100%; NP100: Nipit 100%; CP50+NP50: 50% coconut + 50% nipit; CP25NP50P25: cocopeat 25% + nipeat 50% and perlite 25%; NP50+P50 Nipit 50% + Perlite 50%; NP70+P30: Nipit 70% + Perlite 30%. Different letters in the columns indicate significant differences at the probability level of P<0.05

صفات فیزیولوژیک: نتایج آنالیز واریانس تأثیر بسترهای مختلف کشت به کار رفته در پژوهش حاضر روی برخی از صفات فیزیولوژیک نشاهای کاهو حاکی از اثرات معنی‌دار آنها روی محتوی کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین و محتوی نسبی آب برگ نشاءها بود. با این وجود، این بسترهای کشت روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت همچون کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز و سوپراکسیددیسمیوتاز تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس اثر بسترهای مختلف کشت روی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کاهو

Table 3- The results of variance analysis of the effect of different culture media on the physiological characteristics of lettuce

منابع تغییرات	درجه آزادی	RWC	پرولین	SOD	PPO	کاتالاز	کاروتنوئید	کلروفیل تام	کلروفیل b	کلروفیل a
بلوک	۲	^{ns}۱۱۳/۹	^{ns}۹۶/۵	^{ns}۰/۰۱	^{ns}۰/۱	^{ns}۰/۰۰۱	^{ns}۰/۰۳	^{ns}۰/۰۷	^{ns}۰/۰۱	^{ns}۰/۰۰۲
تیمار	۵	**۴۷۸/۴۲	*۴۲۳/۲۲	^{ns}۰/۰۲۲	^{ns}۰/۵۲	^{ns}۰/۰۰۳	*۰/۰۹	**۰/۱۳	**۰/۰۵	**۰/۰۶
خطا	۱۰	۱/۸۹	۱/۲۳	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
ضریب		۱۸/۶۳	۱۴/۷۹							
تغییرات(٪)				۱۵/۳۳	۱۴/۱۳	۱۴/۲۸	۱۵/۲۳	۱۸/۲۲	۳/۷۸	۶/۲۵

ns: غیرمعنی‌دار؛ * و ** به ترتیب تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

ns: not significant; * and ** are significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

بیشترین محتوی کلروفیل a، b و کلروفیل تام نشاهای کاهو در تیمارهای بستر کشت کوکوپیت ۱۰۰ درصد، نی‌پیت ۱۰۰ درصد و کوکوپیت ۵۰ درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد بدست آمد. با این وجود،

زمانی که پرلیت به بستر کشت افزوده شد کاهش معنی‌دار در محتوی کلروفیل a، b و کلروفیل تام مشاهده شد. همچنین، در تیمار کوکوپیت ۱۰۰ درصد بیشترین محتوی کاروتنوئید برگ نشاهای کاهو بدست آمد و کمترین آن در تیمار نی‌پیت ۵۰درصد+پرلیت ۵۰ درصد دیده شد. از سوی دیگر، بیشترین محتوی پرولین برگ نشاءهای کاهو در تیمار نی‌پیت ۵۰درصد+پرلیت ۵۰ درصد، کوکوپیت ۲۵درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد+پرلیت ۲۵ و نی‌پیت ۷۰ درصد+پرلیت ۳۰ درصد و کمترین آن در تیمارهای کوکوپیت ۱۰۰ درصد، نی‌پیت ۱۰۰ درصد و کوکوپیت ۵۰ درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد بدست آمد. با این وجود، محتوی نسبی آب برگ نشاهای کاهو در تیمار کوکوپیت ۱۰۰ درصد بیشترین و در تیمار نی‌پیت ۵۰درصد+پرلیت ۵۰درصد کمترین بود (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک گیاهچه‌های کاهو در تیمارهای مختلف بستر کشت بر حسب آزمون LSD

Table 4- Comparison of the average physiological traits of lettuce seedlings in different treatments of the culture medium according to the LSD test

تیمارها	aکلروفیل	bکلروفیل	کلروفیل تام	کاروتنوئید	کاتالاز	PPO	SOD	پرولین	RWC
CP_{100}	۱/۱۳^{a}	۰/۴۴^{a}	۱/۵۹^{a}	۰/۸۳^{a}	۰/۰۳۳^{a}	۰/۰۸^{a}	۲۸/۹۶^{a}	۰/۰۶^{b}	۹۰/۲۶^{a}
NP_{100}	۱/۲۲^{a}	۰/۴۶^{a}	۱/۶۴^{a}	۰/۷۳^{c}	۰/۰۳۸^{a}	۰/۰۵^{a}	۲۷/۲۴^{a}	۰/۰۷^{b}	۸۶/۳۸^{bc}
$CP_{50}+NP_{50}$	۱/۰۸^{ab}	۰/۴۴^{a}	۱/۵۳^{ab}	۰/۶۸^{d}	۰/۰۳۴^{a}	۰/۰۷^{a}	۲۸/۸۸^{a}	۰/۰۷^{b}	۸۸/۸۹^{ab}
$CP_{25}NP_{50}P_{25}$	۰/۹۶^{b}	۰/۴۰^{b}	۱/۳۸^{b}	۰/۷۸^{b}	۰/۰۳۲^{a}	۰/۰۶^{a}	۲۷/۶۳^{a}	۰/۱۱^{a}	۸۲/۴۵^{d}
$NP_{50}+P_{50}$	۰/۹۴^{b}	۰/۳۹^{b}	۱/۳۶^{b}	۰/۷۰^{cd}	۰/۰۳۷^{a}	۰/۰۸^{a}	۲۷/۵۵^{a}	۰/۱۲^{a}	۸۳/۹۶^{cd}
$NP_{70}+P_{30}$	۰/۹۳^{b}	۰/۳۸^{b}	۱/۳۷^{b}	۰/۷۲^{c}	۰/۰۳۶^{a}	۰/۰۶^{a}	۲۸/۲۹^{a}	۰/۱۳^{a}	۸۵/۵۹^{c}

CP100: کوکوپیت ۱۰۰ درصد؛ **NP100**: نی‌پیت ۱۰۰ درصد؛ **CP50+NP50**: کوکوپیت ۵۰ درصد+نی‌پیت ۵۰درصد؛ **CP25NP50P25**: کوکوپیت ۲۵درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد و پرلیت ۲۵ درصد؛ **NP50+P50** نی‌پیت ۵۰ درصد+ پرلیت ۵۰ درصد؛ **NP70+P30**: نی‌پیت ۷۰ درصد+ پرلیت ۳۰ درصد.

حروف متفاوت در ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال $P<0.05$ می‌باشد

CP100: cocopeat 100%; NP100: Nipit 100%; CP50+NP50: 50% coconut + 50% nipit; CP25NP50P25: cocopeat 25% + nipeat 50% and perlite 25%; NP50+P50 Nipit 50% + Perlite 50%; NP70+P30: Nipit 70% + Perlite 30%. Different letters in the columns indicate significant differences at the probability level of P<0.05

صفات مربوط به عملکرد فتوسنتز: در مطالعه حاضر، تأثیر تیمارهای بستر کشت روی صفات مربوط به کلروفیل فلوسنت و عملکرد فتوسنتز همچون شدت فلورسانس متغیر (F_v)، فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط J (V_j)، فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط I (V_i)، حداکثر کارایی سیستم تجزیه آب فتوسیستم II (F_v/F_0)، حداکثر کارایی فتوسیستم II (Φ_{PO})، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (Φ_{Eo})، عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی (Φ_{Do})، شاخص عملکرد به ازای فوتون جذب شده (PIabs)، میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC)، میزان گرفتن الکترون به ازای هر مرکز واکنش (TR_0/RC)، انتقال الکترون به ازای هر مرکز واکنش (ET0/RC) و انرژی اتلاف شده به ازای هر مرکز واکنش (Di_0/RC) نشاءهای کاهو مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار بسترهای مختلف کشت روی کلیه صفات اشاره شده به غیر از Fv و Vi بود (جدول ۵). مقایسه میانگین صفات مربوط به کلروفیل فلورسنت و عملکرد فتوسنتز گیاهچه‌های

کاهو در تیمارهای مختلف بستر کشت در جدول ۶ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با وجود اینکه، ازنظر شدت فلورسانس متغیر کلروفیل (Fv) و شدت فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط I تفاوت‌های معنی‌داری در تیمارهای مختلف بستر کشت مشاهده نشد، شدت فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط J تفاوت‌های معنی‌داری را نشان داد و بیشترین آن در در تیمار بستر کشت نی‌پیت ۷۰ درصد و پرلیت ۳۰ درصد مشاهده شد. همچنین حداکثر کارایی سیستم تجزیه آب فتوسیستم II (Fv/F0) و حداکثر کارایی فتوسیستم II (ΦPO) در تیمار بستر کوکوپیت ۲۵ درصد+نی‌پیت ۵۰درصد+پرلیت ۲۵درصد بدست آمد. در تیمار کوکوپیت ۱۰۰ درصد بالاترین عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (ΦEo) و در تیمار نی‌پیت ۱۰۰ درصد بیشترین عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی (ΦDo) دیده شد. بیشترین شاخص عملکرد به ازای فوتون جذب شده (PIabs) در تیمار بستر کشت کوکوپیت ۲۵ درصد+نی‌پیت ۵۰درصد+پرلیت ۲۵درصد بدست آمد. با این وجود، بیشترین میزان جذب نور به ازای مرکز واکنش (ABS/RC)، گرفتن الکترون به ازای هر مرکز واکنش (TR0/RC)، انتقال الکترون به ازای هر مرکز واکنش (ET0/RC) و انرژی اتلاف شده به ازای هر مرکز واکنش (Di0/RC) در تیمارهای بستر نی‌پیت ۵۰ درصد و پرلیت ۵۰ درصد و کوکوپیت و نی‌پیت ۱۰۰ درصد مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس اثر بسترهای مختلف کشت روی کلروفیل فلورسنت و عملکرد فتوسنتز نشاءهای کاهو

Table 5- The results of variance analysis of the effect of different culture media on fluorescent chlorophyll and photosynthetic performance of lettuce seedlings

منابع تغییرات	درجه آزادی	Di_0/RC	ET_0/RC	TR_0/RC	ABS/RC	PIabs	Φ_{Do}	Φ_{Eo}	Φ_{Po}	F_v/F_0	V_i	V_j	F_v
بلوک	۲	**۰/۰۴۷	^{ns}۰/۰۱۸	**۰/۰۸	**۰/۲۵	*۰/۰۸۸	**۰/۰۰۷	^{ns}۰/۰۰۰۷	**۰/۰۰۰۷	**۰/۲۵۷	^{ns}۰/۰۰۱	^{ns}۰/۰۰۰۷	^{ns}۲/۱×۱۰^{۷}
تیمار	۵	**۰/۰۱۴	*۰/۰۲۶	*۰/۰۳۲	*۰/۰۸	*۰/۰۵	*۰/۰۰۰۲	*۰/۰۰۱	**۰/۰۰۰۲	**۰/۱۱	^{ns}۰/۰۰۰۳	*۰/۰۰۱۸	^{ns}۲/۹×۱۰^{۷}
خطا	۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱۸	۰/۰۵	۰/۰۲۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۵۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸	۲/۶×۱۰^{۷}
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۳۳	۷/۰۵	۴/۵۷	۶/۰۸	۱۹/۸۳	۵/۴۶	۶/۳۵	۱/۶۴	۰/۲۱	۲/۹۹	۵/۵۰	۱۰/۶۲

ns: غیرمعنی‌دار؛ * تفاوت‌های معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fv: شدت فلورسانس متغیر؛ **Vj**: فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط **J**؛ **Vi**: فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط **I**؛ **Fv/F0**: حداکثر کارایی سیستم تجزیه آب فتوسیستم **II**؛ **ΦPO**: حداکثر کارایی فتوسیستم **II**؛: **ΦEo**: عملکرد کوانتومی انتقال الکترون؛ **ΦDo**: عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی؛ **PIabs**: شاخص عملکرد به ازای فوتون جذب شده؛ **ABS/RC**: میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش؛ **TR0/RC**: میزان گرفتن الکترون به ازای هر مرکز واکنش؛ **ET0/RC**: انتقال الکترون به ازای هر مرکز واکنش؛ **Di0/RC**: انرژی اتلاف شده به ازای هر مرکز واکنش

ns: not significant; * Significant differences are at the 5% probability level.
Fv: variable fluorescence intensity; Vj: relative variable fluorescence in intermediate stage J; Vi: relative variable fluorescence in intermediate stage I; Fv/F0: maximum efficiency of photosystem II water decomposition system; ΦPO: maximum efficiency of photosystem II;: ΦEo: quantum efficiency of electron transfer; ΦDo: energy dissipation quantum function; PIabs: performance index per absorbed photon; ABS/RC: amount of light absorption per reaction center; TR0/RC: rate of electron capture per reaction center; ET0/RC: electron transfer per reaction center; Di0/RC: energy dissipated per reaction center

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مربوط به کلروفیل فلورسنت و عملکرد فتوسنتز گیاهچه‌های کاهو در تیمارهای مختلف بستر کشت بر حسب آزمون **LSD**

Table 6- Comparison of the average traits related to fluorescent chlorophyll and photosynthesis performance of lettuce seedlings in different treatments of culture medium according to LSD test

ردیف	تیمارها	F_v	V_j	V_i	F_v/F_0	Φ_{PO}	Φ_{Eo}	Φ_{Do}	PIabs	ABS/RC	TR_0/RC	ET_0/RC	Di_0/RC
۱	CP_{100}	^{a}۵۱۴۶۵	^{b}۰/۴۹۹	^{a}۰/۸۴۹	^{ab}۳/۳۹	^{ab}۰/۷۷۲	^{a}۰/۳۸۶	^{ab}۰/۲۲۸	^{ab}۰/۹۱۶	^{ab}۳/۷۶	^{ab}۲/۹۰	^{a}۱/۴۵	^{ab}۰/۸۵
۲	NP_{100}	^{a}۵۰۷۰۶	^{b}۰/۵۰۶	^{a}۰/۸۵۷	^{b}۳/۲۴	^{b}۰/۷۶۳	^{a}۰/۳۷۷	^{a}۰/۲۳۶	^{ab}۰/۸۲۹	^{ab}۳/۸۷	^{ab}۲/۹۵	^{a}۱/۴۵	^{ab}۰/۹۱
۳	$CP_{50}+NP_{50}$	^{a}۵۰۱۳۲	^{b}۰/۴۹۵	^{a}۰/۸۵۳	^{b}۳/۱۸	^{b}۰/۷۶۰	^{a}۰/۳۸۳	^{a}۰/۲۳۹	^{ab}۰/۸۴۳	^{ab}۳/۸۶	^{ab}۲/۹۳	^{a}۱/۴۸	^{a}۰/۹۳
۴	$CP_{25}NP_{50}P_{25}$	^{a}۴۸۳۵۵	^{b}۰/۵۰۷	^{a}۰/۸۳۵	^{a}۳/۶۸	^{a}۰/۷۸۶	^{a}۰/۳۸۷	^{b}۰/۲۱۳	^{a}۱/۰۵	^{b}۳/۴۷	^{b}۲/۷۲	^{ab}۱/۳۴	^{b}۰/۷۴
۵	$NP_{50}+P_{50}$	^{a}۴۳۷۹۲	^{ab}۰/۵۲۳	^{a}۰/۸۶۵	^{ab}۳/۲۷	^{ab}۰/۷۶۶	^{ab}۰/۳۶۵	^{ab}۰/۲۳۴	^{ab}۰/۷۶۳	^{a}۳/۹۳	^{a}۳/۰۱	^{a}۱/۴۳	^{a}۰/۹۲
۶	$NP_{70}+P_{30}$	^{a}۴۵۳۳۱	^{a}۰/۵۶۲	^{a}۰/۸۴۹	^{b}۳/۱۸	^{b}۰/۷۶۱	^{b}۰/۳۳۳	^{a}۰/۲۳۹	^{b}۰/۶۷۳	^{ab}۳/۶۹	^{ab}۲/۸۱	^{b}۱/۲۳	^{ab}۰/۸۸

CP100: کوکوپیت ۱۰۰ درصد؛ **NP100**: نی‌پیت ۱۰۰ درصد؛ **CP50+NP50**: کوکوپیت ۵۰ درصد+نی‌پیت ۵۰درصد؛ **CP25NP50P25**: کوکوپیت ۲۵درصد+نی‌پیت ۵۰ درصد و پرلیت ۲۵ درصد؛ **NP50+P50** نی‌پیت ۵۰ درصد+ پرلیت ۵۰ درصد؛ **NP70+P30**: نی‌پیت ۷۰ درصد+ پرلیت ۳۰ درصد. حروف متفاوت در ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال **P<0.05** می‌باشد. **Fv**: شدت فلورسانس متغیر؛ **Vj**: فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط **J**؛ **Vi**: فلورسانس متغیر نسبی در مرحله حدواسط **I**؛ **Fv/F0**: حداکثر کارایی سیستم تجزیه آب فتوسیستم **II**؛ **ΦPO**: حداکثر کارایی فتوسیستم **II**؛: **ΦEo**: عملکرد کوانتومی انتقال الکترون؛ **ΦDo**: عملکرد کوانتومی اتلاف انرژی؛ **PIabs**: شاخص عملکرد به ازای فوتون جذب شده؛ **ABS/RC**: میزان جذب نور به ازای هر مرکز واکنش؛ **TR0/RC**: میزان گرفتن الکترون به ازای هر مرکز واکنش؛ **ET0/RC**: انتقال الکترون به ازای هر مرکز واکنش؛ **Di0/RC**: انرژی اتلاف شده به ازای هر مرکز واکنش

CP100: cocopeat 100%; NP100: Nipit 100%; CP50+NP50: 50% coconut + 50% nipit; CP25NP50P25: cocopeat 25% + nipeat 50% and perlite 25%; NP50+P50 Nipit 50% + Perlite 50%; NP70+P30: Nipit 70% + Perlite 30%. Different letters in the columns indicate significant differences at the probability level of P<0.05. Fv: variable fluorescence intensity; Vj: relative variable fluorescence in intermediate stage J; Vi: relative variable fluorescence in intermediate stage I; Fv/F0: maximum efficiency of photosystem II water decomposition system; ΦPO: maximum efficiency of photosystem II;: ΦEo: quantum efficiency of electron transfer; ΦDo: energy dissipation quantum function; PIabs: performance index per absorbed photon; ABS/RC: amount of light absorption per reaction center; TR0/RC: rate of electron capture per reaction center; ET0/RC: electron transfer per reaction center; Di0/RC: energy dissipated per reaction center

علاوه بر نیاز به تولید نهال با کیفیت بالا، کشاورزان نیاز به کاهش هزینه‌های فعالیت دارند. یکی از جایگزین‌هایی که باید هزینه‌های مربوط به تولید نهال با کیفیت را کاهش دهد، استفاده از ترکیبات آلی موجود در منطقه تولید است. استفاده شدید از خاک‌های کشاورزی، به ویژه خاک‌هایی که از تولیدات باغی نشات می‌گیرند، باعث کاهش مواد آلی و عناصر غذایی می‌شود. بستر مناسب نباید حاوی خاک باشد، چون عوامل بیماری زا و بذور علف‌های هرز به مقدار فراوانی در آن وجود دارد. همچنین، استفاده از خاک در پرورش نشاءها می‌تواند منجر به آسیب به نشاء در طی انتقال آنها به زمین اصلی شود (Boaro, 2013). از این رو، استفاده از بسترهای بدون خاک در پرورش نشاءهای گیاهان بویژه سبزیجات پر مصرف همچون کاهو می‌تواند از اهمیت شایانی برخوردار باشد. یک بستر خوب برای نشاءها باید دارای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی باشد که شرایط مناسب برای جوانه‌زنی، و نمو نشاءها، رشد ریشه و ساقه فراهم آورد (Andrino, 2018). نتایج مطالعه حاضر حاکی از بهبود صفات جوانه‌زنی و رویشی نشاءهای کاهو کشت شده در بستر کشت کوکوپیت خالص بود. بعد از آن بسترهای کشت نی‌پیت ۵۰درصد+کوکوپیت ۵۰درصد و نی‌پیت ۱۰۰ درصد منجر به عملکرد بالای صفات جوانه‌زنی و رویشی در این گیاهان شد. با این وجود، به نظر می‌رسد زمانی که به بسترهای کشت پرلیت افزوده می‌شود از عملکرد رویشی نشاءهای کاهو کاسته می‌گردد. رشد گیاه، ترکیب برگ، عملکرد کل و کیفیت محصول تحت تأثیر بسترهای کشت بدون خاک قرار می‌گیرد (Peyvast *et al.*, 2010). محیط رشد به رشد گیاه کمک می‌کند، که این امر ممکن است به در دسترس بودن مواد مغذی محیط نسبت داده شود. به گفته ترویسان و همکاران (Trevisan *et al.*, 2010)، محیط‌های آلی مانند کمپوست به عنوان یک بافر مواد مغذی عمل می‌کند و به آرامی مواد مغذی را به ریشه گیاهان آزاد می‌کند. افزایش صفات رویشی و جوانه‌زنی در گیاهان کاهو که در مطالعه کنونی در بستر کشت کوکوپیت خالص مشاهده شد می‌تواند به این علت باشد که کوکوپیت دارای ظرفیت نگه‌داری آب، هوادهی، و مواد غذایی بالایی است که در طول دوره رشد نشاءها برای رشد آنها فراهم می‌اورد (Sarkar *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای مشاهده شد کوکوپیت حداکثر ظرفیت نگهداری آب، هوادهی و EC را دارد و منبع غذایی خوبی برای رشد کدوهای تلخ فراهم می‌کند (Rahman *et al.*, 2018) که مطابق با یافته‌های تحقیق حاضر است. رشد رویشی گیاه، و زیست توده، با مواد غذایی ذخیره شده در برگ، شاخساره یا ریشه مرتبط است. ظرفیت بالاتر برای نگهداری آب، هوادهی بهتر با چگالی ظاهری کمتر، و EC محیط رشد به حفظ محیط رضایت‌بخش کمک می‌کند که منجر به رشد شدید گیاه می‌شود و باعث افزایش پتانسیل فتوسنتزی توسط برگ‌ها می‌شود. توانایی نگهداری آب، تبادل گازی و نفوذ ریشه به مقدار فضای منافذ در بستر کشت بستگی دارد که به بهبود رشد گیاه کمک می‌کند (Raviv *et*

al., 2008). زیست توده گیاه خشک همچنین ممکن است به فتوسنتات‌های (Photosynthate) جمع شده در برگ‌ها متکی باشد که به طور مفیدی بر تجمع ماده خشک در نشاءهای کاهو در بستر کشت کوکوپیت تأثیر گذاشته است. همانطور که ذکر شد، ترکیب نی‌پیت با کوکوپیت یا نی‌پیت خالص منجر به صفات جوانه‌زنی و رویشی بالا در نشاءهای کاهو شد. بستر کشت نشاءها به مقدار زیادی نمو سیستم ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این اثر عمدتا به مقدار و اندازه ذارت تشکیل دهنده آن نسب داده می‌شود و در نتیجه هوادهی لازم برای رشد مطلوب ریشه را فراهم می‌اورد (Dutra *et al*., 2017). با این وجود، ظرفیت تبادل کاتیونی این بستر کشت پایین بوده که می‌تواند منجر کاهش رشد گیاهان در این بستر شود. به عنوان مثال، سمیعی و همکاران (۱۳۸۴) بیان کردند که استفاده از باگاس نیشکر به عنوان بستر کشت گیاه آگلونما منجر به افزایش طول ساقه می‌شود که صفت منفی در این گیاه است و باعث کاهش ارزش بازاری این گیاه می‌شود. آنها در مطالعه‌شان بیان کردند که کوکوپیت بهترین بستر کشت برای این گیاه است (Samiei *et al*., 2005). همچنین، در مطالعه کنونی، مشاهده شد که افزودن پرلیت منجر به کاهش صفات مهم عملکردی در نشاءهای کاهو می‌گردد که می‌تواند به کاهش ظرفیت نگهداری آب در این بستر نسبت داده شود. با این وجود، پرلیت به خاطر داشتن قدرت جذب آب ۳ تا ۴ برابر وزن خود، pH در محدوده ۶ تا ۸ کاربردهای زیادی در پرورش نشاءها دارد. در این میان بیان شده است که اندازه پرلیت روی رشد و عملکرد گیاهان اثر گذاشته (Asaduzzaman *et al*., 2013) و ترکیب آن با دیگر بسترهای کشت می‌تواند مزیت‌های مناسبی برای رشد گیاه فراهم آورد. در مطالعه حاضر، زمانی که پرلیت به بستر کشت نی‌پیت افزوده شد عملکرد رویشی نشاءهای گیاه کاهو کاهش یافت که این امر می‌تواند به کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی بستر و در نتیجه کاهش عرضه مواد غذایی به نشاءها نسبت داده شود. نتایج مطالعه کنونی حاکی از بیشتر شدن محتوی کلروفیل a، b و تام، کاروتنوئید و محتوی نسبی آب و همچنین کاهش محتوی پرولین برگ نشاءهای کاهو کشت شده در بستر کوکوپیت و نی‌پیت خالص بود. با این حال، زمانی که پرلیت به محیط کشت افزوده شد کاهش در محتوی کلروفیل a، b و تام، کاروتنوئید و محتوی نسبی آب و افزایش در پرولین در این گیاهچه‌ها مشاهده شد. افزایش محتوی کلروفیل a، b و تام، کاروتنوئید در برگ نشاءهای کاهو در تیمار بستر کشت کوکوپیت می‌تواند به علت بهبود وضعیت تغذیه‌ای نشاءها و کاهش پرولین نسبت داده شود (Li *et al*., 2006). افزایش محتوی کلروفیل a همچنین می‌تواند منجر به افزایش کارایی فتوسنتز و بهبود تجمع فتوسنتات‌ها شود که در نهایت منجر به عملکرد بهتر نشاءها شد (Takai *et al*., 2010). مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها در سبزیجات بسته به شرایط رشد متفاوت است. توسعه کلروفیل برگ و کاروتنوئیدها متکی به تجمع نیتروژن در گیاهان در زیر لایه‌های آلی است که باعث افزایش هوادهی، ظرفیت نگهداری آب و پایداری زیستی می‌شود. بسترهای آلی که دارای هوادهی خوب، قابلیت نگهداری آب و

پایداری زیستی هستند منجر به جذب نیتروژن برای ایجاد کلروفیل در برگ‌ها می‌شود (Rahman *et al.*, 2018). زمانی که رشد و نمو نشاءها کم می‌شود، در نتیجه میزان کلروفیل کمتری در برگ‌ها تجمع می‌یابد که منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. در این پژوهش زمانی که بستر کشت نشاءهای کاهو پرلیت اضافه شد، کاهش در محتوی کلروفیل و کاروتنوئید و افزایش در محتوی پرولین برگ‌ها مشاهده شد که نشان دهنده آسیب به گیاهچه‌ها است. با این وجود، در بستر کشت کوکوپیت خالص و نی‌پیت خالص افزایش در محتوی کلروفیل و کاروتنوئید و کاهش در پرولین مشاهده شد که نشان‌دهنده شرایط مناسب رشد نشاءها است. بنابراین، بهبود در صفات عملکردی مشاهده شده در نشاءهای پرورش یافته در بستر کوکوپیت و نی‌پیت می‌تواند به افزایش محتوی فتوسنتز و در نتیجه بهبود شرایط گیاهان نسبت داده شود. بنابراین، در پرورش نشاءهای کاهو بستر کشت کوکوپیت خالص، نی‌پیت خالص یا ترکیب آنها قابل توصیه است. فتوسنتز مهمترین فرآیند فیزیولوژیکی گیاهان است که به شرایط محیطی بسیار حساس است. پارامتر فلورسانس کلروفیل یکی از ابزارهای مؤثر برای تجزیه و تحلیل اثر تیمارهای مختلف بر فتوسنتز است (Faseela *et al.*, 2019). در این آزمایش، افزایش Vj در نشاءهای کاهو کشت شده در بستر کشت حاوی پرلیت نشان از آسیب به مسیر انتقال الکترون PS II است و انتقال الکترون بلوکه شده در PS II منجر به افزایش تجمع QA می‌شود (Henmi *et al.*, 2004). همچنین، در این تیمارها، افزایش F0 به کاهش محتوی کلروفیل مربوط بوده که به طور مستقیم با انرژی جذب شده در هر مرکز واکنش رابطه مستقیم دارد. به خاطر اینکه، انتقال الکترون بلوکه شده با افزایش Vj ارتباط دارد، آن همچنین در کاهش ψo نیز نشان داده می‌شود که به معنای انرژی بیشتر برای کاهش تجمع بالای QA- است (Zhang *et al.*, 2018). کاهش φEo حاکی از کاهش انرژی به کار رفته برای انتقال الکترون است. به منظور مصرف الکترون‌های فعال زیاد، نسبت کوانتوم برای پراکنش φDo نیز افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی، کاهش φPo، φEo و ψo نشان می‌دهد که استفاده از تیمار بستر کشت پرلیت منجر به کاهش پیوسته توانایی انتقال فتوسیستم II شده است که مطابق با یافته دیگر مطالعه است (Van Heerden *et al.*, 2003). Fv و Fm معمولا به عنوان شاخص‌های مهار نوری فتوسیستم II در نظر گرفته می‌شود که حساس به تنش‌هاست. با در نظر گرفتن این، عملکرد شاخص PIabs و Pics که دارای سه پارامتر مستقل جذب انرژی نوری، گرفتن و انتقال الکترون است ممکن است برای بازتاب تصویری از مکانیسم فتوسنتز گیاهان ایده‌ال باشد (Strasser *et al.*, 2004). کاهش PIabs تحت بستر کشت حاوی پرلیت می‌تواند حاکی از آسیب به دستگاه فتوسنتزی، کاهش کارایی تبدیل انرژی نوری و محدودیت در فتوسنتز نرمال شد. همچنین در این بسترها، افزایش در ABS/RC، TRo/RC و TRo/CSo می‌تواند حاکی از افزایش جذب انرژی نوری باشد. همچنین بیشتر شدن DIO/RC می‌تواند نشان دهنده فعال شدن مکانیسم دفاعی مرکز واکنش باشد که باعث پراکنش انرژی مازاد باشد تا آسیب آن به گیاه را کم کنند.

افزایش DIo/CSo به مانند DIo/RC نشان می‌دهد که گیاهچه‌های کاهو می‌تواند آسیب را با پراکنش فعال انرژی مازاد کاهش دهند. بنابراین، انتخاب بستر کشت مناسب همچون کوکوپیت خالص برای پرورش نشاءهای کاهو می‌تواند منجر به بهبود عملکرد فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد این گیاهان گردد.

نتیجه‌گیری کلی

بطورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که یکی از عوامل مهم در پرورش نشاءهای کاهو نوع بستر کشت بوده و کوکوپیت و نی‌پیت خالص و یا ترکیب آنها می‌تواند گزینه مناسبی باشد. این بسترها بهبود در صفات مهم عملکردی و همچنین پارامترهای فیزیولوژیک و فتوسنتزی را در این گیاهان ایجاد کردند. از این رو، بسترهای کشت کوکوپیت، نی‌پیت یا ترکیب آنها برای تولیدکنندگان تجاری این نشاءها قابل توصیه می‌باشد.

منابع

1) Alves, E. F., Bose, S. K., Francis, R. C., Colodette, J. L., Iakovlev, M. and A,Van Heiningen. 2010. Carbohydrate composition of eucalyptus, bagasse and bamboo by a combination of methods. *Carbohydrate Polymers*, 82: 1097-1101.
2) Andrino, M. A. 2018. Desenvolvimento de substrato para produção de mudas de hortaliças a partir de resíduos orgânicos no IFMG-campus bambui. *Mestrado Profissional em Sustentabilidade em Tecnologia Ambiental*: 67-67.
3) Asadi-Sanam, S., Pirdashti, H., Hashempour, A., Zavareh, M., Nematzadeh, G. A. and Y, Yaghoubian. 2015. The physiological and biochemical responses of eastern purple coneflower to freezing stress. *Russian Journal of Plant Physiology* 62: 515-523.
4) Asaduzzaman, M., Kobayashi, Y., Mondal, M. F., Ban, T., Matsubara, H., Adachi, F. and T, Asao. 2013. Growing carrots hydroponically using perlite substrates. *Scientia Horticulturae* 159: 113-121.
5) BÃ¶hme, M. 1994. Effects of hydroponics on the development of cucumber growing in ecologically subestrates. pp: 133-140. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.
6) Bagheri, M., Gholami, M. and B, Baninasab. 2021. Role of hydrogen peroxide pre-treatment on the acclimation of pistachio seedlings to salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 43: 51.

7) Boaro, V. 2013. Manejo do pH de substrato orgânico alcalino visando à produção de mudas cítricas.
8) Dutra, T. R., Massad, M. D., Menezes, E. S. and A, Santos. 2017. Superação de dormência e substratos alternativos com serragem na germinação e crescimento inicial de mudas de Peltophorum dubium (Spreng.) Taub. *ACSA-Agropecuária Científica no SemiÁrido, Patos-PB* 13: 113-120.
9) Faseela, P., Sinisha, A., Brestič, M. and J, Puthur. 2019. Chlorophyll a fluorescence parameters as indicators of a particular abiotic stress in rice. *Photosynthetica* 57: 108-115.
10) Giannopolitis, C. N. and S. K, Ries. 1977. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants 1 2. *Plant Physiology* 59: 309-314.
11) Henmi, T., Miyao, M. and Y, Yamamoto. 2004. Release and Reactive-Oxygen-Mediated Damage of the Oxygen-Evolving Complex Subunits of PSII during Photoinhibition. *Plant and Cell Physiology* 45: 243-250.
12) Li, R.-h., Guo, P.-g., Michael, B., Stefania, G. and C, Salvatore 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China* 5: 751-757.
13) Liu, Z. and Q, Xu. 2018. An automatic irrigation control system for soilless culture of lettuce. *Water* 10: 1692.
14) Martinez, P. and M, Abad. 1992. Soilless culture of tomato in different mineral substrates. *In* "Symposium on Soil and Soilless Media under Protected Cultivation in Mild Winter Climates 323", pp: 251-260.
15) Noguera, P., Abad, M., Noguera, V., Puchades, R. and A, Maquieira. 2000. Coconut coir water, anew and viable ecologically-friendly peat subestance. pp: 279-286. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.
16) Paknejad, F., Nasri, M., Moghadam, H. T., Zahedi, H. and M. J, Alahmadi. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *J Biol Sci* 7: 841-847.
17) Peyvast, G. H., Olfati, J. A., Ramezani Kharazi, P. and O, Noori Roudsari. 2010. Effect of substate on greenhouse cucumber production in soilless culture. pp: 429-436. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium.
18) Rahman, M. J., Quamruzzaman, M., Uddain, J., Sarkar, M. D., Islam, M. Z., Zakia, M. Z. and S, Subramaniam. 2018. Photosynthetic Response and Antioxidant Content of Hydroponic Bitter Gourd as Influenced by Organic Substrates and Nutrient Solution. *HortScience horts* 53: 1314-1318.
19) Rasul, M., Rudolph, V. and M, Carsky. 1999. Physical properties of bagasse. *Fuel* 78: 905-910.
20) Raviv, M., Lieth, J. H., Bar-Tal, A. and A, Silber. 2008. Growing plants in soilless culture: operational conclusions. *Soilless culture: Theory and practice. Raviv, M and JH Leith (ed) Elsevier*: 545-567.
21) Rifna, E., Ramanan, K. R. and R, Mahendran. 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology* 86: 95-108.

22) Samiei, L., KHalighi, A., Kafi, M., Samavat, S. and M, Arghavani. 2005. An investigation of substitution of peat moss with palm tree celluloid wastes in growing aglaonema (Aglaonema Commutatum Cv. Silver Queen). *Iranian J of Agri Sci* 36: 503-510.
23) Sarkar, M. D., Rahman, M. J., Uddain, J., Quamruzzaman, M., Azad, M. O., Rahman, M. H., Islam, M. J., Rahman, M. S., Choi, K.-Y. and M. T, Naznin. 2021. Estimation of Yield, Photosynthetic Rate, Biochemical, and Nutritional Content of Red Leaf Lettuce (Lactuca sativa L.) Grown in Organic Substrates. *Plants* 10.
24) Soltani, E. and A, Soltani. 2015. Meta-analysis of seed priming effects on seed germination, seedling emergence and crop yield: Iranian studies. *International Journal of Plant Production* 9: 413-432.
25) Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M. and A, Srivastava. 2004. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. *In* "Chlorophyll a fluorescence", pp: 321-362. Springer.
26) Takai, T., Kondo, M., Yano, M. and T, Yamamoto. 2010. A Quantitative Trait Locus for Chlorophyll Content and its Association with Leaf Photosynthesis in Rice. *Rice* 3: 172-180.
27) Trevisan, S., Francioso, O., Quaggiotti, S. and S, Nardi. 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. *Plant Signaling & Behavior* 5: 635-643.
28) Van Heerden, P. D. R., Tsimilli-Michael, M., Krüger, G. H. J. and R. J, Strasser. 2003. Dark chilling effects on soybean genotypes during vegetative development: parallel studies of CO2 assimilation, chlorophyll a fluorescence kinetics O-J-I-P and nitrogen fixation. *Physiologia Plantarum* 117: 476-491.
29) Velikova, V., Yordanov, I. and A, Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science* 151: 59-66.
30) Zhang, H., Xu, N., Li, X., Long, J., Sui, X., Wu, Y., Li, J., Wang, J., Zhong, H. and G. Y, Sun. 2018. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Glomus mosseae*) Improves Growth, Photosynthesis and Protects Photosystem II in Leaves of Lolium perenne L. in Cadmium Contaminated Soil. *Frontiers in Plant Science* 9.
31) Zhang, X., Shen, L., Li, F., Zhang, Y., Meng, D. and J, Sheng. 2010. Up-regulating arginase contributes to amelioration of chilling stress and the antioxidant system in cherry tomato fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2195-2202.