



Comparison of Some Growth and Morphological Traits and Nutrients Contents of Two Basil Accessions Influenced by Different Growth Media Under Hydroponic and Aquaponic Systems

S. Yonesi¹, Kh. Hemmati^{1*}, P. Moradi² and S. Khorasaninejad¹

(Received: 2 April 2024; Accepted: 7 August 2024)

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 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 three replications. The aim of this study was to compare the yield and yield components and the nutrients contents of the commonly used accessions of basil (green and purple) grown in ten growth media (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 showed that the studied basil accessions had greater 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. Besides, vegetative traits, 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 media. Therefore, the aquaponic system, with the selection of appropriate cultivation substrates, has high performance for basil and can be used as alternative soil cultivation system, especially in regions with water scarcity and arid lands.

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 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 (soilless culture) systems are increasingly used for growing high value medicinal herbs and vegetables (Zantana et al., 2022). Both hydroponic and aquaponic

1- Department of Horticulture and Landscape Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Department of Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran.

* Corresponding author, Email: kh_hemmati@gau.ac.ir

systems are appropriate and precious methods for growing basil in soilless cultivation, although, the aquaponics due to improving sustainable food production might be more preferred (Modarelli et al., 2023). Therefore, the objective of this study was to compare the yield and yield components and the mineral content of two commonly used accessions of basil (green and purple) grown in ten growth media under aquaponic and hydroponic systems.

Methods: This research was conducted as a mixed analysis of variance in places based on a completely randomized design with three 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 media including 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). After flowering, plant growth and morphological traits (shoot fresh and dry weights, leaf area, leaf number and plant height), and nitrogen, potassium and phosphorus contents were measured and analyzed.

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

Conclusions: Overall, it can be concluded that the aquaponic system is a reliable alternative method for 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. Therefore, the aquaponic system as a suitable growth media might be recommended for basil cultivation particularly in the arid areas.

References:

1. Ferrarezi, R.S., Bailey, D.S., 2019. Basil performance evaluation in aquaponics. *Horttechnology* 29, 85–93.
2. Modarelli, G.C., Vanacore, L., Roupheal, 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>.
3. 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>.



مقایسه برخی صفات رشدی و مورفولوژیک و محتوای عناصر مغذی دو توده ریحان تحت تأثیر بسترهای کشت در دو سامانه هیدروپونیک و آکواپونیک

سمیه یونسی^۱، خدایار همتی^{۱*}، پژمان مرادی^۲ و سارا خراسانی نژاد^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۱۷)

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 غلبه بر این معضلات به کاهش خطرهای زیست‌محیطی و بازسازی اکوسیستم‌های طبیعی کمک نماید. سامانه‌های کشت بدون خاک به‌عنوان یکی از ابزارهای کشاورزی پایدار در کشت و پرورش محصولات پرمصرف کشاورزی رواج بسیاری یافته است. این پژوهش، در قالب تجزیه مرکب در مکان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. هدف این پژوهش، مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد و محتوای عناصر غذایی توده‌های ریحان سبز و بنفش کشت‌شده در ده نوع بستر کشت (پرلیت، کوکوپیت، ماسه، پوکه معدنی به‌صورت خالص و نیز در ترکیب با یکدیگر با نسبت حجمی ۵۰:۵۰) در سامانه‌های آکواپونیک و هیدروپونیک بود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که توده‌های ریحان مورد بررسی از رشد بیش‌تری در سامانه آکواپونیک نسبت به هیدروپونیک برخوردار بودند. در واقع هماهنگی مطلوب بین اجزای سامانه آکواپونیک یعنی ماهی‌کپور، باکتری‌ها و ریحان به تغذیه کافی و مؤثر گیاهان و رشد بیش‌تر آن‌ها منجر شد. همچنین پارامترهای رویشی، اجزای عملکرد و عناصر ریحان در بستر کشت پرلیت+کوکوپیت از بیش‌ترین مقادیر برخوردار بودند، ضمن اینکه کم‌ترین رشد در بسترهای کشت ماسه و پوکه معدنی مشاهده شد. بنابراین سامانه کشت آکواپونیک ریحان با گزینش بسترهای کشت مناسب می‌تواند عملکرد زیادی داشته و به‌عنوان سامانه جایگزین کشت خاکی به‌ویژه در نواحی کم‌آب و خشک مورد استفاده قرار بگیرد.

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

مقدمه

زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی مواجه ساخته

است (EL-Boukhari et al., 2020). این عوارض نامطلوب به-

ویژه در اثر مصرف کودهای غیرزیستی دارای نیتروژن نمایان‌تر

روند رو به رشد افزایش جمعیت جهان، بشر را با چالش‌های

جدیدی در زمینه تأمین نیازهای غذایی و از سویی با معضلات

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: kh_hemmati@gau.ac.ir

گسترده نیترات به محیط زیست و نیز هدررفت قابل توجه فسفر می‌شود (Han et al., 2022). سامانه آکوپونیک متکی بر متابولیسم ماهی و تبدیل نیتروژن آلی به معدنی توسط باکتری‌ها است و به همین علت در این سامانه‌ها نیازی به مصرف محلول‌های شیمیایی غذایی نیست (Khalil et al., 2018). یکی از منافع استفاده از سامانه‌های آکوپونیک برای تولیدکنندگان محصولات آبی، جلوگیری از هدررفت آب و عناصر غذایی و به‌کاری‌گیری مجدد آن در چرخه تولید محصولات غذایی است (Petrea et al., 2019). غنی‌بودن آب موجود در سامانه‌های آکوپونیک از نیترات، موجب گسترش کاربرد آکوپونیک در زمینه تولید سبزی‌های برگی (به‌ویژه ریحان) در سراسر جهان شده است (Yep et al., 2019). همچنین تولید ریحان در سامانه‌های 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 سامانه‌های کشت ذکرشده، بهینه‌سازی بسترهای کشت گیاهان با انتخاب بهترین ترکیبات موجود است که با ویژگی‌های برتر فیزیکی و شیمیایی 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 می‌نمایند (Papadimitriou et al., 2024). همچنین استفاده از ترکیبات مختلف در بسترهای کشت بدون خاک به دلیل افزایش گنجایش 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).

از جمله مهم‌ترین هزینه‌های اجرای چنین سامانه‌هایی، تهیه بستر کشت است؛ انتخاب بستر کشت بهینه نه‌تنها به بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاهان منجر می‌گردد بلکه در مجموع موجب کاهش هزینه‌های تولید و سود اقتصادی بیش‌تر می‌شود.

است. اگرچه مصرف این کودها موجب افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود، اما آثار زیان‌بار آن‌ها در درازمدت اجتناب‌ناپذیر است (Dikr, 2023). بنابراین تنها گزینه پیش‌رو، 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 سامانه‌های 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 زیاد در سامانه‌های کشت بدون خاک توسعه زیادی یافته است. از جمله این روش‌ها سامانه‌های هیدروپونیک و آکوپونیک است (Ferrarezi, 2019). تغذیه گیاهان در سامانه‌های هیدروپونیک به محلول‌های شیمیایی که به محیط کشت افزوده می‌شود متکی است. این روش از نقاط ضعفی برخوردار است؛ از جمله این‌که افزودن پیوسته محلول‌های غذایی، به تجمع و انباشته‌شدن نمک در محیط رشد گیاه می‌انجامد که اثر خود را با کاهش رشد و نمو گیاه نمایان می‌سازد (Qurrohman et al., 2022). آکوپونیک یک سامانه تولیدی مبتنی بر تلفیق هیدروپونیک و آبی‌پرووری است (Stadler et al., 2022). رشد گیاهان در این نوع سامانه کشت به تغذیه آبیان بستگی دارد. آمونیوم تولیدشده توسط آبیان تحت تأثیر فعالیت فیلترهای زیستی یا باکتری‌های مؤثر بر نیترات‌سازی به نیترات قابل جذب برای گیاهان تبدیل می‌شود. نیتريت و آمونیاک در غلظت‌های زیاد برای آبیان سمی بوده ولی نیترات از سمیت کم‌تری برخوردار است، به‌این ترتیب با توازن ایجادشده بین سه جزء سامانه یعنی آبی، باکتری‌ها و گیاهان، شرایط رشد مطلوبی برای رشد همزمان آبیان و گیاهان فراهم می‌شود (Pulkkinen et al., 2019). در سامانه‌های کشت هیدروپونیک اگرچه تمامی نیازهای غذایی گیاه تأمین می‌گردد اما باید به این نکته توجه داشت که کاربرد چنین سامانه‌هایی باعث نفوذ

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای کشت مورد بررسی

Table 1. Physical and chemical properties of the studied growth media

pH	EC (dS m ⁻¹)	چگالی ظاهری Bulk density (g cm ⁻³)	تخلخل کل مؤثر Total porosity (%)	بستر کشت Growth medium	تیمار Treatment
5.3	2.85	0.17	75	کوکوپیت Cocopeat	T1
7.2	1.84	0.31	85	پرلیت Perlite	T2
6.7	0.68	0.33	70	پوکه معدنی Pumice	T3
6.8	1.00	1.55	66	ماسه Sand	T4
7.3	1.90	0.49	78	کوکوپیت + پرلیت (۵۰:۵۰ v/v) Perlite + Cocopeat (50:50 v/v)	T5
6.4	1.50	0.24	65	کوکوپیت + پوکه معدنی (۵۰:۵۰ v/v) Cocopeat + Pumice (50:50 v/v)	T6
6.2	1.60	0.85	77	کوکوپیت + ماسه (۵۰:۵۰ v/v) Cocopeat + Sand (50:50 v/v)	T7
6.9	1.15	0.26	75	پوکه معدنی + پرلیت (۵۰:۵۰ v/v) Perlite + Pumice (50:50 v/v)	T8
7.1	1.35	0.95	75	ماسه + پرلیت (۵۰:۵۰ v/v) Sand + Perlite (50:50 v/v)	T9
6.9	0.85	0.95	67	پوکه معدنی + ماسه (۵۰:۵۰ v/v) Pumice + Sand (50:50 v/v)	T10

اندازه ذرات پرلیت و ماسه در دامنه ۱/۵-۱ میلی‌متر بود.

The sizes of perlite and sand particles were in the range 1-1.5 mm, respectively.

ریحان (سبز و بنفش خریداری شده از شرکت پاکان بذر)، ده ترکیب مختلف از بسترهای کشت (جدول ۱) در دو سامانه کشت آکواپونیک و هیدروپونیک تشکیل شدند. تعداد ۱۰ بذر در گلدان کشت شده و پس از رسیدن طول گیاهچه به ۶ سانتی‌متر، تعداد ۵ گیاه یکسان و یکنواخت از نظر رشد با فاصله ۶ سانتی‌متر نگهداری شده و بقیه حذف شدند. بسترهای کشت پیش از مصرف به مدت یک ساعت با استفاده از اتوکلاو در دمای ۱۲۱ °C ضدعفونی شدند.

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

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در یک گلخانه پژوهشی در شهر زنجان در قالب تجزیه مرکب در مکان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی از دو توده

ویژگی‌های شیمیایی آب پرورش ماهی‌ها، اعم از pH، غلظت نیتريت (NO_2^-)، نیترات (NO_3^-) و آمونیوم (NO_4^+) استفاده شد. همچنین به منظور پایش میزان اکسیژن محلول در آب از یک دستگاه اکسیژن متر پرتابل به صورت روزانه استفاده شد. غلظت اکسیژن محلول برابر ۷ میلی گرم در لیتر، غلظت نیتريت برابر ۵/۰ میلی گرم در لیتر، غلظت نیترات برابر ۱۷۵ میلی گرم در لیتر، غلظت آمونیوم برابر ۱/۷ میلی گرم در لیتر و pH برابر با ۷/۵ بود.

اندازه‌گیری صفات رویشی و مورفولوژیک گیاه

صفات رویشی و مورفولوژیک ریحان پس از پایان دوره گلدهی اندازه‌گیری شدند. این صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، و وزن تازه و خشک شاخساره بود. برای اندازه‌گیری سطح برگ از هر بوته ده برگ توسعه‌یافته انتخاب شده و توسط دستگاه برگ‌سنج (Delta Cambridge UK) سطح برگ‌ها تعیین شده و میانگین سطح برای یک برگ محاسبه شد. همچنین پیش از برداشت، شمارش برگ‌ها انجام شد. به منظور تعیین وزن تازه شاخساره، پس از برداشت ریحان، گیاه را از محل طوقه با چاقوی تیز به دو بخش هوایی و ریشه تقسیم کرده و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تازه ثبت شد. پس از خشک‌نمودن شاخساره گیاه به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس، وزن خشک شاخساره توسط ترازوی آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد.

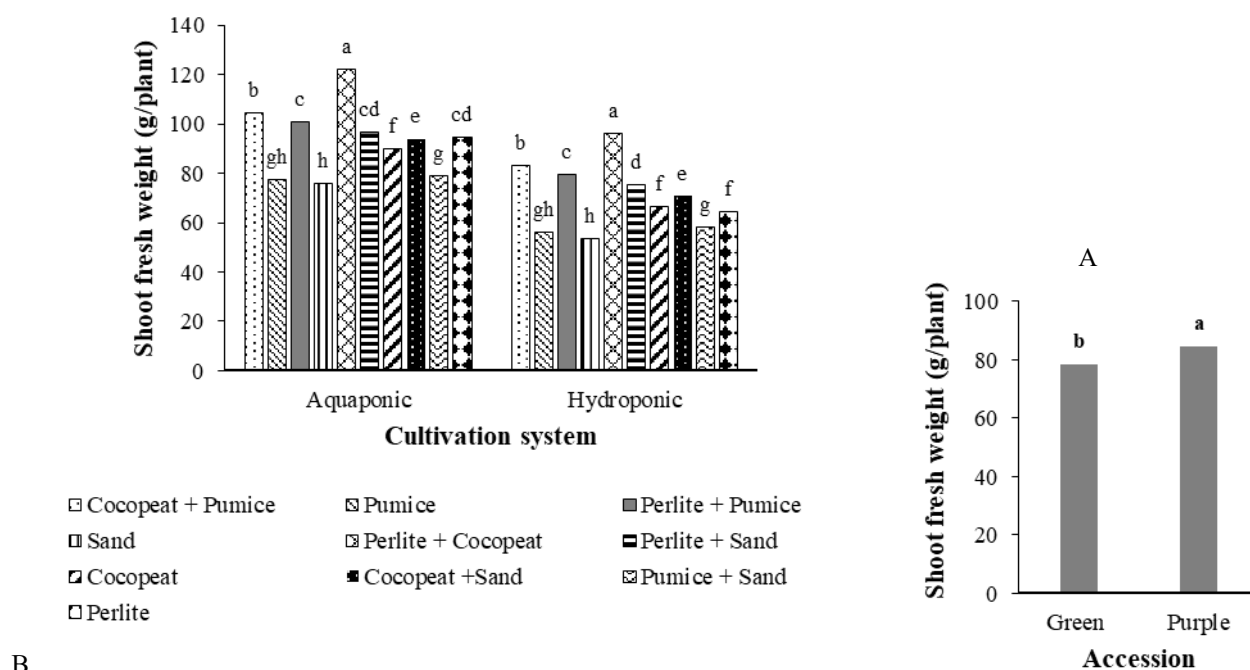
اندازه‌گیری غلظت عناصر در برگ

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر در برگ ریحان، نمونه‌های برگ‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک شدند و پس از پودر شدن برای اندازه‌گیری غلظت عناصر 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 غلظت فسفر با روش رنگ‌سنجی و با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج

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 گنجایش گلدان با آب، مقدار آب مصرفی تا رسیدن به نقطه اشباع اندازه‌گیری شد و در نهایت حجم آب مورد استفاده برای رسیدن به حالت اشباع تقسیم بر حجم ظرف شد. همچنین برای اندازه‌گیری چگالی ظاهری، بستر کشت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به دست آمد و سپس با تقسیم نمودن جرم (گرم) بر حجم (سانتی متر مکعب) (Marshall et al., 1999)، چگالی ظاهری بستر کشت محاسبه شد.

در این پژوهش سامانه کشت هیدروپونیک از نوع بسته و از محلول غذایی آماده شرکت برافزا کشاورز پارس (دارای عناصر غذایی درشت مغذی و ریزمغذی) به منظور تغذیه گیاهان در سامانه هیدروپونیک استفاده شد. برای تهیه محلول غذایی از آب دیونیزه استفاده شد. مقدار غلظت یون‌ها و عناصر غذایی در محلول غذایی شامل نیترات ۹۰ میلی گرم در لیتر، فسفر ۲۵ میلی گرم در لیتر، پتاسیم ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، منیزیم ۱۹ میلی گرم در لیتر، کلسیم ۱۲۰ میلی گرم در لیتر، آهن ۱/۳ میلی گرم در لیتر، بور ۱/۵ میلی گرم در لیتر، منگنز ۲/۶ میلی گرم در لیتر، روی ۰/۱ میلی گرم در لیتر، مس ۰/۰۳ میلی گرم در لیتر و مولیبدن ۰/۰۲ میلی گرم در لیتر بود. میزان pH و EC محلول غذایی به ترتیب ۶/۵ و 2 dS m^{-1} بود. دمای گلخانه برابر ± 2 درجه سلسیوس بود.

سامانه آکواپونیک شامل یک مخزن ۳۰۰ لیتری پرورش ماهی بود که تعداد ۱۰۰ ماهی گرمابی کپور با اندازه بندانگشتی به آن افزوده شد. تغذیه ماهی‌ها به صورت روزانه با استفاده از غذای ماهی تهیه‌شده از شرکت آبزیکو انجام می‌گرفت. آب مخزن ماهی‌ها پس از پمپ‌شدن از یک مخزن فیلتردار عبور می‌کرد تا از کلیه ذرات جامد و رسوبات اضافه تصفیه شده 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



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر ساده توده (A) و اثر برهمکنش سامانه کشت × بستر کشت (B) بر وزن تازه شاخساره ریحان (گرم در بوته)؛ ستون-های با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 1. Mean comparison of simple effect of Accession (A) and interaction effect of growth medium × cultivation system (B) on shoot fresh weight (g per plant) of basil; Columns with at least one similar letter are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش سامانه کشت و بستر کشت نشان داد بیش‌ترین وزن تازه شاخساره (۱۲۲ گرم در بوته) مربوط به بستر کشت T5 در سامانه کشت آکواپونیک بود و کم‌ترین مقدار آن (۵۳/۶۲ گرم در بوته) در بستر T4 در سامانه هیدروپونیک مشاهده شد (شکل ۱B).

وزن خشک شاخساره

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر برهمکنش سه‌گانه تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار شد ($p < 0.01$). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک شاخساره (۲۵/۱۶ گرم در بوته) در سامانه کشت آکواپونیک به توده بنفش کشت‌شده در بستر کشت T5 اختصاص یافت و کم‌ترین میزان آن (۹/۲۹ گرم در بوته) در سامانه کشت هیدروپونیک و توده سبز کشت‌شده در بستر T4 مشاهده شد اما تفاوت معنی‌داری با بستر کشت T3 نشان نداد (جدول ۳).

۴۷۰ نانومتر صورت پذیرفت و برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم از روش نشر شعله و دستگاه فلیم‌فوتومتر استفاده شد.

تجزیه 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

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، آثار ساده همه تیمارهای آزمایشی ($p < 0.01$) و اثر برهمکنش سامانه کشت × بستر کشت ($p < 0.05$) بر وزن تازه شاخساره معنی‌دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱A) وزن تازه شاخساره توده بنفش ۷/۶ درصد بیش‌تر از توده ریحان سبز بود. همچنین

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سامانه کشت، بستر کشت و توده بر صفات رویشی و مورفولوژیک و مقدار عناصر غذایی در ریحان
Table 2. Variance analysis of the effects of cultivation system, growth medium and accession on growth and morphological traits and nutrient contents of basil

فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	نیتروژن Nitrogen	میانگین مربعات (Mean squares)				df	منابع تغییر Sources of variation
			تعداد برگ Leaf number	سطح برگ Leaf area	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weight		
0.0088**	0.006 ^{ns}	0.890 ^{ns}	28517.1**	11.71**	589.988**	15198.07**	1	سامانه کشت Cultivation system
0.001	0.001	0.022	201.2	0.03	1.116	29.01	4	خطای یک Error 1
0.2231**	0.693**	6.924**	6389.5**	25.20**	130.432**	2297.79**	9	بستر کشت Growth medium
0.0784**	0.009*	2.383**	1946.1**	20.42**	40.043**	1083.78**	1	توده Accession
0.0029**	0.018**	0.040**	105.9 ^{ns}	0.52**	0.484**	7.61 ^{ns}	9	بستر کشت × توده Growth medium × Accession
0.0055**	0.012**	0.023*	55.5 ^{ns}	0.44**	0.565**	8.00*	9	سامانه کشت × بستر کشت Cultivation system × Growth medium
0.0063**	0.069**	3.13**	6.7 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.004 ^{ns}	11.17 ^{ns}	9	سامانه کشت × توده Cultivation system × Accession
0.0042**	0.012**	0.076**	95.7 ^{ns}	0.52**	0.492**	2.32 ^{ns}	9	سامانه کشت × بستر کشت × توده Cultivation system × Growth medium × Accession
0.0001	0.001	0.01	85.7	0.07	0.133	3.97	76	خطای ۲ Error 2
---	---	---	---	---	---	---	119	کل Total
1.67	4.46	3.81	8.06	2.21	2.17	2.44	---	ضریب تغییرات CV (%)

ns و ** و *** به ترتیب بیانگر اثر غیرمعنی دار، اثر معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and ** stand for non-significant effect, and significant effects at 5 and 1 percents probability levels, respectively.

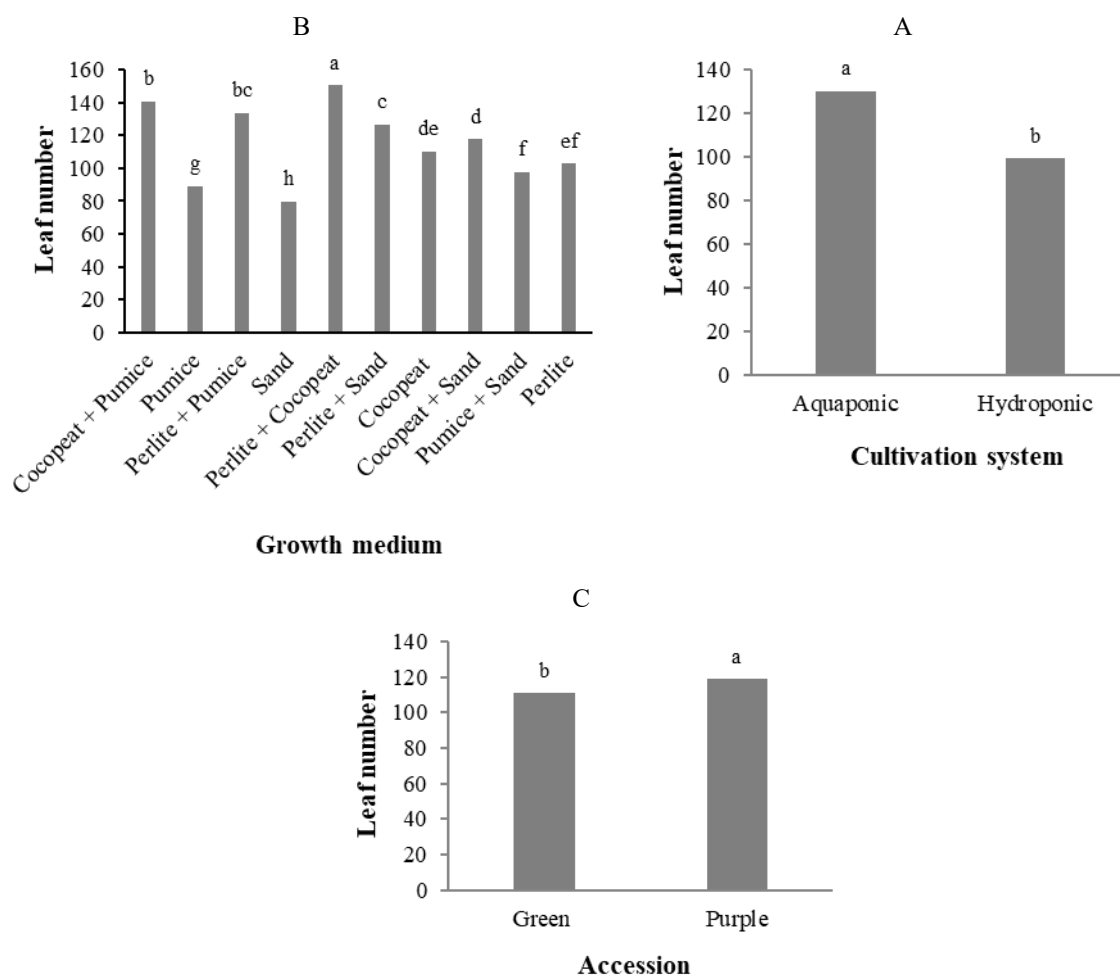
جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش سه‌گانه سامانه کشت × بستر کشت × توده بر صفات رویشی و مورفولوژیک و مقدار عناصر غذایی در ریحان.

Table 3. Mean comparison of triple interaction effect of cultivation system × growth medium × accession on growth and morphological traits and nutrient contents of basil

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

در هر ستون، اعداد با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

In each column, figures with at least one similar letter are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).



شکل ۲. مقایسه میانگین آثار ساده سامانه کشت (A)، بستر کشت (B) و توده (C) بر تعداد برگ ریحان در بوته؛ ستون‌های با حداقل یک حرف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 2. Mean comparison of simple effects of cultivation system (A), growth medium (B) and accession (C) on basil leaf number per plant; Columns with at least one similar letter are not significantly different (LSD, $p < 0.05$).

سطح برگ

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آثار ساده فاکتورهای آزمایشی بر تعداد برگ معنی‌داری شد ($p < 0.01$) ولی آثار برهمکنش آن‌ها بر این صفت از نظر آماری معنی‌دار نشدند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر ساده سامانه کشت بر تعداد برگ نشان داد که تعداد برگ گیاهان کشت‌شده در سامانه کشت آکواپونیک و توده بنفش به ترتیب ۳۱/۱ و ۷/۳ درصد بیش از سامانه هیدروپونیک و توده سبز بود (شکل ۲A و ۲C). همچنین، بیش‌ترین میانگین تعداد برگ در بستر کشت T5 (۱۵۰/۳ برگ در بوته) و کم‌ترین آن در بستر کشت T4 (۷۹/۶ برگ در بوته) حاصل شد (شکل ۲B).

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

بر فراهمی و جذب عناصر غذایی توسط گیاه اثرگذار است. برای نمونه کمبود اکسیژن در محیط رشد موجب کاهش رشد ریشه و افزایش احتمال کمبود عناصر غذایی در گیاه شده و احتمال پوسیدگی ریشه ناشی از قارچ‌ها در محیط‌هایی که به‌خوبی هوادهی نشده اند افزایش می‌یابد (Morard et al., 2000). از دلایل تفاوت رشد گیاهان در بسترهای گوناگون می‌توان به ویژگی‌های مختلف آن‌ها مانند گنجایش تبادل کاتیونی (Lim et al., 2022; Shin et al., 2022)، تخلخل، تهویه و گنجایش نگهداری آب اشاره کرد (Leiber-Sauheitl et al., 2021). در پژوهش‌های اخیر گزارش شده است که کاشت در بسترهای دارای کوکویت به افزایش صفات 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

با توجه به نتایج تجزیه 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 مقادیر نیتروژن (۴/۸۵ درصد)، پتاسیم (۱/۸۷ درصد) و فسفر (۱/۵۹ درصد) در سامانه آکوپونیک و توده بنفش کشت‌شده در بستر T5 حاصل شد. همچنین کم‌ترین مقادیر نیتروژن و پتاسیم در سامانه کشت هیدروپونیک در توده‌های سبز کشت‌شده در بستر T4 و کم‌ترین مقدار فسفر در توده سبز کشت‌شده در بستر T3 تحت سامانه کشت آکوپونیک مشاهده شد (جدول ۳).

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، غلظت عناصر معدنی توده‌های ریحان کشت‌شده در سامانه کشت آکوپونیک از گیاهان کشت‌شده در سامانه هیدروپونیک بیش‌تر بود. وجود فضولات ماهی و نیز غذای مصرف‌نشده توسط ماهی عناصر قابل جذب بیش‌تری را در دسترس ریشه گیاه قرار می‌دهد. برای نمونه بیش‌تر پتاسیم موجود در غذای ماهی توسط ماهی مصرف و جذب نمی‌شود و در مخزن آب ماهی در دسترس

در این پژوهش صفات رویشی (وزن تازه و خشک شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ) توده‌های ریحان در سامانه کشت آکوپونیک نسبت به سامانه هیدروپونیک افزایش بیش‌تری نشان داد. دلیل احتمالی این یافته به یکنواختی و ثبات غلظت عناصر غذایی به‌واسطه تولید پیوسته فضولات و نیز بقایای غذای ماهی نسبت به سامانه هیدروپونیک (که هر هفته چندین بار محلول غذایی دریافت می‌کند) مرتبط است (Lennard, 2020). 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 سامانه‌های آکوپونیک و هیدروپونیک نشان داد که صفاتی مانند وزن تازه، ارتفاع و وزن خشک گیاهان در سامانه آکوپونیک به‌دلیل دریافت عناصر غذایی به‌صورت یکنواخت و دائم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Alcarraz et al., 2018). در پژوهش دیگری زیست‌توده خشک ریحان در سامانه آکوپونیک ۵۸ درصد بیش‌تر از سامانه هیدروپونیک بود (Modarelli et al., 2023). اما در پژوهشی دیگر تعداد برگ‌ها، وزن تازه و خشک ریشه و شاخساره در ریحان کشت‌شده در سامانه هیدروپونیک افزایش معنی‌داری نسبت به سامانه آکوپونیک 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 سامانه مشاهده نشد. در سامانه‌های کشت آکوپونیک بسته به گونه، تنها ۳۰-۲۰ درصد نیتروژن مورد تغذیه آبزیان قرار گرفته و بقیه آن در پساب حاصله آزاد می‌شود که می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار بگیرد (Schneider et al., 2005). در پژوهش حاضر، بستر کشت کوکویت + پرلیت به نتایج بهتری نسبت به بسترهای تکی و نیز سایر بسترهای ترکیبی منجر شد، در صورتی که کم‌ترین میانگین صفات مورد بررسی به بستر کشت خالص ماسه و پوک معدنی اختصاص یافت. ویژگی‌های بستر کشت که دربرگیرنده ریشه است تعیین‌کننده میزان رشد و عملکرد گیاه است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر کشت

گیاهان مانند عملکرد کل، وزن خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع، تعداد برگ و نیز غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاهانی که در بسترهای غیرخاکی کشت شده بودند به طور چشم گیری افزایش یافت (Chang et al., 2023).

نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که گیاهان در سامانه کشت آکوپونیک به دلیل یکنواختی عناصر غذایی و دسترسی مداوم ریشه به عناصر قابل جذب، از رشد بیش تری برخوردار بودند. همچنین در بین بسترهای کشت مختلف، بستر مخلوط با نسبت مساوی کوکوپیت + پرلیت به رشد بیش تر ریحان و افزایش غلظت عناصر در برگ ریحان منجر شد. چنین نتایجی به برتری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی کوکوپیت + پرلیت نسبت به سایر بسترهای کشت نیز مربوط است. با توجه به نتایج به دست آمده اگرچه هر دو سامانه کشت از کارایی مناسبی در تولید ریحان برخوردار بودند اما سامانه آکوپونیک به دلیل هم راستا بودن با استانداردهای کشاورزی پایدار و نیز تولید هم زمان دو محصول که با سود اقتصادی بیش تری برای تولیدکنندگان همراه است می تواند مورد توجه تولیدکنندگان بخش کشاورزی به ویژه در مناطقی که با محدودیت های آبی و یا خاک های قابل کشت روبرو هستند قرار بگیرد.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که با تأمین هزینه های این پژوهش ما را در به ثمر رساندن هر چه بهتر آن یاری نمودند به عمل آورند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچگونه تضاد منفعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

ریشه قرار می گیرد. از طرفی پیوستگی تامین عناصر غذایی در سامانه آکوپونیک بیش تر از سامانه هیدروپونیک است و ورود تدریجی و کم و زیاد شدن غلظت عناصر در سامانه هیدروپونیک موجب کاهش رشد گیاهان نسبت به سامانه کشت آکوپونیک می شود. نتایج یک پژوهش نشان داد که ریحان کشت شده در سامانه آکوپونیک از سطوح بالاتری از عناصر غذایی پرمصرف برخوردار بودند، اما تفاوت معنی داری به لحاظ آماری با سامانه هیدروپونیک نداشتند (Saha et al., 2016). در پژوهش دیگری مقایسه غلظت عناصر ریحان در دو سامانه کشت آکوپونیک و هیدروپونیک نشان داد که بین مقدار نترات و فسفر گیاه در دو سامانه کشت تفاوت معنی داری وجود ندارد؛ اما مقدار پتاسیم در برگ های ریحان در سامانه کشت هیدروپونیک افزایش معنی داری نشان داد (Modarelli et al., 2023). بر اساس پژوهش های انجام شده، تنها ۷ درصد پتاسیم موجود در غذای ماهی به تغذیه ماهی رسیده و ۹۳ درصد آن وارد سامانه آکوپونیک می شود. با این حال از آنجایی که پتاسیم یک عنصر ضروری در غذای ماهی نیست به همین دلیل مقدار زیادی پتاسیم در محیط آکوپونیک تجمع می یابد (Rafiee and Saad, 2005). همچنین میزان کافی فسفر می تواند از راه فضولات و باقی مانده غذای ماهی وارد سامانه آکوپونیک شود. در صورتی که آب مصرفی در سامانه کشت آکوپونیک از کیفیت خوبی برخوردار باشد و میزان فسفر دفع شده در فضولات ماهی به حدود ۱/۱ درصد برسد هیچ گونه کمبود فسفری برای گیاه رخ نمی دهد. مقدار جذب عناصر در دو سامانه کشت آکوپونیک و هیدروپونیک به شدت تحت تأثیر محیط کشت قرار می گیرد. به طور کلی بسترهای کشت بدون خاک به دلیل افزایش کارایی جذب عناصر به افزایش صفات رویشی و نیز کیفی در گیاهان منجر می شوند. چنانچه در پژوهشی که بر روی کشت نخل روغنی^۱ در محیط کشت خاکی به عنوان شاهد و نیز نسبت های متفاوت بسترهای کشت دارای کوکوپیت، پرلیت و پیت ماس صورت گرفت، بیش ترین صفات رویشی

1. *Elaeis guineensis*

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. *Therm. Sci. Eng. Prog.* 42, 101896.
2. Delaide, B., Delhay, 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. Biol., Agric. Healthc.* 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. <https://doi.org/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*, Third 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, A.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., Tirola, 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. Growth and yield of three bean plant cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) on various planting media hydroponically. In: AIP Conference Proceedings, Malta, 22-24 June (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, Australia, July 5–8, 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. Iran. Econ. Rev., 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>.