Comparison of Some Morphological Parameters and Mineral Contents of two Basil Accessions Influenced by Different Growth Media under Hydroponic and Aquaponic Systems

S. Yonesi[1], Kh. Hemmati[*1], P. Moradi[2] and S. Khorasaninejad[1*]

نسخه پیش از انتشار

Abstract

The increase in the world's population induces new challenges including environmental pollution and sufficient food supply for human. The use of sustainable agricultural solutions can help reduce environmental degradation and restore natural ecosystems by overcoming these problems. Soilless cultivation systems have become very popular as one of the sustainable agricultural tools in the cultivation of high-use agricultural products. This research was conducted as a mixed analysis of variance in places based on a completely randomized design with 3 replications. The aim of this study was comparing the yield and yield components and the mineral content of the commonly used accessions of basil (green and purple) grown in ten types of growth medium (perlite, cocopeat, sand, pumice in pure form and also in combination with each other with a volume ratio of 50:50) under aquaponic and hydroponic systems. The findings of this research showed that the studied basil accessions had more growth in the aquaponic system than in the hydroponic system. In fact, the optimal harmony between the components of the aquaponic system, i.e. carp, bacteria and basil, led to sufficient and effective nutrition of plants and increased growth. Also, vegetative parameters, yield components and minerals of basil had the highest values in the perlite + cocopeat growth medium, while the lowest growth was observed in the sand and pumice growth medium. Therefore, the aquaponic system, with the selection of appropriate cultivation substrates, can has high performance and can be used as alternative soil cultivation system, especially in regions with water scarcity and arable lands problems.

Keywords: Cocopeat, Nitrogen, Perlite, Soilless culture, Sustainable agriculture.

Background and Objective: Basil is a fast-growing leafy vegetable with high nutritional value which is suitable crop for growing in aquaponics cultivation system. The aquaponics is made of three main components including plants, fishes and bacteria. In other words, an aquaponic cultivation system integrates from hydroponic and aquaculture. (Ferrarezi, 2019). Current agriculture is associated with consumption huge amount of chemical inputs, water and soil degradation. Hence, the use of eco-friendly methods can reduce the harmful effects of current agriculture. Nowadays, hydroponic or soilless culture systems are increasingly

1- Department of Horticulture and landscape Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Department of Horticulture Sciences, Agricultur Faculty, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
* Corresponding author, Email: kh_hemmati@gau.ac.ir

used to growing high value medicinal herbs and vegetables (Zantana et al., 2022). Both of hydroponic and aquaponic are appropriate and precious methods to growing basil in soilless cultivation system, although, the aquaponics due to improving sustainable food production can be more considered (Modarelli et al., 2023).

Methods: This research was conducted as a mixed analysis of variance in places based on a completely randomized design with 3 replications in a research greenhouse in Zanjan city (36° 40' 0" N., 48° 28' 60 " E., 1640 m a.s.l), Iran. The experimental treatments consisted of two cultivation systems (aquaponic and hydroponic) as the locations, two basil accessions (green and purple), and 10 growth medium (cocopeat, perlite, sand, pumice, cocopeat + perlite (50:50), cocopeat + pumice (50:50), cocopeat + sand (50:50), pumice + sand (50:50), pumice + perlite (50:50) and sand + perlite (50:50).

Results: The obtained results indicated that, the morphological parameters including aerial fresh and dry weight, leaf area, leaf number and plant height increased in the aquaponic system compared to the hydroponic cultivation system. Furthermore, mineral content of basil leaf improved in aquaponically grown plants. In terms of growth medium, the combined cocopeat + Perlite showed maximum positive influence on growth parameters and mineral content of basil. In addition, the purple basil accession indicated best performances in aquaponic system compared with hydroponic.

Conclusions: Overall, it can be concluded that the aquaponic system is a reliable alternative method to soil cultures to obtain optimum yield and yield components of basil accessions in suitable substrates and also the maximum water and nutrient use efficiency in a sustainable way. This is particularly the case in arid areas.

References:

1. Ferrarezi, R.S., Bailey, D.S., 2019. Basil performance evaluation in aquaponics. Horttechnology 29, 85–93.
2. Zantanta, N., Kambizi, L., Etsassala, N.G.E.R., Nchu, F., 2022. Comparing crop yield, secondary metabolite contents, and antifungal activity of extracts of *Helichrysum odoratissimum* cultivated in aquaponic, hydroponic, and field systems. plants 11, 2696. https://doi.org/10.3390/ plants11202696
3. Modarelli, G.C., Vanacore, L., Rouphael, Y., Langellotti, A.L., Masi, P., De Pascale, S., Cirillo, C., 2023. Hydroponic and aquaponic floating raft systems elicit differential growth and quality responses to consecutive cuts of basil crop. Plants 12, 1355. https:// doi.org/10.3390/Plants12061355

نسخه پیش از انتشار

مقایسه برخی پارامترهای مورفولوژیکی و محتوای عناصر دو توده ریحان تحت تأثیر بسترهای کشت در دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک

سمیه یونسی[1]، خدایار همتی[1*]، پژمان مرادی[2] و سارا خراسانی‌نژاد[1]

چکیده

افزایش جمعیت جهان انسان را با چالش‌های جدیدی از جمله آلودگی‌های زیست‌محیطی و تأمین غذای کافی مواجه ساخته است. استفاده از راه‌کارهای کشاورزی پایدار می‌تواند با فائق شدن بر این معظلات به کاهش مخاطرات زیست‌محیطی و بازسازی اکوسیستم‌های طبیعی کمک نماید. سیستم‌های کشت بدون خاک به‌عنوان یکی از ابزارهای کشاورزی پایدار در کشت و پرورش محصولات پرمصرف کشاورزی رواج بسیاری یافته است. این پژوهش، درقالب تجزیه مرکب در مکان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. هدف از این تحقیق، مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد و محتوای عناصر غذایی توده‌های ریحان سبز و بنفش کشت شده در ده نوع بستر کشت (پرلیت، کوکوپیت، ماسه، پوکه معدنی به‌صورت خالص و نیز در ترکیب با یکدیگر با نسبت حجمی ۵۰:۵۰) در سیستم‌های آکواپونیک و هیدروپونیک بود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که توده‌های ریحان مورد بررسی از رشد بیش‌تری در سیستم آکواپونیک نسبت به هیدروپونیک برخوردار بودند. در واقع هماهنگی مطلوب بین اجزای سیستم آکواپونیک یعنی ماهی کپور، باکتری‌ها و ریحان به تغذیه کافی و مؤثر گیاهان و رشد بیش‌تر منجر شد. همچنین پارامترهای رویشی، اجزای عملکرد و عناصر ریحان در بستر کشت پرلیت+کوکوپیت از بالاترین مقادیر برخوردار بودند، ضمن اینکه کم‌ترین رشد در بسترهای کشت ماسه و پوکه معدنی مشاهده شد. بنابراین سیستم‌کشت آکواپونیک با گزینش بسترهای کشت مناسب می‌تواند عملکرد بالایی داشته و به‌عنوان سیستم جایگزین کشت خاکی به‌ویژه در نواحی کم آب و خشک مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: پرلیت، کشاورزی پایدار، کشت بدون خاک، کوکوپیت، نیتروژن.

مقدمه

روند رو به رشد افزایش جمعیت جهان، بشر را با چالش‌های جدیدی در زمینه تأمین نیازهای غذایی و از سویی با معضلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی مواجه ساخته است (EL- Boukhari et al., 2020). این عوارض نامطلوب به‌ویژه در مصرف کودهای غیرزیستی حاوی نیتروژن نمایان‌تر

۱- گروه مهندسی باغبانی و فضای سبز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.hatami@areeo.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

است. مصرف این کودها اگرچه موجب افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود، اما آثار زیان‌بار آن‌ها در طولانی مدت اجتناب‌ناپذیر است (Dikr, 2023). بنابراین تنها گزینه پیش‌روی، استفاده از فنون کشاورزی پایدار است که در نتیجه آن علاوه‌بر تولید کافی محصولات، به‌تدریج آثار سوء ناشی از کشاورزی رایج تقلیل یافته و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی را در پی خواهد داشت (Yadava and Komaraiah, 2023). استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک در مناطق خشک و کم‌آب دنیا به‌عنوان یکی از ابزارهای کشاورزی پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است (Bouadila et al., 2023). امروزه کشت ریحان به‌عنوان یکی از سبزی‌های پرمصرف و با ارزش تغذیه‌ای بالا در سیستم‌های کشت بدون خاک توسعه زیادی یافته است. از جمله این روش‌ها سیستم‌های هیدروپونیک و آکواپونیک می‌باشد (Ferrarezi, 2019). تغذیه گیاهان در سیستم‌های هیدروپونیک به محلول‌های شیمیایی که به محیط کشت افزوده می شود متکی است. این روش از نقاط ضعفی برخوردار است؛ از جمله این‌که افزودن پیوسته محلول‌های غذایی، به تجمع و انباشته شدن نمک در محیط رشد گیاه می‌انجامد که اثر خود را با کاهش رشد و نمو گیاه نمایان می‌سازد (Qurrohman et al., 2022). آکواپونیک یک سیستم تولیدی مبتنی بر تلفیق هیدروپونیک و آبزی‌پروری است (Stadler et al., 2022). رشد گیاهان در این نوع سیستم کشت به تغذیه آبزیان بستگی دارد. آمونیاک تولید شده توسط آبزیان تحت تأثیر فعالیت فیلترهای زیستی یا باکتری‌های مؤثر بر نیترات‌سازی به نیترات قابل جذب برای گیاهان تبدیل می‌شود. نیتریت و آمونیاک در غلظت‌های بالا برای آبزیان سمّی بوده ولی نیترات از سمیّت کم‌تری برخوردار است، به‌این ترتیب با توازن ایجاد شده بین سه جزء سیستم یعنی آبزی، باکتری‌ها و گیاهان، شرایط رشد مطلوبی برای رشد همزمان آبزیان و گیاهان فراهم می‌شود (Pulkkinen et al., 2019). در سیستم‌های کشت هیدروپونیک اگرچه تمامی نیازهای غذایی گیاه تأمین می‌گردد اما باید به این نکته توجه داشت که کاربرد چنین سیستم‌هایی باعث نفوذ گسترده نیترات به محیط زیست و نیز هدررفت قابل ملاحظه فسفر می‌شود (Han et al., 2022). سیستم آکواپونیک متکی بر متابولیسم ماهی و تبدیل نیتروژن آلی به معدنی توسط باکتری‌ها است و به همین علت در این سیستم‌ها نیازی به مصرف محلول‌های شیمیایی غذایی نیست (Khalil et al., 2018). یکی از منافع استفاده از سیستم‌های آکواپونیک برای تولیدکنندگان محصولات آبزی، جلوگیری از هدررفت آب و عناصر غذایی و به‌کاری گیری مجدد آن در چرخه تولید محصولات غذایی است (Petrea et al., 2019). غنی بودن آب موجود در سیستم‌های آکواپونیک از نیترات، موجب افزایش کاربرد گسترده آکواپونیک در زمینه تولید سبزی‌های برگی به‌ویژه ریحان در سراسر جهان شده است (Yep et al., 2019). همچنین تولید ریحان در سیستم‌های کشت بدون خاک ضمن افزایش عملکرد و کاهش نیاز به نیروی کار به افزایش ارزش غذایی و کیفیت محصول منجر شده است (Nicoletto et al., 2013).

یکی از منافع کاربرد سیستم‌های کشت ذکرشده، بهینه‌سازی بسترهای کشت گیاهان با انتخاب بهترین ترکیبات موجود است که با ویژگی‌های برتر فیزیکوشیمیایی و نیز میکروبی به رشد و نمو بهتر گیاهان منجر می‌شوند. چراکه مقدار عملکرد و نیز پارامترهای کیفی گیاهان به میزان عناصر غذایی موجود در بسترهای کشت آن‌ها بستگی دارد (Ullah et al., 2022). از سویی محیط‌های کشت بدون خاک، راه نفوذ بیماری‌های خاک‌زاد را مسدود می‌نماید (Papadimitriou et al., 2024). همچنین استفاده از ترکیبات مختلف در بسترهای کشت بدون خاک به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و هوا و دسترسی بیش‌تر ریشه به عناصر غذایی به افزایش رشد نسبت به کشت گیاهان در محیط‌های خاکی منجر می‌شوند (Singh et al., 2023).

یکی از عمده‌ترین هزینه‌های اجرای چنین سیستم‌هایی، تهیه بستر کشت می‌باشد؛ انتخاب بستر کشت بهینه نه‌تنها به بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاهان منجر می‌گردد بلکه در مجموع موجب کاهش هزینه‌های تولید و سود اقتصادی بالاتر می‌شود.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بسترهای کشت

Table 1. Physical and chemical properties of the growth mediums

تیمار Treatment	بستر کشت Growth medium	تخلخل کل مؤثر Effective pore space (%)	چگالی ظاهری Bulk density (g/cm^3)	EC ($mS\ cm^{-1}$)	pH
T1	کوکوپیت Cocopeat	75	0.17	2.85	5.3
T2	پرلیت Perlite	85	0.31	1.84	7.2
T3	پوکه معدنی Pumice	70	0.33	0.68	6.7
T4	ماسه Sand	66.5	1.55	1	6.8
T5	کوکوپیت + پرلیت (۵۰ : ۵۰ v/v) Perlite + Cocopeat (50:50 v/v)	78	0.49	1.9	7.3
T6	کوکوپیت + پوکه معدنی (۵۰ : ۵۰v/v) Cocopeat + Pumice (50:50 v/v)	65	0.24	1.5	6.4
T7	کوکوپیت + ماسه (۵۰ : ۵۰v/v) Cocopeat + Sand (50:50 v/v)	77	0.85	1.6	6.2
T8	پوکه معدنی + پرلیت (۵۰ : ۵۰v/v) Perlite + Pumice (50:50 v/v)	75	0.26	1.15	6.9
T9	ماسه + پرلیت (۵۰ : ۵۰ v/v) Sand + Perlite (50:50 v/v)	75	0.95	1.35	7.1
T10	پوکه معدنی + ماسه (۵۰ : ۵۰v/v) Pumice + Sand (50:50 v/v)	67	0.95	0.85	6.9

اندازه ذرات پرلیت ۱/۵–۱ میلی‌متر و اندازه ذرات ماسه ۱/۵ میلی‌متر بود.

The size of perlite and sand particles were 1-1.5 mm and 1.5 mm respectively.

در این پژوهش برای اولین‌بار به بررسی و مقایسه رشد و عملکرد دو توده پر مصرف ریحان (سبز و بنفش)، در ده بستر کشت مختلف درشرایط کشت بدون خاک (هیدروپونیک و آکواپونیک) پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۰–۱۳۹۹ در یک گلخانه تحقیقاتی در شهر زنجان در قالب تجزیه مرکب در مکان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی از دو توده ریحان (سبز و بنفش خریداری شده از شرکت پاکان بذر)، ده ترکیب مختلف از بسترهای کشت (جدول ۱) در دو سیستم کشت آکواپونیک و هیدروپونیک تشکیل شدند. تعداد ۱۰ بذر در گلدان کشت و پس از رسیدن طول گیاهچه به ۶ سانتی‌متر، تعداد ۵ گیاه یکسان و یکنواخت از نظر رشد با فاصله ۶ سانتی‌متر نگه‌داری و بقیه حذف شدند. بسترهای کشت قبل از مصرف به مدت یک‌ساعت با استفاده از اتوکلاو در دمای ^{o}C

نسخه پیش از انتشار

۱۲۱ ضدعفونی شدند. تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای کشت در آزمایشگاه خاک آزمایش آب و خاک استان زنجان انجام شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری تخلخل کل پس از بستن زهکش گلدان و پر کردن ظرفیت گلدان با آب، مقدار آب مصرفی تا رسیدن به نقطه اشباع اندازه‌گیری و ثبت شد و در نهایت حجم آب مورد استفاده برای رسیدن به اشباع تقسیم بر حجم ظرف شد. همچنین برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری، حجم خاک خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به‌دست آمد و سپس با تقسیم نمودن وزن مطلق خاک (گرم) بر حجم خاک (سانتی‌متر مکعب) (Marshall et al., 1999)، چگالی ظاهری محاسبه شد.

در این پژوهش سیستم کشت هیدروپونیک از نوع بسته و از محلول غذایی آماده شرکت برافزا کشاورز پارس (حاوی عناصر غذایی درشت‌مغذی و ریزمغذی) به‌منظور تغذیه گیاهان در سیستم هیدروپونیک استفاده شد. برای درست کردن محلول غذایی از آب دیونیزه استفاده شد. مقدار غلظت نمک‌ها در محلول غذایی شامل نیترات ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، فسفر ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، پتاسیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، منیزیم ۱۹ میلی‌گرم در لیتر، کلسیم ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر، آهن ۱/۳ میلی‌گرم در لیتر، بور ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، منگنز ۲/۶ میلی‌گرم در لیتر، روی ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر، مس ۰/۰۳ میلی‌گرم در لیتر و مولیبدن ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر بود. میزان pH و EC محلول به‌ترتیب ۶/۵ و $2\ mS\ cm^{-1}$ بود. درجه حرارت گلخانه ۲ ± ۲۶ درجه سانتی‌گراد بود.

سیستم آکواپونیک شامل یک مخزن ۳۰۰ لیتری پرورش ماهی بود که تعداد ۱۰۰ ماهی گرمابی کپور در سایز بندانگشتی به آن اضافه گردید. تغذیه ماهی‌ها به‌صورت روزانه با استفاده از غذای ماهی تهیه شده از شرکت آبزیکو انجام می‌گرفت. آب مخزن ماهی‌ها پس از پمپ شدن از یک مخزن فیلتردار عبور کرده و از کلیه ذرات جامد و رسوبات اضافه تصفیه و سپس وارد مخزن جدیدی می‌شد تا پس از حذف گازهای آلوده‌کننده مانند متان و سولفید هیدروژن برای مصرف گیاهان آماده شود. از کیت‌های تشخیصی به‌طور هفتگی برای کنترل خصوصیات شیمیایی آب ماهی‌ها، اعم از pH، غلظت نیتریت (NO_2^{-1})، نیترات (NO_3^{-1}) و آمونیوم (NO_4^{+1}) استفاده شد. همچنین به‌منظور پایش میزان اکسیژن از یک دستگاه اکسیژن‌متر پرتابل به‌صورت روزانه استفاده شد. میزان اکسیژن محلول (۷ میلی‌گرم در لیتر)، میزان نیتریت (۰/۵ میلی‌گرم در لیتر)، نیترات (۱۷۵ میلی‌گرم در لیتر)، آمونیوم (۱/۷ میلی‌گرم در لیتر) و pH برابر با ۷/۵ بود.

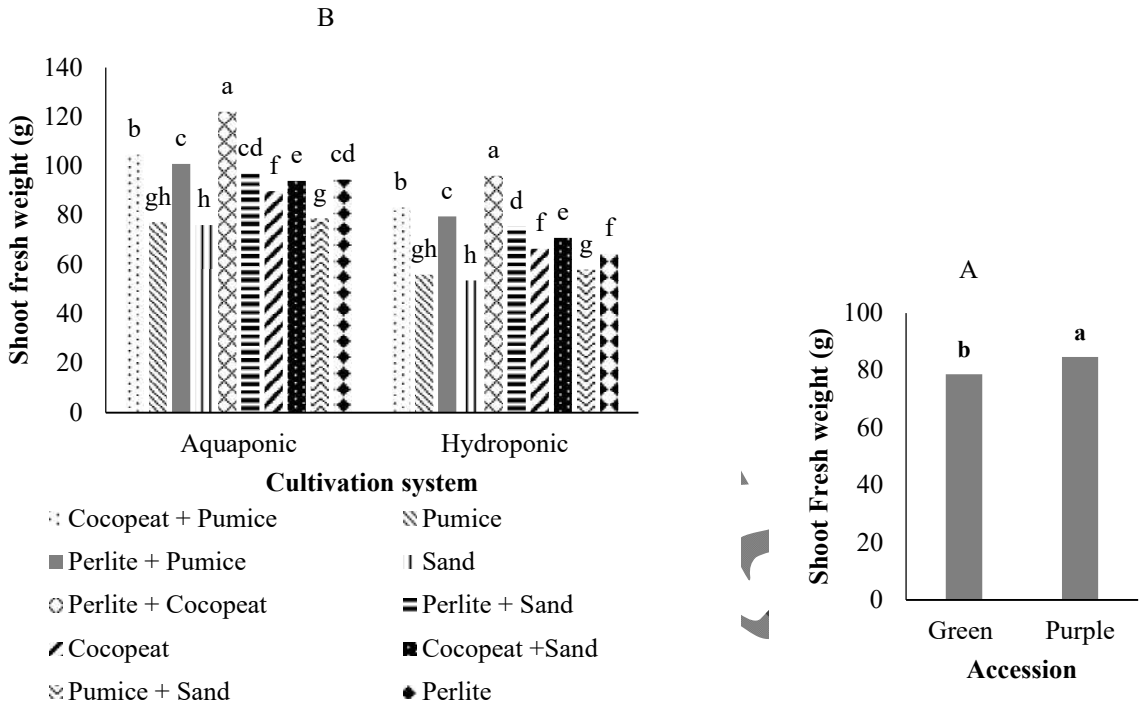
اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

صفات رویشی ریحان پس از پایان دوره گلدهی اندازه‌گیری شدند. این صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تازه و خشک شاخساره بود. برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر بوته ده برگ توسعه یافته انتخاب و توسط دستگاه برگ‌سنج (Delta Cambridge UK) اندازه‌گیری و میانگین برای یک برگ محاسبه شد. همچنین قبل از برداشت، شمارش برگ‌ها انجام پذیرفت. به‌منظور تعیین وزن تازه شاخساره، پس از برداشت ریحان، گیاه را از محل طوقه با چاقوی تیز به دو بخش هوایی و ریشه تقسیم و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تازه ثبت شد. پس از خشک نمودن شاخساره گیاه که به‌مدت ۷۲ ساعت در آون و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و رسیدن به وزن ثابت توسط ترازوی آزمایشگاهی ثبت گردید.

اندازه‌گیری عناصر

به‌منظور اندازه‌گیری عناصر برگ ریحان، نمونه‌های برگی به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون خشک شدند و پس از پودر شدن برای اندازه‌گیری غلظت عناصر مختلف نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد استفاده قرار گرفتند. تعیین مقدار نیتروژن با استفاده از روش کجلدال در سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون انجام گرفت. اندازه‌گیری فسفر با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر صورت پذیرفت و برای اندازه‌گیری پتاسیم از روش نشر شعله و دستگاه فلیم‌فتومتر استفاده شد.

نسخه پیش از انتشار



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر ساده توده (A) و اثر متقابل سیستم کشت × بستر کشت (B) بر وزن تازه شاخساره در ریحان. حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure1. Mean comparison of simple effect of Accession (A) and interaction effect of media × cultivation system (B) on aerial fresh weight (g) of basil. Similar letter in each column denote non-significance at $p < 0.05$.

آنالیز آماری

به‌منظور تجزیه واریانس و تحلیل آماری داده‌ها، از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن تازه شاخساره

مطابق نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) اثرات ساده همه تیمارهای آزمایشی ($p < 0.01$) و اثر متقابل سیستم کشت × بستر کشت ($p < 0.05$) بر پارامتر وزن تازه شاخساره معنی‌دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل 1A) وزن تازه شاخساره توده بنفش ۷/۶ درصد بیش‌تر از توده ریحان سبز بود. همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سیستم کشت و بستر کشت، بیش‌ترین وزن‌تازه (۱۲۲ گرم) مربوط به بستر کشت T5 در سیستم کشت آکواپونیک مشاهده شد و کم‌ترین وزن تازه شاخساره (۵۳/۶۲ گرم) در بستر T4 در سیستم هیدروپونیک مشاهده شد (شکل 1B).

وزن‌خشک شاخساره

مطابق نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) برهمکنش سه‌گانه تیمارهای آزمایشی بر صفت وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار شد ($p < 0.01$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن‌خشک اندام هوایی (۲۵/۱۶ گرم) در سیستم کشت آکواپونیک به توده بنفش کشت شده در بستر کشت T5 اختصاص یافت و کم‌ترین میزان وزن‌خشک اندام هوایی (۲/۲۹ گرم) در سیستم کشت هیدروپونیک و توده سبز کشت شده در بستر T4 مشاهده شد اما تفاوت معنی‌داری با بستر کشت T3 نشان نداد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سیستم‌های کشت، بستر و توده بر پارامترهای مورفولوژیکی و محتوای عناصر ریحان

Table 2. Variance analysis of effect of cultivation system, growth medium and accession on morphological parameters and mineral contents of basil

SOV	df	MS						
		وزن تازه شاخساره Shoot fresh weight	وزن‌خشک شاخساره Shoot dry weight	سطح‌برگ Leaf area	تعداد برگ Leaf number	نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus
سیستم کشت Cultivation system	1	15198.07**	589.988**	11.71**	28517.1**	0.890^{ns}	0.006^{ns}	0.0088**
خطای یک Error 1	4	29.01	1.116	0.03	201.2	0.022	0.001	0.001
بستر کشت Growth medium	9	2297.79**	130.432**	25.20**	6389.5**	6.924**	0.693**	0.2231**
توده Accession	1	1083.78**	40.043**	20.42**	1946.1**	2.383**	0.009*	0.0784**
بستر کشت × توده Growth medium × Accession	9	7.61^{ns}	0.484**	0.52**	105.9^{ns}	0.040**	0.018**	0.0029**
سیستم کشت × بستر کشت Cultivation system × Growth medium	9	8.00*	0.565**	0.44**	55.5^{ns}	0.023*	0.012**	0.0053**
سیستم کشت × توده Cultivation system × Accession	9	11.17^{ns}	0.004^{ns}	0.23^{ns}	6.7^{ns}	3.13**	0.069**	0.0063**
سیستم کشت × بستر کشت × توده Cultivation system × Growth medium× Accession	9	2.32^{ns}	0.492**	0.52**	95.7^{ns}	0.076**	0.012**	0.0042**
خطای ۲ Error 2	76	3.97	0.133	0.07	85.7	0.01	0.001	0.0001
کل Total	119	---	---	---	---	---	---	---
ضریب تغییرات CV (%)	---	2.44	2.17	2.21	8.06	3.81	4.46	1.67

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح $p < 0.05$، $p < 0.01$ و غیرمعنی‌دار

*, ** and ns respectively significant at the level of $p < 0.05$, $p < 0$ and non-significant

نسخه پیش از انتشار

جدول ۳. مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه اثر سیستم کشت × بستر کشت × توده بر پارامترهای مورفولوژی و محتوای عناصر در ریحان.

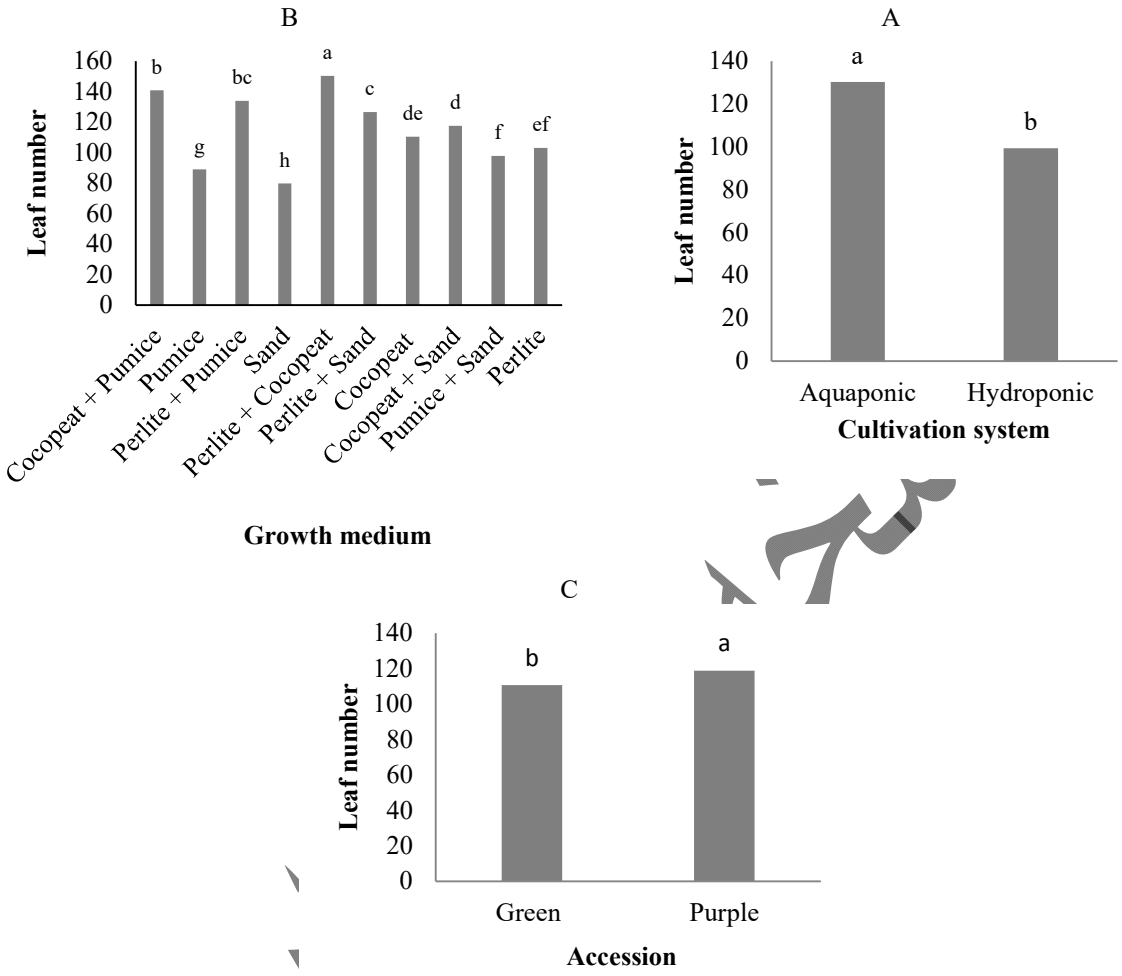
Table3. Mean comparison of triple interaction effect of cultivation system× growth medium × accession on morphological parameters and mineral content

سیستم کشت Cultivation system	توده Accession	بستر کشت Growth medium	وزن‌خشک هوایی (گرم) Aerial DW (g)	سطح برگ (سانتی‌مترمربع) Leaf area (cm^2)	نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (%)	فسفر Phosphorus (%)
آکواپونیک Aquaponic	سبز Green	T1	21.64^{b}	13.26^{b}	3.33b	1.76^{b}	0.84^{de}
		T2	13.54^{h}	12.03d^{e}	1.65^{g}	1.38^{i}	0.64^{f}
		T3	20.98^{c}	13.23^{b}	2.63^{c}	1.7^{c}	0.92^{b}
		T4	12.39^{i}	11.03^{f}	1.45^{h}	1.36^{j}	0.63^{f}
		T5	23.57^{a}	14.53^{a}	3.68^{a}	1.8^{a}	1.38^{a}
		T6	20.04^{d}	12.63^{c}	2.59^{cd}	1.66^{d}	0.91^{bc}
		T7	18.59^{e}	12.43^{cd}	2.24^{e}	1.59^{f}	0.81^{de}
		T8	19.6^{d}	11.73^{e}	2.45^{e}	1.61^{e}	0.84^{de}
		T9	14.31^{g}	11.06^{f}	2.02^{f}	1.4^{h}	0.67^{e}
		T10	17.12^{f}	12.30^{cd}	2.20^{e}	1.57^{g}	0.8^{e}
	بنفش Purple	T1	23.31^{b}	14.26^{b}	3.64^{b}	1.81^{b}	1.11^{b}
		T2	15.07^{h}	12.16^{d}	2.16^{g}	1.42^{h}	0.75^{g}
		T3	22.41^{c}	14.10^{b}	3.51^{b}	1.76^{c}	0.96^{c}
		T4	14.09^{i}	11.26^{e}	1.75^{h}	1.4^{i}	0.73^{g}
		T5	25.16^{a}	17.13^{a}	4.85^{a}	1.87^{a}	1.59^{a}
		T6	21.46^{d}	13.23^{c}	3.30^{c}	1.71^{d}	0.96^{cd}
		T7	19.6^{e}	13.16^{c}	2.79^{de}	1.62^{e}	0.87^{de}
		T8	18.72^{f}	12.9^{c}	2.95^{d}	1.63^{e}	0.92^{de}
		T9	16.52^{g}	12.06^{d}	2.32^{f}	1.46^{g}	0.78^{f}
		T10	18.64^{f}	13.10^{c}	2.74^{e}	1.58^{f}	0.83^{f}
هیدروپونیک Hydroponic	سبز Green	T1	16.85^{b}	13.33^{b}	3.59^{b}	1.71^{b}	1.04^{b}
		T2	9.83^{i}	10.36^{f}	1.82^{g}	1.37^{i}	0.67^{f}
		T3	16.23^{c}	13.13^{b}	3.14^{c}	1.67^{c}	1.02^{bc}
		T4	9.29^{i}	10.26^{f}	1.56^{h}	1.35^{j}	0.61^{g}
		T5	18.7^{a}	15.20^{a}	4.07^{a}	1.76^{a}	1.63^{a}
		T6	15.34^{d}	11.70^{cd}	2.84^{d}	1.62^{d}	0.96^{c}
		T7	13.8^{d}	12.06^{c}	2.52e^{f}	1.55^{f}	0.88^{d}
		T8	14.51^{f}	11.20^{e}	2.70^{e}	1.59^{e}	0.96^{c}
		T9	10.46^{h}	10.36^{f}	2.26^{f}	1.41^{h}	0.69^{e}
		T10	13.08^{g}	11.26^{de}	2.37^{f}	1.52^{g}	0.84^{d}
	بنفش Purple	T1	18.59^{b}	13.96^{b}	3.53^{b}	1.73^{b}	1.04^{b}
		T2	10.65^{i}	12.33^{c}	1.79f^{g}	1.47^{g}	0.71^{g}
		T3	17.56^{c}	13.76^{b}	2.93^{c}	1.57e	0.98^{c}
		T4	10.02^{j}	10.76^{e}	1.96^{g}	1.45^{g}	0.65^{h}
		T5	20.14^{a}	16.26^{a}	4^{a}	1.86^{a}	1.24^{a}
		T6	16.42^{d}	12.26^{c}	2.79^{c}	1.72^{b}	0.93d
		T7	14.85^{f}	12.30c	2.53^{d}	1.65^{c}	0.85^{d}
		T8	15.81^{e}	11.63^{d}	2.55^{d}	1.61^{d}	0.86^{d}
		T9	12.42^{h}	11.46^{d}	1.94^{f}	1.51^{f}	0.72^{g}
		T10	14.08^{g}	11.60^{d}	2.30^{e}	1.64^{c}	0.81^{f}

حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Similar letter in each column denote non-significance at $p < 0.05$

نسخه پیش از انتشار



شکل ۲. اثر ساده سیستم کشت (A)، ساده بستر کشت (B) و توده (C) بر تعداد برگ ریحان. حروف مشابه در هر ستون بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 2. Mean comparison of simple effect of cultivation system (A), growth medium (B) and accession (C) on basil leaf number. Similar letter in each column denote non-significance at $p < 0.05$

سطح برگ

مطابق نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) برهمکنش سه‌گانه فاکتورهای آزمایشی بر صفت سطح برگ دارای اثر معنی‌دار بود ($p < 0.01$). در سیستم آکواپونیک بیش‌ترین میانگین سطح برگ (۱۷/۱۳ سانتی‌مترمربع) به توده بنفش کشت شده در بستر T5 مربوط شد و کم‌ترین میزان سطح برگ (۱۰/۲۶ سانتی‌مترمربع) در توده سبز کشت شده در بستر T4 و تحت سیستم کشت هیدروپونیک مشاهده شد، اما تفاوت معنی‌داری بین بسترهای T4، T3 و T10 مشاهده نشد (جدول ۳).

تعداد برگ

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده فاکتورهای آزمایشی بر تعداد برگ اثر معنی‌داری داشت ($p < 0.01$) ولی اثرات متقابل آن‌ها بر این صفت از نظر آماری معنی‌دار نشدند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سیستم کشت بر تعداد برگ در ریحان نشان داد که گیاهان کشت شده در سیستم کشت آکواپونیک و توده بنفش به‌ترتیب ۳۱/۱۱ و ۷/۳ درصد از تعداد برگ بیش‌تری از برخوردار بودند (شکل ۲A و ۲C). همچنین، بیش‌ترین تعداد برگ در بستر کشت T5 با تعداد ۱۵۰/۲۶ برگ و کم‌ترین تعداد در بستر کشت T4 با میانگین

۷۹/۶ حاصل شد (شکل 2B).

در این پژوهش پارامترهای رویشی (وزن تازه وخشک شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ) توده‌های ریحان در سیستم کشت آکواپونیک نسبت به هیدروپونیک افزایش بیش‌تری نشان داد. دلیل احتمالی این امر به یکنواختی و ثبات غلظت عناصر غذایی به‌واسطه تولید پیوسته فضولات و نیز بقایای غذای ماهی نسبت به سیستم هیدروپونیک که هر هفته چندین بار محلول غذایی دریافت می‌کند مرتبط است (Lennard, 2020). نتایج بسیار متفاوتی در این زمینه منتشر شده است. دلیل احتمالی دیگر، استفاده از محلول‌های غذایی آماده تجاری است که ممکن است برای تأمین نیازهای رشدی ریحان در محیط کشت هیدروپونیک کافی نباشد. در پژوهشی پرورش تلفیقی خرچنگ و گیاه ریحان در سیستم‌های آکواپونیک و هیدروپونیک نشان داد که پارامترهایی مانند وزن تازه، ارتفاع و وزن خشک گیاهان در سیستم آکواپونیک به‌دلیل دریافت عناصر غذایی به‌صورت یکنواخت و دائم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Alcarraz et al., 2018). در تحقیق صورت گرفته توسط Modarelli و همکاران (۲۰۲۳) زیست‌توده خشک ریحان در سیستم آکواپونیک ۵۸ درصد بیش‌تر از سیستم هیدروپونیک بود. اما در پژوهشی دیگر تعداد برگ‌ها، وزن تازه و خشک ریشه و شاخساره در ریحان کشت شده در سیستم هیدروپونیک افزایش معنی‌داری نسبت به سیستم آکواپونیک نشان داد (Kim and Yang, 2020). در کشت کاهو (Delaide et al., 2016) خیار و بادمجان (Grabber et al., 2009; Suhl et al., 2016) تفاوت معنی‌داری بین دو سیستم مشاهده نشد. در سیستم‌های کشت آکواپونیک بسته به گونه، تنها ۳۰-۲۰ درصد نیتروژن مورد تغذیه آبزیان قرار گرفته و بقیه آن در پساب حاصله آزاد می‌شود که می‌تواند مورد مصرف گیاه قرار بگیرد (Schnaider et al., 2005). در تحقیق حاضر، بستر کشت کوکوپیت + پرلیت به نتایج بهتری نسبت به بسترهای تکی و نیز سایر بسترهای ترکیبی منجر شد، درصورتی‌که کم‌ترین میانگین صفات مورد بررسی به بستر کشت خالص ماسه و پوکه معدنی اختصاص یافت. ویژگی‌های بستر کشت که دربرگیرنده ریشه است تعیین‌کننده میزان رشد و عملکرد گیاه است. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بر جذب و میزان در دسترس بودن عناصر غذایی اثرگذار است. برای مثال کمبود اکسیژن در محیط رشد ریشه موجب کاهش رشد ریشه و افزایش احتمال کمبود مینرال‌ها در گیاه می‌شود و احتمال پوسیدگی ریشه ناشی از قارچ‌ها در محیط های که به‌خوبی هوادهی نشده اند افزایش می‌یابد (Morard et al., 2000). از دلایل تفاوت رشد گیاهان در بسترهای گوناگون می‌توان به ویژگی‌های مختلف آن‌ها در ظرفیت تبادل کاتیونی (Lim et al., 2022; Shin et al., 2022)، میزان خلل و فرج و قابلیت تهویه و همچنین ظرفیت نگهداری آب اشاره کرد (Leiber-Sauheitl et al., 2021). در مطالعات اخیر بسترهای کشت حاوی کوکوپیت به افزایش پارامترهای رویشی در گل داوودی (Singh et al., 2023) و کنگر طلایی (Papadimitriou et al., 2024) منجر شد.

غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در برگ ریحان

مطابق نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) برهمکنش سه‌گانه فاکتورهای آزمایشی دارای اثر معنی‌دار بر غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر برگ ریحان بود ($p < 0.01$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین مقدار نیتروژن (۴/۸۵ درصد)، پتاسیم (۱/۸۷ درصد) و فسفر (۱/۵۹ درصد) در سیستم آکواپونیک و توده بنفش کشت شده در بستر T5 حاصل شد. همچنین کم‌ترین مقادیر نیتروژن و پتاسیم در سیستم کشت هیدروپونیک در توده‌های سبز کشت شده در بستر T4 و کم‌ترین مقدار فسفر در توده سبز کشت شده در بستر T3 تحت سیستم کشت آکواپونیک مشاهده شد (جدول ۳).

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش غلظت عناصر معدنی توده‌های ریحان کشت شده در سیستم کشت آکواپونیک از گیاهان کشت شده در سیستم هیدروپونیک بیش‌تر بود. وجود فضولات ماهی و نیز غذای مصرف نشده توسط ماهی عناصر قابل جذب بیش‌تری را در دسترس ریشه گیاه قرار می دهد.

نسخه پیش از انتشار

برای مثال بیش‌تر پتاسیم موجود در غذای ماهی توسط ماهی مصرف و جذب نمی‌شود و در مخزن آب ماهی در دسترس ریشه قرار می‌گیرد. از طرفی پیوستگی و تداوم عناصر غذایی در سیستم آکوپونیک بیش‌تر از سیستم هیدروپونیک است و ورود تدریجی و کم و زیاد شدن غلظت عناصر در سیستم هیدروپونیک موجب کاهش رشد گیاهان نسبت به سیستم کشت آکواپونیک می‌شود. نتایج یک تحقیق نشان داد که ریحان کشت شده در سیستم آکواپونیک از سطوح بالاتری از عناصر غذایی پرمصرف برخوردار بودند، اما تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری با سیستم هیدروپونیک نداشتند (Saha et al., 2016). در یک پژوهش مقایسه غلظت عناصر ریحان در دو سیستم کشت آکواپونیک و هیدروپونیک نشان داد که بین مقدار نیترات و فسفر در دو سیستم کشت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما مقدار پتاسیم در برگ‌های ریحان در سیستم کشت هیدروپونیک افزایش معنی‌داری نشان داد (Modarelli et al., 2023). بر اساس تحقیقات صورت گرفته فقط ۷ درصد پتاسیم موجود در غذای ماهی به تغذیه ماهی رسیده و ۹۳ درصد آن وارد سیستم آکواپونیک می‌شود. با این‌حال از آنجا که پتاسیم یک عنصر ضروری در غذای ماهی نیست به‌همین دلیل این مقدار زیادی پتاسیم در محیط آکواپونیک تجمع می‌یابد (Rafiee and Saad, 2005). همچنین میزان کافی فسفر می‌تواند از طریق فضولات و باقیمانده غذای ماهی وارد سیستم آکواپونیک شود. درصورتی‌که آب مصرفی در سیستم کشت آکواپونیک از کیفیت بالایی برخوردار باشد و میزان فسفر دفع شده در فضولات ماهی به حدود ۱/۱ درصد برسد هیچ‌گونه کمبود فسفری برای گیاه رخ نمی‌دهد. مقدار جذب عناصر در دو سیستم کشت آکواپونیک و هیدروپونیک به‌شدت تحت تأثیر محیط کشت قرار می‌گیرد. به‌طور کلی بسترهای کشت فاقد خاک به دلیل افزایش کارایی جذب عناصر به افزایش پارامترهای رویشی و نیز کیفی در گیاهان منجر می‌شوند. چنان‌چه در پژوهشی که بر روی کشت نخل روغنی[1] در محیط کشت خاکی به‌عنوان شاهد و نیز نسبت‌های متفاوت بسترهای کشت حاوی کوکوپیت، پرلیت و پیت‌ماس صورت گرفت، بیش‌ترین پارامترهای رویشی گیاهان مانند عملکرد کل، وزن‌خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع، تعداد برگ و نیز غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاهانی که در بسترهای غیرخاکی کشت شده بودند به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (Chang et al., 2023).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که گیاهان در سیستم کشت آکواپونیک به‌دلیل یکنواختی عناصر غذایی و دسترسی مداوم ریشه به عناصر قابل جذب، از رشد بالاتری برخوردار بودند. همچنین در بین بسترهای کشت مختلف، بستر مخلوط با نسبت مساوی کوکوپیت + پرلیت به رشد بیش‌تر ریحان و افزایش محتوای عناصر برگ ریحان منجر گردید. چنین نتایجی به برتری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکوپیت + پرلیت نسبت به سایر بسترهای کشت در این آزمایش مربوط است. با توجه به نتایج به‌دست آمده اگرچه هر دو سیستم کشت از کارایی مناسبی در تولید ریحان برخوردار بودند اما سیستم آکواپونیک به‌دلیل هم‌راستا بودن با استانداردهای کشاورزی پایدار و نیز تولید هم‌زمان دو محصول که با سود اقتصادی بیش‌تری برای تولیدکنندگان همراه است می‌تواند مورد توجه تولیدکنندگان بخش کشاورزی به‌ویژه در مناطقی که با محدودیت‌های آبی و یا خاک‌های قابل‌کشت روبرو هستند قرار بگیرد.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه را از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که با تأمین هزینه‌های این پژوهش ما را در به‌ثمر رساندن هر چه بهتر آن یاری نمودند به‌عمل آورند.

1. Elaeis guineensis

تضاد منافع

شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچگونه تضاد منافعی با شـخص،

منابع مورد استفاده

1. Bouadila, S., Baddadi, S., Ali, R.B., Ayed, R., Skouri, S., 2023. Deploying low-carbon energy technologies in soilless vertical agricultural greenhouses in Tunisia. TSEP, 42, p.101896.
2. Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H., Jijakli, M.H., 2017. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. Aquac. Eng. 78, 130–139.
3. Dikir, W., 2023. Effect of long-term chemical fertilizer application on soil chemical properties: a review. J. of Biology, Agri. and Healthcare 11(5), 11–18.
4. EL Boukhari, M.E.M., Barakate, M., Bouhia, Y., Lyamlouli, K., 2020. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. Plants 9, 359. doi:10.3390/plants9030359.
5. Ferrarezi, R.S., Bailey, D.S., 2019. Basil performance evaluation in aquaponics. Horttechnology 29, 85–93.
6. Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination 246,147–156.
7. Han, Y., White, P.J., Cheng, L., 2022. Mechanisms for improving phosphorus utilization efficiency in plants. Ann. Bot. 129, 247–258.
8. Khalil, S., 2018. Growth Performance, Nutrients and microbial dynamic in aquaponics systems as affected by water temperature. Eur. J. Hortic. Sci. 83, 388–394.
9. Lim, M.Y., Jeong, E.S., Roh, M.Y., Choi, G.L., Kim, S.H., Lee, C.K., 2022. Changes of plant growth and nutrient concentrations of the drainage according to drainage reuse and substrate type in sweet pepper hydroponics. J. Bio-Env. Con. 31(4), 476–484.
10. Marshall, T. J., Holmes, J. W., Rose, C. W., 1999. Soil Physics (3 ed.). Syndicate of University of Cambridge.
11. Modarelli, G.C., Vanacore, L., Rouphael, Y., Langellotti, A.L., Masi, P., De Pascale, S., Cirillo, C., 2023. Hydroponic and aquaponic floating raft systems elicit differential growth and quality responses to consecutive cuts of basil crop. Plants 12, 1355. https:// doi.org/10.3390/plants12061355.
12. Morard, P., Lacoste, L., Silvestre, J., 2000. Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. J. Plant Nutr. 23, 1063–1078.
13. Nicoletto, C., Santagata, S., Bona, S., Sambo, P., 2013. Influence of cut number on qualitative traits in different cultivars of sweet basil. Ind. Crops Prod. 44, 465–472.
14. Papadimitriou, D.M., Daliakopoulos, I.N., Louloudakis, I., Savvidis, T.I., Sabathianakis, I., Savvas, D., Manios, T., 2024. Impact of container geometry and hydraulic properties of coir dust, perlite, and their blends used as growing media, on growth, photosynthesis, and yield of Golden Thistle (*S. hispanicus* L.). Sci. Hortic. 323, 112425.
15. Petrea, S.M., Bandi, A.C., Cristea, D., Neculit, ă.M., 2019. Cost-Benefit Analysis into Integrated Aquaponics Systems. Custos e Agronegocio. 15, 239–269.
16. Pulkkinen, J.T., Eriksson-Kallio, A.M., Aalto, S.L., Tiirola, M., Koskela, J., Kiuru, T., Vielma, J., 2019. The effects of different combinations of fixed and moving bed bioreactors on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth and health, water quality and nitrification in recirculating aquaculture systems. Aquac. Eng. 85, 98–105.
17. Qurrohman, B.F.T., Subandi, M., Priatna, T., Humam, A., 2022, October. Growth and yield of three bean plant cultivars (*Phaseolus vulgaris* L) on various planting media hydroponically. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2563, No. 1). AIP Publishing.
18. Rafiee, G., Saad, C.R., 2005. Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system. Aquaculture 244,109–118.
19. Saha, S., Monroe, A., Day, M.R., 2016. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. Ann. Agric. Sci. 61(2), 181–186.

20. Shin, M., Jeong, H.J., Roh, M.Y., Kim, J.H. Song, K.J., 2022. Growth and yield response of perilla plants grown under different substrates in hydroponic system. J. Bio-Env. Con 31(4), 292–299.
21. Singh, A.K., Singh, R., Kumar, R., Gupta, A.K.,Kumar, H., Rai, A., Kanawjia, A., Tomar, K.S., Pandey, G., Singh, B., Kumar, S., 2023. Evaluating sustainable and environment friendly growing media composition for pot mum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.). Sustainability 15, 536. https:// doi.org/10.3390/su15010536**.**
22. Stadler, M.M., Baganz, D., Vermeulen, T., Keesman, K.J., 2015. Circular Economy and Economic Viability of Aquaponic Systems: Comparing Urban, Rural and Peri-Urban Scenarios under Dutch Conditions. ICESC2015: Hydroponics and Aquaponics at the Gold Coast ,1176, pp. 101–114.
23. Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., Schmidt, U., 2016. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. Agric. Water Manag. 178, 335–344.
24. Ullah, H., Gul, B., Khan, H., Akhtar, N., Rehman, K.U., Zeb, U., 2022. Effect of growth medium nitrogen and phosphorus on nutritional composition of *Lemna minor* (an alternative fish and poultry feed). BMC Plant Biol. 22(1), 1–7.
25. Yadava, A.K., Komaraiah, J. B., 2023. Technical Efficiency of Chemical Fertilizers Use and Agricultural Yield: Evidence from India. IER, 27(1), 93–106.
26. Zantanta, N., Kambizi, L., Etsassala, N.G.E.R., Nchu, F., 2022. Comparing crop yield, secondary metabolite contents, and antifungal activity of extracts of *Helichrysum odoratissimum* cultivated in aquaponic, hydroponic, and field systems. Plants 11, 2696. https://doi.org/10.3390/ plants11202696

نسخه پیش از انتشار