روابط خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۰ / صفحات ۶۸-۵۳
مقاله پژوهشی

# مقایسه رشد، عملکرد و ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک پنج‌گونه نعناع در سیستم کشت آکواپونیک

مریم یعقوب‌وند[۱]، حسن مومیوند[۱*]، اشکان بنان[۲] و محمدرضا راجی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱۲)

## چکیده

**پژوهش حاضر با هدف تلفیق زیستی پرورش ماهی کپور و پنج‌گونه نعناع در سیستم آکواپونیک انجام شد. بررسی به‌صورت طرح آزمایشی کرت‌های خردشده در زمان اجرا شد. گونه‌های نعناع (شامل نعناع آبی، پونه، سبز، سیب و فلفلی) به‌عنوان فاکتور اصلی و برداشت (چین اول و چین دوم) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. بیش‌ترین وزن تازه و خشک برگ، وزن تازه و خشک استولون، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، تعداد برگ، طول میان گره، تعداد استولون و سطح برگ مربوط به نعناع آبی بود. گونه‌های نعناع آبی، فلفلی و پونه نیز بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی و قطر ساقه را به خود اختصاص دادند. بیش‌ترین وزن خشک ساقه و ارتفاع بوته نیز مربوط به پونه بود. بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه در نعناع سیب، نعناع سبز و نعناع آبی مشاهده شد. بیش‌ترین محتوای نسبی آب (RWC) مربوط به نعناع فلفلی بود که با گونه‌های نعناع آبی، نعناع سبز و نعناع سیب اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین میزان شاخص سبزینگی (SPAD) در نعناع آبی و فلفلی به‌دست آمد. علاوه بر این، اغلب صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل وزن تازه برگ، وزن تازه استولون، وزن تازه اندام هوایی، تعداد برگ، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی و فرعی، سطح برگ، RWC و شاخص SPAD برای گونه‌های نعناع در چین دوم زیادتر بودند. در مجموع نعناع آبی و نعناع فلفلی از لحاظ اغلب صفات مورد بررسی بهتر از دیگر گونه‌ها نشان دادند و پتانسیل زیاد این دو گونه برای کشت در سیستم آکواپونیک نمایان شد.**

**واژه‌های کلیدی: آکواپونیک، نعناع، مورفولوژی، صفات بیوشیمیایی**

## مقدمه

پرورش ماهی و گیاه (آکواپونیک، Aquaponic) یکی از روش‌های نوین کشاورزی پایدار زیست محیطی در قرن بیست و یکم است (۱۱ و ۲۱). این سیستم با استفاده مجدد از آب و مواد مغذی در سیستم تلفیقی، کاهش آلودگی محیط‌زیست (۶) و کاهش مصرف آب شیرین برای تولید ماهی در سیستم پرورش آبزیان را موجب می‌شود (۱۲). در این روش حداقل ۵۰ درصد از مواد مغذی خوراک ماهی به مواد معدنی تبدیل شده و به مصرف گیاه می‌رسد (۱۶). در این سیستم فضولات آبزیان از طریق مخازنی که میکروب‌هایی

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲- گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mumivand.h@lu.ac.ir

خاص در آن‌ها زیست می‌کنند، فیلتر شده و برای جذب گیاه آماده می شوند. تبدیل آمونیاک ($NH_3$) به نیترات ($NO_3^-$) از طریق باکتری‌های نیتریفیکاسیون یکی از مهم‌ترین این واکنش‌ها است. کارایی زیاد مصرف آب، استفاده بسیار کم از کود شیمیایی، استفاده محدود از سموم، عدم نیاز به خاک، پرورش همزمان گیاه و ماهی و به‌حداقل رساندن میزان انتشار زباله آبزی‌پروری به محیط زیست، از مهم‌ترین مزایای این سیستم است (۲۵). صرفه اقتصادی روش آکواپونیک با توجه به پرورش همزمان ماهی و گیاه و عدم مصرف کودهای شیمیایی بیش‌تر از هیدروپونیک است (۹ و ۲۲). سیستم آکواپونیک یک راه‌حل پایدار برای تولید و پرورش ماهی و گیاهان و همچنین کاهش بیکاری و کسری تجاری (به‌دلیل واردات زیاد محصولات غذایی) در بسیاری از کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه است (۴).

جنس نعناع (*Mentha*) از مهم‌ترین و متنوع‌ترین جنس‌های خانواده نعناعیان (Lamiaceae) و دارای بیش از ۲۵ گونه است (۱۹). گونه‌های مختلف این جنس به‌دلیل داشتن مواد فعال و معطر از ارزش اقتصادی زیادی برخوردار هستند و به‌عنوان ماده اولیه در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی، آشامیدنی و دارویی کاربرد دارند. از نعناع به‌عنوان یک داروی ضدعفونی‌کننده، کاهش‌دهنده اختلالات گوارشی و کاهنده سردرد، خوشبوکننده خمیردندان، عطر، لوازم آرایشی، شیرینی و آروماتراپی استفاده می شود (۱). در بین گونه های مختلف این جنس، نعناع فلفلی (*M. piperita*)، نعناع سبز (*M. spicata*) و نعناع سیب (*M. suaveolens*) از رایج‌ترین و محبوب‌ترین گونه ها برای کشت هستند (۲۳). نعناع آبی (*M. aquatica*) نیز گیاهی چند ساله از این جنس است که در اروپا، شمال و شمال غرب آفریقا و جنوب غرب آسیا مورد کشت قرار می گیرد (۱۷) و ارتفاع آن به ۹۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه‌ها به‌صورت سبز یا بنفش و متغیر کرک‌دار تا تقریباً بدون کرک هستند (۳). نعناع سبز گیاهی علفی با ریشه سطحی و ساقه های مستقیم و چهارگوش و ساقه زیرزمینی و برگ‌های خوش‌بوی آن خوراکی و دارویی است. نعناع سبز معمولاً در سرتاسر جهان کشت می‌شود (۵۰). نعناع فلفلی یکی از مهم‌ترین گیاهان معطر دارویی از نظر اقتصادی است که در اکثر نقاط دنیا کشت می‌شود. نعناع فلفلی یک هیبرید بین گونه ای و عقیم است که از تلاقی نعناع آبی و نعناع سبز حاصل شده است. ساقه‌ها معمولاً بنفش مایل به قرمز و مربعی هستند. نعناع پونه (*M. pulegium*) به‌دلیل خاصیت تحریکی و ضداسپاسم به‌طور سنتی در درمان سوءهاضمه متورم و قولنج روده استفاده می‌شود (۱۸). تعداد برگ و سطح برگ مهم‌ترین فاکتورها برای ارزیابی عملکرد و پتانسیل اقتصادی گونه‌های نعناع به‌شمار می رود (۳۷). بیش‌تر گونه‌های نعناع محیط مرطوب و خاک‌های مرطوب را ترجیح می‌دهند (۵). بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند کاهو، نعناع، خیار، گوجه‌فرنگی، رزماری و ریحان با موفقیت در سیستم آکواپونیک آزمایش شده‌اند و از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نشان داده‌اند (۱۰، ۲۰، ۲۶ و ۳۴). برای مثال ویلسون (۴۲) بیان کرد که تکنیک کشت آکواپونیک بر روش‌های هیدروپونیک در تولید سبزیجات برتری دارد. در آزمایشی که توسط لنارد ولئونارد (۹) انجام شد، رشد کاهو در سیستم آکواپونیک و در بستر شنی بهتر از سیستم لایه نازک ماده غذایی و ریشه‌های معلق در آب بود. به‌طور کلی گونه‌های توصیه شده برای آکواپونیک بیش‌تر گیاهان علفی مانند ریحان (*Ocimum basilicum*)، نعناع فلفلی و نعناع سبز هستند، زیرا رشد سریع، سازگاری زیاد و کاربردهای مختلفی از جمله در آشپزی، صنایع دارویی و غذایی دارند (۲، ۱۴، ۲۸، ۳۱، ۳۲، ۳۵ و ۳۶).

با وجود فواید متعدد آکواپونیک، پژوهش‌های بسیار محدودی در ارتباط با کشت گونه های مختلف نعناع در این سیستم‌ها وجود دارد. شت و همکاران در دو سال متوالی (۲۰۱۶ و ۲۰۱۷) نشان دادند عملکرد نعناع (*Mentha arvensis*) در سیستم آکواپونیک با استفاده از ماهی کپور نسبت به شرایط هیدروپونیک بیشتر است (۳۸ و ۳۹). تاکنون مقایسه جامعی بین گونه‌های مهم جنس نعناع صورت نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی قابلیت کشت و مقایسه رشد،

**شکل ۱.** سیستم آکواپونیک مورد استفاده در آزمایش: الف) استخر پرورش ماهی، ب) سیستم فیلتراسیون، ج) گیاهان نعناع پرورش یافته.

**Fig. 1.** The aquaponic system used in the experiment: a) fish pond, b) filtration system, c) mint plants grown in aquaponic system.

عملکرد و ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک پنج‌گونه نعناع در سیستم کشت آکواپونیک انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در هر یک از بلوک‌های آزمایشی یک ردیف (با تعداد ده بوته) از پنج‌گونه مختلف نعناع (شامل: نعناع آبی *Mentha aquatica*، نعناع پونه *Mentha pulegium*، نعناع سبز *Mentha spicata*، نعناع سیب *Mentha suaveolens* و نعناع فلفلی *Mentha piperita*) کشت شد. در این پژوهش برای هر بلوک آزمایشی یک سیستم آکواپونیک شامل یک مخزن مستطیلی به ابعاد ۱/۵ در ۰/۷ و به عمق ۰/۸ متر برای پرورش ماهی ساخته شد. درون مخزن ماهی یک بخاری آکواریومی ۲۰۰ وات قرار داده شد و از یک شناور برای کنترل سطح آب استفاده شد. یک مخزن برای سیستم کشت شناور گیاه به ابعاد ۲ در ۱/۵ و به عمق ۰/۲ متر ساخته و راه‌اندازی شد. برای نگهداری گیاهان کاشته شده در سیستم کشت عمیق[1] در کشت آکواپونیک از صفحات استیروفوم به قطر ۵ سانتی‌متر روی آب استفاده شد. در این صفحات سوراخ‌هایی ایجاد و درون آن‌ها گلدان شیاردار کوچک (قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۷ سانتی‌متر) قرار داده شد. از ۱۰ گرم زئولیت نیز برای بهبود آب بستر کشت درون کیسه پنبه‌ای کوچکی در درون گلدان استفاده شد. برای سیستم فیلتراسیون نیز از ۴ مخزن (۳۵ لیتری) استفاده شد، آب مخزن ماهی برای حذف مواد جامد رسوب‌شونده وارد فیلتر مکانیکی می‌شد که مواد جامد و درشت را از طریق استوانه مخروطی درونی ته‌نشین می‌کرد. مواد جامد رسوب شده روزانه با بازکردن شیر تعبیه‌شده در زیر مخزن خارج می‌شد و هر هفته یک‌بار استوانه مخروطی با آب پرفشار شستشو شد. دو مخزن بیوفیلتر با پومیس (پوکه معدنی) پر شد که فیلتراسیون زیستی برای رشد باکتری‌ها و تبدیل آمونیاک به نیتریت و نیترات را فراهم می‌کردند. پساب حاصل از بیوفیلتر وارد مخزن گاززدایی می‌گردید که توسط لوله‌های هوا هوادهی می‌شد. آب از این مخازن توسط پمپ کف‌کش سوبو به بستر کشت انتقال می‌یافت. یک شناور نیز برای تنظیم آب این مخزن در نظر گرفته شد. خروجی آب بستر کشت پیش از ورود به مخزن پرورش ماهی وارد مخزنی دیگر می‌شد تا پارامترهای آب خروجی اندازه‌گیری شود و در نهایت وارد مخزن پرورش ماهی می‌شد (شکل ۱).

در ابتدای آزمایش به هر یک از مخازن ۶۰۰ لیتری پرورش ماهی که هوادهی آن‌ها با استفاده از پمپ هوای مرکزی هایلا A-300 (با هوادهی ۲۴۰ لیتر در دقیقه) انجام می‌شد، ۴۰ قطعه ماهی کپور ۲۰–۱۵ گرمی (تهیه شده از مرکز تکثیر و بازسازی ذخایر ماهیان بومی و گرمابی شهید ملکی در ۲۰ کیلومتری جنوب اهواز) افزوده شد. در طول آزمایش ماهی‌ها دو بار در روز با استفاده از پلت مصنوعی به میزان ۳ درصد وزن بدن با غذای کامل دارای پروتئین تغذیه شدند. با افزایش وزن ماهی غذای آن هم افزایش پیدا کرد (جدول ۱).

1. Deep Water Culture

**جدول ۱.** ارزش غذایی خوراک ماهی کپور.

**Table 1.** Nutritional value of carp feed.

| Compounds ترکیبات | Amount مقدار |
|---|---|
| Crude protein پروتئین خام | 35–38 (g) |
| Crude fat چربی خام | 4–8 (g) |
| Raw fiber فیبر خام | 4–7 (g) |
| Ash خاکستر | 7–11 (g) |
| Moisture content رطوبت | 5–11 % |
| Phosphorus فسفر | 1–1.5 (g) |

نشاهای پنج‌گونه نعناع مورد بررسی از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه شد. یک ماه پس از شروع تغذیه ماهی‌ها و فعال شدن چرخه سیستم آکواپونیک نشاها به بسترهای کشت انتقال داده شدند. در طول آزمایش میانگین دمای روزانه گلخانه و آب استخرهای ماهی ۲۸–۲۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۷۰–۶۰ درصد و شدت نور ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه بود. هر هفته کلات آهن به میزان ۲ میلی‌گرم بر لیتر به سیستم آکواپونیک افزوده می‌شد. در زمان شروع گلدهی صفات مرتبط با عملکرد و مورفولوژیک شامل وزن تازه و خشک برگ، وزن تازه و خشک ساقه، وزن تازه و خشک استولون، وزن تازه و خشک ریشه، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، حجم ریشه، نسبت برگ به ساقه، تعداد و سطح برگ، ارتفاع بوته، طول میان‌گره، قطر ساقه، تعداد ساقه اصلی و فرعی، تعداد گره و تعداد استولون اندازه‌گیری شدند. حجم ریشه با استفاده از روش استغراق در آب استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ میانگین، یک برگ از گره سوم هر گیاه برای ۱۰ بوته جدا شد و توسط دستگاه سطح برگ‌سنج (دلتا تی اسکن) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنویید ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ گیاه در درون هاون چینی با ده میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد و پس از سانتریفیوژ (۴۰۰۰ دور در ۱۵ دقیقه)، محلول رویی با کاغذ صافی (CHM اسپانیا مدل F1001) یا کاغذ فیلتر سلولزی که از الیاف سلولز ساخته شده و سطح جلوگیری از عبور ذرات تا ۲/۵ میکرومتر را داشت برای فیلتراسیون گرانشی ساده صاف شد، سپس بر اساس روش لیچتنتالر و همکاران (۱۳) میزان کلروفیل و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. بر اساس این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول‌موج‌های ۴۷۰ ($A_{470}$)، ۶۴۵ ($A_{645}$) و ۶۶۳ ($A_{663}$) نانومتر قرائت شده و مقدار کلروفیل a و b و کارتنویید بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ بر اساس روابط (۴–۱) محاسبه شد که در این فرمول‌ها V و W به‌ترتیب حجم محلول بر حسب میلی‌لیتر و وزن تازه برگ بر حسب گرم است:

$$\text{Chlorophyll a (mg/g)} = (19.3\times A_{663} - 0.86\times A_{645})\times V/100W \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/g)} = (19.3\times A_{645} - 3.6\times A_{663})\times V/100W \quad (۲)$$

$$\text{Chl T (mg/g)} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b} \quad (۳)$$

$$\text{Carotenoids (mg/g)} = (100\times A_{470} - 3.27\times \text{Chl. a}) - 104\ (\text{Chl. b})/227 \quad (۴)$$

محتوای نسبی آب برگ بر اساس روش ریچی و هانسون (۳۳) اندازه‌گیری شد. برای این منظور برگ‌های جوان توسعه یافته در اوایل صبح نمونه‌برداری شده و وزن تازه (Fw) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آب مقطر قرار گرفته و پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها (Sw) اندازه‌گیری شد. در ادامه برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک (Dw) آن‌ها اندازه‌گیری شد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دیجیتالی در رابطه (۵) میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) به‌دست آمد:

$$\text{RWC (\%)} = [(\text{Fw-Dw})/(\text{Sw-Dw})] \times 100 \quad (۵)$$

شاخص سبزینگی (SPAD) با دستگاه مدل (Cl–01) قرائت شد. در ادامه فاکتورهای مرتبط با تبادلات گازی شامل اختلاف فشار بخار آب، تعرق، فتوسنتز و دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای در برگ‌های بالغ بالایی توسط دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی پروتابل (CI-340,Handheld) Photosynthesis system اندازه‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی بهتر قابلیت کشت این گونه‌ها

در سیستم کشت آکواپونیک، تمام صفات مورد بررسی حدود دو ماه پس از برداشت اول اندازه‌گیری شدند. بنابراین پژوهش حاضر با ارزیابی صفات مختلف در دو چین صورت گرفت.

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی کرت‌های خردشده در زمان با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. پنج گونه نعناع به‌عنوان عامل اصلی و برداشت (چین‌های اول و دوم) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین تیمارها نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد.

## نتایج

### صفات مورفولوژیک و زیست‌توده گیاهی

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و زیست‌توده گیاهی گونه‌های نعناع (جدول ۲) نشان داد، اثر گونه بر صفات وزن تازه و خشک برگ، وزن تازه و خشک ساقه، وزن تازه و خشک استولون، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ریشه، وزن تازه و خشک اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، نسبت برگ به ساقه، تعداد برگ، ارتفاع بوته، طول میان‌گره، قطر ساقه، تعداد استولون و سطح برگ معنی‌دار شد. صفات وزن تازه برگ، وزن تازه استولون، حجم ریشه، وزن تازه و خشک ریشه، وزن تازه اندام هوایی، تعداد برگ، ارتفاع بوته، تعداد ساقه اصلی و فرعی و سطح برگ نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر چین قرار گرفتند. برهم‌کنش گونه و برداشت نیز بر صفات حجم ریشه، وزن تازه ریشه، وزن خشک ریشه و تعداد گره معنی‌دار بود (جدول ۲).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر گونه، بیش‌ترین وزن تازه برگ (۱۷۰/۷ گرم در بوته)، وزن خشک برگ (۲۷/۲۸ گرم در بوته)، وزن تازه استولون (۴۲/۲۷ گرم در بوته)، وزن خشک استولون (۵/۴۶ گرم در بوته)، وزن تازه اندام هوایی (۳۸۴/۱ گرم در بوته)، تعداد برگ (۱۲۰۱/۹)، طول میان‌گره (۵/۵۵ سانتی‌متر)، تعداد استولون (۱۳/۹۱) و سطح برگ (۳۶/۴۴ سانتی‌متر مربع) مربوط به گونه نعناع آبی بود. با این وجود تفاوت معنی‌داری بین نعناع آبی و پونه از نظر طول میان‌گره وجود نداشت. از نظر تعداد استولون نیز نعناع فلفلی با نعناع آبی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. بیش‌ترین میزان وزن تازه ساقه در دو گونه نعناع آبی و پونه (به‌ترتیب ۱۷۱/۱ و ۱۵۲ گرم در بوته) مشاهده شد. گونه‌های نعناع آبی، نعناع فلفلی و پونه نیز بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی (به‌ترتیب ۵۵/۰۸، ۴۶/۱ و ۴۵/۶۵ گرم در بوته)، وزن خشک کل بوته (به‌ترتیب ۶۳/۴۳، ۵۹/۳۳ و ۵۳/۸۴ گرم در بوته) و قطر ساقه (به‌ترتیب ۶، ۵/۴۵ و ۵/۵ میلی‌متر) را به خود اختصاص دادند. بیش‌ترین میزان وزن خشک ساقه (۲۸/۹۹ گرم در بوته) و ارتفاع بوته (۹۳ سانتی‌متر) نیز مربوط به پونه بود. بیش‌ترین نسبت برگ به ساقه نیز در نعناع سیب، نعناع سبز و نعناع آبی (به‌ترتیب ۱/۴۸، ۱/۳۸ و ۱/۲۳) مشاهده شد. کم‌ترین وزن تازه برگ، وزن خشک برگ و وزن تازه ساقه در نعناع سیب به‌دست آمد. کم‌ترین میزان وزن خشک ساقه، وزن تازه اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کل بوته، طول میانگره و قطر ساقه مربوط به دو گونه نعناع سیب و نعناع سبز بود. درحالی که نعناع سبز کم‌ترین وزن تازه و خشک استولون، ارتفاع بوته و سطح برگ را دارا بود. کم‌ترین نسبت برگ به ساقه مربوط به پونه و کم‌ترین تعداد برگ مربوط به نعناع فلفی بود. کم‌ترین تعداد استولون نیز در پونه و نعناع سبز مشاهده شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اثر برداشت نشان‌دهنده برتری چین دوم نسبت به چین اول در مورد برخی صفات مورد بررسی بود. بیش‌ترین وزن تازه برگ (۱۰۲/۷ گرم در بوته)، وزن تازه استولون (۱۶/۶۷ گرم در بوته)، وزن تازه اندام هوایی (۲۳۲/۱ گرم در بوته)، تعداد برگ (۱۰۶۸/۶)، ارتفاع بوته (۷۹/۳۳ سانتی‌متر)، تعداد ساقه اصلی و فرعی (۲۶/۸) و سطح برگ (۲۴/۲۱ سانتی‌متر مربع) در چین دوم مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش گونه و برداشت نشان داد که بیش‌ترین حجم ریشه (۳۸۵ میلی‌لیتر در بوته)، وزن تازه ریشه (۲۵۴/۸ گرم در بوته) و وزن خشک ریشه (۱۴/۵۳ گرم در بوته) مربوط به چین دوم نعناع فلفلی بود که با سایر گونه‌های نعناع در هر دو چین اختلاف معنی‌داری دارد. بیش‌ترین تعداد گره (۱۵/۵) در چین اول و نعناع پونه مشاهده شد (جدول ۵).

**جدول ۲.** تجزیه واریانس اثر تیمارهای گونه و زمان برداشت بر صفات مورفولوژیک و زیست‌توده گیاهی نعناع.

**Table 2.** Analysis of variance of morphological traits and plant biomass of mint as affected by species and harvest time.

| خطا Error | زمان برداشت × گونه Harvest time × Species | زمان برداشت Harvest time | بلوک × گونه Rep × Species | گونه Species | بلوک Rep | Source of variation منبع تغییر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 4 | 1 | 8 | 4 | 2 | Df درجه آزادی |
| 8.87 | $12.7^{ns}$ | $^{**}270$ | 124 | $^{**}11111$ | $46.7^{ns}$ | Leaf fresh weight وزن تازه برگ |
| 1.25 | $0.52^{ns}$ | $1.53^{ns}$ | 8.5 | $269^{**}$ | $7.89^{ns}$ | Leaf dry weight وزن خشک برگ |
| 305 | $380^{ns}$ | $889^{ns}$ | 739 | $18156^{**}$ | $1173^{ns}$ | Stem fresh weight وزن تازه ساقه |
| 7.9 | $2.55^{ns}$ | $0.21^{ns}$ | 21.1 | $552^{**}$ | $5.16^{ns}$ | Stem dry weight وزن خشک ساقه |
| 5.45 | $9.48^{ns}$ | $39.2^{*}$ | 213 | $1823^{**}$ | $603^{ns}$ | Stolon fresh weight وزن تازه استولون |
| 0.27 | $0.05^{ns}$ | $0.20^{ns}$ | 4.7 | $30.7^{*}$ | $11.4^{ns}$ | Stolon dry weight وزن خشک استولون |
| 52.8 | $207^{*}$ | $3456^{**}$ | 91.9 | $57967^{**}$ | $179^{ns}$ | Root volume حجم ریشه |
| 33.0 | $195^{*}$ | $3494^{**}$ | 69.3 | $32333^{**}$ | $144^{ns}$ | Root fresh weight وزن تازه ریشه |
| 0.13 | $1.56^{**}$ | $18.4^{**}$ | 0.27 | $94.2^{**}$ | $1.06^{ns}$ | Root dry weight وزن خشک ریشه |
| 360 | $345^{ns}$ | $2759^{*}$ | 1534 | $67426^{**}$ | $3527^{ns}$ | Fresh weight of aerial parts وزن تازه اندام هوایی |
| 15.7 | $4.44^{ns}$ | $4.61^{ns}$ | 62.1 | $1601^{**}$ | 55.1ns | Dry weight of aerial parts وزن خشک اندام هوایی |
| 10 | 4 | 1 | 8 | 4 | 2 | Df درجه آزادی |
| 14.62 | $8.25^{ns}$ | $41.5^{ns}$ | 69.0 | $2238^{**}$ | $66.6^{ns}$ | Leaf fresh weight وزن تازه برگ |
| 0.003 | $0.006^{ns}$ | $0.0003^{ns}$ | 0.039 | $0.90^{**}$ | $0.0009^{ns}$ | Leaf dry weight وزن خشک برگ |
| 1434 | $3777^{ns}$ | $35089^{**}$ | 31447 | $161851^{*}$ | $55875^{ns}$ | Stem fresh weight وزن تازه ساقه |
| 23.2 | $83.6^{ns}$ | $2323^{**}$ | 53.5 | $1099^{**}$ | $13.5^{ns}$ | Stem dry weight وزن خشک ساقه |
| 0.04 | $0.05^{ns}$ | $0.0003^{ns}$ | 0.98 | $6.65^{*}$ | $1.85^{ns}$ | Stolon fresh weight وزن تازه استولون |
| 0.08 | $0.05^{ns}$ | $0.00008^{ns}$ | 0.22 | $12^{**}$ | $0.33^{ns}$ | Stolon dry weight وزن خشک استولون |
| 2.97 | $5.07^{ns}$ | $52^{**}$ | 35.1 | $93.4^{ns}$ | $27.2^{ns}$ | Root volume حجم ریشه |
| 0.13 | $0.57^{*}$ | $0.13^{ns}$ | 2.28 | $7.47^{ns}$ | $1.07^{ns}$ | Root fresh weight وزن تازه ریشه |
| 4.93 | $1.40^{ns}$ | $7^{ns}$ | 30.6 | $190^{*}$ | $88.9^{ns}$ | Root dry weight وزن خشک ریشه |
| 1.03 | $1.23^{ns}$ | $16.5^{**}$ | 1.63 | $405^{**}$ | $0.74^{ns}$ | Fresh weight of aerial parts وزن تازه اندام هوایی |

Mean of square میانگین مربعات

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند.

*, ** and ns stand for significant effect at the levels of 1 and 5% and no significant effect, respectively.

**جدول ۳.** مقایسه میانگین اثر گونه بر صفات مورفولوژیک و زیست‌توده گیاهی نعناع.

**Table 3.** Mean comparisons of the effect of species on morphological traits and plant biomass of mint.

| *M. piperita* نعناع فلفلی | *M. suaveolens* نعناع سیب | *M. spicata* نعناع سبز | *M. pulegium* نعناع پونه | *M. aquatica* نعناع آبی | Species گونه |
|---|---|---|---|---|---|
| 59.33[a] | 21.19[b] | 27.61[b] | 53.84[a] | 63.43[a] | Dry weight of plant (g plant $^{-1}$) وزن خشک کل بوته (گرم در بوته) |
| 0.85[b] | 1.48[a] | 1.38[a] | 0.55[c] | 1.23[a] | Leaf to stem ratio نسبت برگ به ساقه |
| 808[c] | 925[bc] | 1157[ab] | 1078[ab] | 1201[a] | Number of leaves تعداد برگ |
| 64.8[bc] | 63.3[bc] | 58.7[c] | 93[a] | 72.7[b] | Plant height (cm) ارتفاع بوته (سانتی‌متر) |
| 4.16[bc] | 3.15[c] | 3.65[c] | 5.37[ab] | 5.55[a] | Intermediate length (cm) طول میان‌گره (سانتی‌متر) |
| 5.45[a] | 2.94[b] | 3.27[b] | 5.5[a] | 6[a] | Stem diameter (mm) قطر ساقه (میلی‌متر) |
| 11.7[ab] | 5.83[bc] | 0.5[c] | 3.42[c] | 13.9[a] | Number of stolons تعداد استولون |
| 26.7[b] | 18.1[cd] | 16.7[d] | 19.2[c] | 36. 4[a] | Mean leaf surface (cm$^2$) میانگین سطح برگ (سانتی‌متر مربع) |
| 109[b] | 64.4[d] | 74. 2[cd] | 1[c].80 | 170[a] | Leaf fresh weight (g plant $^{-1}$) وزن تازه برگ (گرم در بوته) |
| 19.3[b] | 10.4[d] | 12.0[cd] | 15.9[bc] | 27.2[a] | Leaf dry weight (g plant $^{-1}$) وزن خشک برگ (گرم در بوته) |
| 102[b] | 38.5[c] | 71.6[bc] | 152[a] | 171[a] | Stem wet weight (g plant $^{-1}$) وزن تازه ساقه (گرم در بوته) |
| 23.0[ab] | 7.16[c] | 8.72[c] | 28.9[a] | 22.3[b] | Stem dry weight (g plant $^{-1}$) وزن خشک ساقه (گرم در بوته) |
| 23.7[ab] | 7.28[bc] | 0.1[c] | 4.26[bc] | 42.2[a] | Stolon fresh weight (g plant $^{-1}$) وزن تازه استولون (گرم در بوته) |
| 3.67[ab] | 1.46[bc] | 0.001[c] | 0.68[bc] | 5.46[a] | Stolon dry weight (g plant $^{-1}$) وزن خشک استولون (گرم در بوته) |
| 235[b] | 110[c] | 146[c] | 236[b] | 384[a] | Fresh weight of aerial parts (g plant $^{-1}$) وزن تازه اندام هوایی (گرم در بوته) |
| 46.1[a] | 19.0[b] | 20.8[b] | 45.6[a] | 55.0[a] | Dry weight of aerial parts (g plant $^{-1}$) وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) |

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each column, based on LSD test at 5% probability level, are not significantly different.

**جدول ۴.** مقایسه میانگین اثر زمان برداشت بر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژی نعناع.

**Table 4.** Mean comparison of the effect of harvest time on growth, yield and morphological traits of mint.

| Second harvest<br>برداشت دوم | First harvest<br>برداشت اول | Harvest time<br>زمان برداشت |
|---|---|---|
| 102[a] | 96[b] | Leaf fresh weight (g plant $^{-1}$)<br>وزن تازه برگ (گرم در بوته) |
| 16.6[a] | 14.3[b] | Stolon fresh weight (g plant $^{-1}$)<br>وزن تازه استولون (گرم در بوته) |
| 232[a] | 212[b] | Fresh weight of aerial parts (g plant $^{-1}$)<br>وزن تازه اندام هوایی (گرم در بوته) |
| 1068 [a] | 1000[b] | Number of leaves<br>تعداد برگ |
| 79.3[a] | 61.7[b] | Plant height (cm)<br>ارتفاع بوته (سانتی‌متر) |
| 26.8[a] | 24.1[b] | Number of main and secondary stems<br>تعداد شاخه اصلی و فرعی |
| 24.2[a] | 22.7[b] | Mean leaf surface (cm$^2$)<br>میانگین سطح برگ (سانتی‌متر مربع) |

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each column, based on LSD test at 5% probability level, are not significantly different.

**صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی**

نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی (جدول ۶) نشان داد، اثر گونه بر صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، کارتنویید و شاخص سبزینگی (SPAD) معنی‌دار شد. صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، محتوای نسبی آب، کاروتنوئید و شاخص SPAD نیز به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر برداشت قرار گرفتند. برهم‌کنش گونه × برداشت در مورد صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنویید معنی‌دار شد. بر خلاف این صفات، اختلاف فشار بخار هوا، تعرق، فتوسنتز و دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای تحت تأثیر گونه، مرحله برداشت و برهم‌کنش آن‌ها قرار نگرفتند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر گونه نشان داد بیش‌ترین محتوای نسبی آب (۸۳/۷ درصد) مربوط به نعناع فلفلی بود که با گونه‌های نعناع آبی، نعناع سبز و نعناع سیب اختلاف معنی داری نداشت و کم‌ترین محتوای نسبی آب (۷۳/۵ درصد) در پونه مشاهده شد. بیش ترین میزان شاخص SPAD در نعناع آبی و نعناع فلفلی (به‌ترتیب ۱۴/۵ و ۱۳/۵۳ اسپون) و کم‌ترین آن در نعناع سبز و نعناع سیب به‌دست آمد (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر برداشت نشان داد میزان محتوای نسبی آب و شاخص SPAD (به‌ترتیب ۸۲/۴ درصد و ۱۱/۷ اسپون) در چین دوم بیش‌تر از چین اول بود (شکل ۳).

نتایج مقایسه میانگین برهم کنش گونه و برداشت نشان داد که بیش ترین میزان کلروفیل a (۳۱/۷۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) مربوط به چین دوم نعناع سبز بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه گونه‌ها و در هر دو چین داشت. با این وجود بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۲۵/۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و کلروفیل کل (۵۵/۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در چین دوم نعناع آبی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر گونه‌ها و در هر دوچین داشت. بیش ترین میزان کاروتنویید (۷/۶۸ میلی‌گرم درگرم وزن تازه) نیز مربوط به چین دوم نعناع فلفلی بود (جدول ۷).

**جدول ۵.** مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش گونه و زمان برداشت بر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژیک نعناع.

**Table 5.** Mean comparisons of the interaction effect of species and harvest time on growth, yield and morphological traits of mint.

| Harvest time<br>زمان برداشت | Species<br>گونه | Root volume (ml)<br>حجم ریشه (میلی‌لیتر در بوته) | Root fresh weight (g plant$^{-1}$)<br>وزن تازه ریشه (گرم در بوته) | Root dry weight (g plant$^{-1}$)<br>وزن خشک ریشه (گرم در بوته) | Number of nodes<br>تعداد گره |
|---|---|---|---|---|---|
| First harvest<br>برداشت اول | نعناع آبی *M. aquatica* | 229. 6$^{d}$ | 118$^{d}$ | 7.87$^{d}$ | 12.3$^{c}$ |
| | نعناع پونه *M. pulegium* | 197$^{e}$ | 85.4$^{e}$ | 6.83$^{ef}$ | 15.5$^{a}$ |
| | نعناع سبز *M. spicata* | 173.6$^{f}$ | 124$^{d}$ | 6.23$^{f}$ | 13.1$^{bc}$ |
| | نعناع سیب *M. suaveolens* | 95.3$^{g}$ | 32$^{f}$ | 1.91$^{g}$ | 14.6$^{ab}$ |
| | نعناع فلفلی *M. piperita* | 350$^{b}$ | 225$^{b}$ | 11.9$^{b}$ | 13.6$^{abc}$ |
| Second harvest<br>برداشت دوم | نعناع آبی *M. aquatica* | 250$^{c}$ | 128$^{d}$ | 8.82$^{c}$ | 12.3$^{c}$ |
| | نعناع پونه *M. pulegium* | 226$^{d}$ | 121$^{d}$ | 9.55c | 14.3$^{abc}$ |
| | نعناع سبز *M. spicata* | 191$^{e}$ | 146$^{c}$ | 7.32$^{de}$ | 13$^{bc}$ |
| | نعناع سیب *M. suaveolens* | 99.6$^{g}$ | 42.2$^{f}$ | 2.4$^{g}$ | 15$^{ab}$ |
| | نعناع فلفلی *M. piperita* | 385$^{a}$ | 254$^{a}$ | 14.5$^{a}$ | 14$^{abc}$ |

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each column, based on LSD test at 5% probability level, are not significantly different.

**جدول ۶.** تجزیه واریانس اثر تیمارهای گونه و زمان برداشت بر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نعناع.

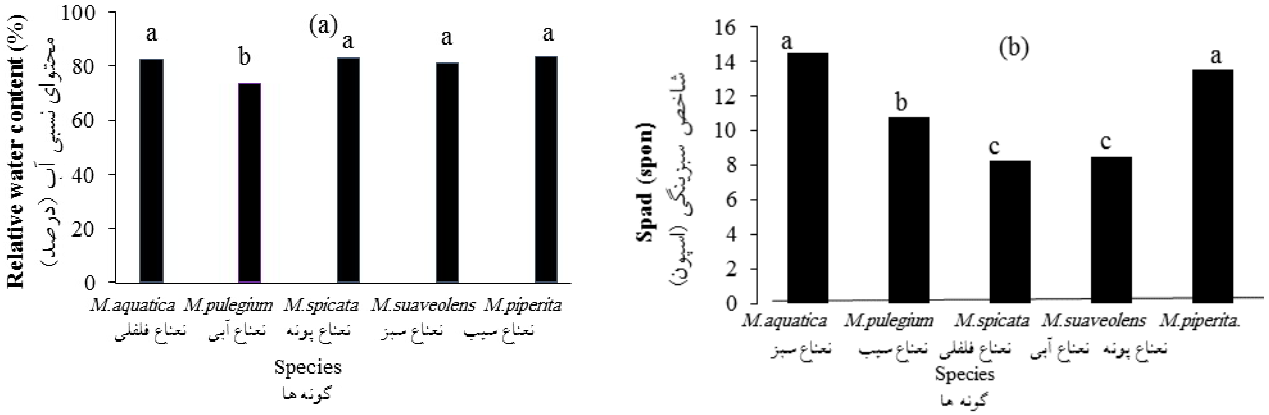
**Table 6.** Analysis of variance of some physiological and biochemical traits of mint species as affected by species and harvest time.

| Error<br>خطا | Harvest time × Species<br>زمان برداشت × گونه | Harvest time<br>زمان برداشت | Rep × Species<br>بلوک × گونه | Species<br>گونه | Rep<br>بلوک | Source of variation<br>منبع تغییر |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 4 | 1 | 8 | 4 | 2 | |
| 0.10 | 14.8$^{**}$ | 405$^{**}$ | 0.02 | 227$^{**}$ | 0.01$^{ns}$ | Chlorophyll a<br>کلروفیل a |
| 0.79 | 80.8$^{**}$ | 238$^{**}$ | 0.37 | 77.8$^{**}$ | 0.009$^{ns}$ | Chlorophyll b<br>کلروفیل b |
| 0.80 | 84.3$^{**}$ | 1266$^{**}$ | 0.46 | 470$^{**}$ | 0.00009$^{ns}$ | Total Chlorophyll<br>کلروفیل کل |
| 14.5 | 14.5$^{ns}$ | 80. 5$^{*}$ | 9.59 | 105$^{**}$ | 2.85$^{ns}$ | Relative water content<br>محتوای نسبی آب |
| 0.03 | 0.61$^{**}$ | 0.30$^{*}$ | 0.04 | 10.7$^{**}$ | 0.01$^{ns}$ | Carotenoid<br>کارتنویید |
| 0.46 | 1.59$^{ns}$ | 9.59$^{**}$ | 2.18 | 48.8$^{**}$ | 6.39$^{ns}$ | SPAD index<br>شاخص سبزینگی |
| 0.02 | 0.00005$^{ns}$ | 0.25$^{ns}$ | 0.063 | 0.47$^{ns}$ | 0.01$^{ns}$ | Vapor pressure deficit<br>کمبود فشار بخار هوا |
| 0.39 | 0.33$^{ns}$ | 0.69$^{ns}$ | 1.95 | 2.09$^{ns}$ | 3.9$^{ns}$ | Transpiration تعرق |
| 7.57 | 10.6$^{ns}$ | 39.3$^{ns}$ | 32.3 | 116$^{ns}$ | 19.0$^{ns}$ | Photosynthesis<br>فتوسنتز |
| 368 | 963$^{ns}$ | 498$^{ns}$ | 923 | 522$^{ns}$ | 4.29$^{ns}$ | $CO_2$ inter<br>دی‌اکسید کربن زیر روزنه |

Mean of square میانگین مربعات

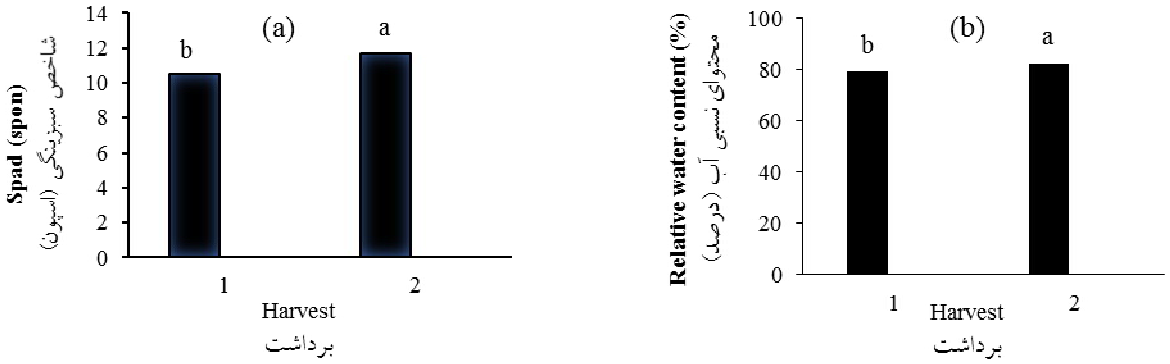
**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد و عدم تأثیر معنی‌دار هستند.

*, ** and ns stand for significant effect at the levels of 1 and 5% and no significant effect, respectively.




**شکل ۲.** مقایسه میانگین اثر گونه بر الف) محتوای نسبی آب و ب) شاخص سبزینگی (SPAD) نعناع.

**Fig. 2.** Mean comparisons of the effect of species on a) the relative water content and b) greenness (SPAD) index of mint.




**شکل ۳.** مقایسه میانگین اثر زمان برداشت (چین) بر الف) شاخص سبزینگی (SPAD) و ب) محتوای نسبی آب نعناع.

**Fig. 3.** Mean comparisons of the effect of harvest time on a) greenness (SPAD) index and b) relative water content of mint.

## بحث

در پژوهش حاضر قابلیت کشت گونه‌های با ارزش جنس نعناع در سیستم آکواپونیک مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که نتایج نشان داد پنج گونه نعناع مورد بررسی در این آزمایش با موفقیت در سیستم آکواپونیک پرورش یافتند و با وجود اینکه از هیچ گونه مواد غذایی برای تغذیه گیاهان استفاده نشد (به‌استثنای مکمل آهن)، رشد و عملکرد مناسب گیاهان مشاهده شد. راکوسی و همکاران (۲۹) کشت موفق ریحان و بامیه را در سیستم آکواپونیک گزارش کردند. در آلمان نیز کشت آکواپونیک نعناع فلفلی در سیستم خانگی با موفقیت انجام شد. در این پژوهش عملکرد محصول در شرایط استفاده از ماهی تیلاپیا (*Oreochromis niloticus*) بیش‌تر از ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) بود (۸). میانگین وزن تازه نعناع فلفلی در سیستم آکواپونیک با پرورش ماهی تیلاپیا ۲۰/۷ گرم در بوته و در شرایط پرورش ماهی کپور ۱۷/۵گرم در بوته بود که از وزن تازه نعناع فلفلی‌های پرورش یافته در پژوهش حاضر (۲۳۵/۶۷ گرم در بوته) بسیار کم‌تر بود. این امر می‌تواند نشان‌دهنده طراحی و اجرای بهینه سیستم آکواپونیک در پژوهش حاضر باشد که در نهایت به رشد زیاد گیاهان منجر شد. ماشای و همکاران (۱۵) نیز کشت موفق ریحان (۳/۱ کیلوگرم بر مترمربع)، نعناع معمولی (۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع)، نعناع فلفلی (۳/۹ کیلوگرم بر مترمربع)، نعناع پنی‌رویال (۱/۲ کیلوگرم بر مترمربع)، کاهو (۱/۳ کیلوگرم بر مترمربع) و برگ چغندر (۴ کیلوگرم بر مترمربع) را در سیستم آکواپونیک گزارش کردند.

**جدول ۷.** مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش گونه و زمان برداشت بر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نعناع.

**Table 7.** Mean comparisons of the interaction effect of species and harvest time on some physiological and biochemical traits of mint.

| Harvest time<br>زمان برداشت | Species<br>گونه | Chlorophyll a<br>کلروفیل a<br>(mg g$^{-1}$)<br>میلی‌گرم در گرم وزن تازه | Chlorophyll b<br>کلروفیل b<br>(mg g$^{-1}$)<br>میلی‌گرم در گرم وزن تازه | Total Chlorophyll<br>کلروفیل کل<br>(mg g$^{-1}$)<br>میلی‌گرم در گرم وزن تازه | Carotenoid<br>کارتنویید<br>(mg g$^{-1}$)<br>میلی‌گرم در گرم وزن تازه |
|---|---|---|---|---|---|
| First harvest<br>برداشت اول | *M. aquatica*<br>نعناع آبی | 24.2$^{d}$ | 8.40$^{de}$ | 32.6$^{d}$ | 5.57$^{c}$ |
| | *M. pulegium*<br>نعناع پونه | 12.9$^{i}$ | 8$^{de}$ | 20.9$^{g}$ | 4.38$^{d}$ |
| | *M. spicata*<br>نعناع سبز | 19.4$^{f}$ | 8.55$^{de}$ | 27.9$^{e}$ | 4.58$^{d}$ |
| | *M. suaveolens*<br>نعناع سیب | 12.6$^{i}$ | 8.21$^{de}$ | 20.8$^{g}$ | 3.55$^{e}$ |
| | *M. piperita*<br>نعناع فلفلی | 22.3$^{e}$ | 6.16$^{f}$ | 28.4$^{e}$ | 6.39$^{b}$ |
| Second harvest<br>برداشت دوم | *M. aquatica*<br>نعناع آبی | 30.1$^{c}$ | 25.3$^{a}$ | 55.5$^{a}$ | 5.27$^{c}$ |
| | *M. pulegium*<br>نعناع پونه | 17.4$^{h}$ | 10.0$^{c}$ | 27.5$^{e}$ | 4.59$^{d}$ |
| | *M. spicata*<br>نعناع سبز | 31.7$^{a}$ | 9.20$^{cd}$ | 40.9$^{c}$ | 4.60$^{d}$ |
| | *M. suaveolens*<br>نعناع سیب | 18.1$^{g}$ | 7.64$^{e}$ | 25.7$^{f}$ | 3.33$^{e}$ |
| | *M. piperita*<br>نعناع فلفلی | 30.9$^{b}$ | 15.2$^{b}$ | 46.1$^{b}$ | 7.68$^{a}$ |

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each column, based on LSD test at 5% probability level, are not significantly different.

در پژوهش دیگری افزایش میزان رشد و عملکرد، افزایش زیست‌توده گیاهی، وزن تازه و وزن خشک نعناع وحشی (*M. arvensis*) در کشت آکواپونیک، در مقایسه با سیستم بدون ماهی گزارش شد (۴۱). کانوس و همکاران (۹) کشت نعناع سبز در سیستم آکواپونیک شناور با ماهی کپور را با موفقیت انجام دادند. میانگین وزن تازه گیاه، میزان سطح برگ و ارتفاع بوته نعناع سبز در پژوهش آن ها به‌ترتیب برابر با ۳۱/۸ گرم در بوته، ۱۰/۹ سانتی‌متر مربع و ۱۷/۴ سانتی‌متر گزارش شد. با این‌حال میانگین وزن تازه گیاه (۱۴۶ گرم در بوته)، سطح برگ (۱۶/۷۴ سانتی‌متر مربع) و ارتفاع بوته (۵۸/۷۵ سانتی‌متر) نعناع سبز کشت شده در پژوهش حاضر بسیار بیش‌تر بود. این تفاوت می‌تواند نشان‌دهنده طراحی مناسب و برتری سیستم آکواپونیک اجرا شده در پژوهش حاضر باشد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، نعناع آبی از لحاظ اغلب صفات مهم مورفولوژیک و زیست‌توده گیاهی (تعداد برگ، سطح برگ، نسبت برگ به ساقه، وزن تازه و خشک کل بوته، وزن تازه و خشک اندام هوایی و وزن تازه و خشک برگ) بهتر از دیگر گونه‌ها نشان داد. نعناع فلفلی نیز از نظر وزن خشک

اندام هوایی و وزن خشک کل بوته در بین سایر گونه‌ها وضعیت مناسبی داشت. ولی نعناع سیب و نعناع سبز کم‌ترین میزان رشد و عملکرد را داشتند. ساها و همکاران (۳۳) با مقایسه چند رقم ریحان در سیستم کشت آکواپونیک عنوان کردند که گیاهان کشت شده در سیستم آکواپونیک با استفاده از مواد مغذی دفع شده توسط خرچنگ و خوراک مصرف نشده، رشد و عملکرد زیادی داشتند. این پژوهش‌گران رشد و عملکرد متفاوت ارقام مورد بررسی را در شرایط آکواپونیک گزارش کردند. نتایج آن‌ها حاکی از وجود تفاوت بین ارقام ریحان از لحاظ وزن تازه، وزن خشک، تعداد گره، ارتفاع بوته، طول میان‌گره و تعداد شاخه بود که علت آن را وجود تفاوت ژنتیکی بین ارقام و هم‌چنین تفاوت قدرت جذب ارقام مختلف در مقادیر زیاد نیتروژن و فسفر تولید شده توسط خرچنگ و خوراک مصرفی در سیستم بیان کردند. کشت شش گونه گیاهی کلم چینی، میزونا، برگ چغندر، کاهو، پاک چوی، ریحان، چیا و گوجه چری نیز در سیستم آکواپونیک نتایج متفاوتی را از نظر عملکرد و مقدار سبزینگی (شاخص SPAD) **نشان** داد. پارامترهای رشد گیاه به‌طور کلی تحت تأثیر نوع محصول قرار گرفت (۴۳). مقایسه بین دو گونه کاهو در کشت آکواپونیک نشان داد که کاهوی سبز نسبت به کاهوی قرمز رشد و عملکرد بیشتری (قطر شاخ و برگ و وزن تازه و خشک) داشت. تفاوت بین گونه‌های کاهو ناشی از تفاوت در توانایی جذب مواد مغذی از سیستم عنوان شد (۲۶).

در پژوهش حاضر بین گونه‌های نعناع از نظر برخی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تفاوت وجود داشت. بیش‌ترین محتوای نسبی آب و کارتنویید مربوط به نعناع فلفلی، بیش‌ترین میزان شاخص SPAD، کلروفیل b و کلروفیل کل مربوط به نعناع آبی و بیش‌ترین میزان کلروفیل a مربوط به نعناع سبز بود که نشان‌دهنده تنوع بین گونه‌های مورد بررسی بود. تفاوت‌های موجود بین گونه‌های مختلف نعناع ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین آن‌ها است. در مقایسه بین دو مرحله برداشت نیز مشخص شد که چین دوم در مورد بسیاری از صفات نسبت به چین اول برتری داشت. برای مثال مقادیر وزن تازه و خشک ریشه، حجم ریشه، تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن تازه اندام هوایی، وزن تازه برگ، محتوای نسبی آب، شاخص SPAD، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در چین دوم بیشتر بود. نتایج پژوهش حاضر در این بخش با نتایج راکوسی (۳۰) در کشت آکواپونیک ریحان هم‌خوانی داشت. این پژوهشگر گزارش کرد که عملکرد ریحان در برداشت دوم دو برابر بیشتر از برداشت اول بود. در سیستم آکواپونیک با گذشت زمان و افزایش میزان آمونیاک درون مخزن ماهی، تعداد باکتری‌های نیتریفیکاسیون افزایش پیدا می‌کند که منجر به تولید مقادیر بیش‌تر نیترات به‌عنوان مهم‌ترین منبع نیتروژن و در نتیجه رشد و عملکرد بیش‌تر گیاه می‌شود (۷).

## نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر قابلیت کشت پنج گونه با ارزش و دارویی از جنس نعناع در سیستم آکواپونیک مورد ارزیابی قرار گرفت. همه گونه‌های مورد بررسی در این آزمایش با موفقیت در سیستم آکواپونیک پرورش یافتند. به‌دلیل کارایی زیاد مصرف آب، استفاده بسیار کم از کود شیمیایی، عدم نیاز به خاک، پرورش همزمان گیاه و ماهی و به حداقل رساندن میزان انتشار زباله آبزی‌پروری به محیط‌زیست، کشت نعناع در سیستم آکواپونیک می‌تواند به‌عنوان روشی سالم و سودآور جایگزین سیستم‌های دیگر در کشت نعناع شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین گونه‌های نعناع از نظر رشد، عملکرد و صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. انتخاب گونه هایی که در طیف وسیعی از محیط‌ها عملکرد خوبی داشته باشند، می‌تواند عملکرد کمّی و کیفی نعناع را افزایش دهد. نعناع آبی و نعناع فلفلی از لحاظ اغلب صفات مورد بررسی نسبت به دیگر گونه‌ها برتری داشته و پتانسیل زیاد این دو گونه برای کشت در سیستم آکواپونیک نمایان شد. با این وجود تولیدکنندگان نعناع باید بر اساس مصارف دارویی و یا مصرف به‌عنوان سبزی، در انتخاب بین این دو گونه برای کشت تجاری دقت کنند.

## منابع مورد استفاده

1. Anon., 2009. Mentha Oil Seasonal Report retrieved from: Available online at: http://www.karvycommodities. com/downloads/karvySpecialReports/karvysSpecialReports_20111012113231. pdf.
2. ASA. 2009. Alliance for sustainable aquaculture and food and water watch. Land-based recirculating aquaculture systems: a more sustainable approach to aquaculture. pp. 9. Available at http://www.recirculatingfarms.org/downloads/ RAS.pd
3. Blamey, M., Grey-Wilson, C., 1989. Illustrated Flora of Britain and Northern Europe. Hodder and Stroughton.
4. Bosma, R.H., Lacambra, L., Landstra, Y., Perini, C., Poulie, J., Schwaner, M.J., Yin, Y., 2017. The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacultural Engineering* 78: 146–154.
5. de Sousa, D.P., Lima, T.C., Steverding, D., 2016. Evaluation of antiparasitic activity of *Mentha crispa* essential oil, its major constituent rotundifolone and analogues against *Trypanosoma brucei*. *Planta Medica* 82(15): 1346–1350.
6. Endut, A., Lananan, F., Abdul Hamid, S.H., Jusoh, A., Wan Nik, W.N., 2016. Balancing of nutrient uptake by water spinach (*Ipomoea aquatica*) and mustard green (*Brassica juncea*) with nutrient production by African catfish (*Clarias gariepinus*) in scaling aquaponic recirculation system. *Desalination and Water Treatment* 57(60): 29531–29540.
7. Haug, R.T., McCarty, P.L., 1972. Nitrification with submerged filters. *Journal (Water Pollution Control Federation*) 44(11): 2086–2102.
8. Knaus, U., Appelbaum, S., Palm, H.W., 2018. Significant factors affecting the economic sustainability of closed backyard aquaponics systems. Part IV: Autumn herbs and polyponics. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 11(6): 1760–1775.
9. Knaus, U., Wenzel, L.C., Appelbaum, S., Palm, H.W., 2020. Aquaponics (sl) production of spearmint (*Mentha spicata*) with African Catfish (*Clarias gariepinus*) in Northern Germany. *Sustainability* 12(20): 8717.
10. Lennard, W.A., Leonard, B.V., 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International* 14(6): 539–550.
11. Lennard, W., Ward, J., 2019. A comparison of plant growth rates between an NFT hydroponic system and an NFT aquaponic system. *Horticulturae* 5(2): 27.
12. Li, G., Tao, L., Li, X.L., Peng, L., Song, C.F., Dai, L.L., Wu, Y.Z., Xie, L., 2018. Design and performance of a novel rice hydroponic biofilter in a pond-scale aquaponic recirculating system. *Ecological Engineering* 125: 1–10.
13. Liang, J.Y., Chien, Y.H., 2015. Effects of photosynthetic photon flux density and photoperiod on water quality and crop production in a loach (*Misgurnus anguillicandatus*)–nest fern (*Asplenium nidus*) raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation* 102: 214–222.
14. Lichthentaler, H.K., 1987. Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes. In: Colowick, S.P., Kaplan, N.O. (Eds.), Methods in Enzymology, Vol. 148.
15. Makri, O., Kintzios, S., 2008. *Ocimum* sp. (basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants* 13(3): 123–150.
16. Mashaii, N., Rajabipour, F., Hosseinzadeh, H., Hafezieh, M., 2021. Greenhouse tilapia culture in aquaponic system. *Survey in Fisheries Sciences*, 7(2): 209–217.
17. Mudahar, M.S., Hignett, T.P., 1985. Energy efficiency in nitrogen fertilizer production. *Energy in Agriculture* 4: 159–177.
18. Huxley, A.J., Griffiths, M., 1992. Dictionary of Gardening. Stockton Press.
19. Newall, C.A., Anderson, L.A., Phillipson, J.D., 1996. *Herbal Medicines. A Guide for Health-Care Professionals*. The Pharmaceutical Press.
20. Nezami, S., Nemati, H., Arooei, H., Bagheri, A.R., 2016. Effect of soil moisture regimes under controlled conditions on growth and biomass in *Mentha* species. *Journal of Plant Production* 23(2): 51–72. (in Persian with English abstract)
21. Nozzi, V., Graber, A., Schmautz, Z., Mathis, A., Junge, R., 2018. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. *Agronomy* 8(3): 27.
22. Oladimeji, A.S., Olufeagba, S.O., Ayuba, V.O., Sololmon, S.G., Okomoda, V.T., 2020. Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University-Science* 32(1): 60–66.
23. Ortiz, E.L., 1992. Encyclopedia of Herbs, Spices, and Flavorings. Dorling Kindersley.
24. Palm, H.W., Bissa, K., Knaus, U., 2014. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation* 7(3): 162–175.
25. Palm, H.W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S.M., Vermeulen, T., Jijakli, M.H., Kotzen, B., 2018. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3): 813–842.
26. Pantanella, E., 2012. Nutrition and Quality of Aquaponic Systems. PhD Thesis, Universitàdegli Studi della Tuscia,Viterbo, Italy, 124 p.

27. Pineda-Pineda, J., Valdez-Zamora, A., Miranda-Velázquez, I., Rodríguez-Pérez, J.E., Ramírez-Arias, J.A., Lozano-Toledano, A., 2017. Yield of two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic and aquaponic systems. In: *International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant* 1227, Beijing, China, pp. 347–354.
28. Rains, J., 2007. Plants that grow well in aquaponics. *Backyard Aquaponics* (1): 20–28.
29. Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C., Thoman, E.S., 2004. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In: *New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of The Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, September*, Manila, Philippines, pp. 12–16.
30. Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center, publication no. 454.
31. Rakocy, J.E., 2012. Aquaponics: integrating fish and plant culture. *Aquaculture Production Systems* 1: 343–386.
32. Ramirez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., Giraldo, H.H., 2008. La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 4(1-2); 32–51.
33. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., Holaday, A.S., 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30(1); 105–111.
34. Saha, S., Monroe, A., Day, M.R., 2016. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences* 61(2): 181–186.
35. Savidov, N., Brooks, A.B., 2004. Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Crop Diversification Centre South, Alberta Agriculture, Food and Rural Development.
36. Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A., 2014. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), p.I.
37. Tiwari, S., 2008. Plants: A rich source of herbal medicine. *Journal of Natural Products* 1: 27–35.
38. Shete, A.P., Verma, A.K., Chadha, N.K., Prakash, C., Peter, R.M., Ahmad, I., Nuwansi, K.K.T. 2016. Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with common carp (*Cyprinus carpio*) and mint (*Mentha arvensis*). *Aquacultural Engineering* 72: 53–57.
39. Shete, A.P., Verma, A.K., Chadha, N.K., Prakash, C., Chandrakant, M.H., Nuwansi, K.K.T. 2017. Evaluation of different hydroponic media for mint (*Mentha arvensis*) with common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles in an aquaponic system. *Aquaculture International* 25(3): 1291–1301.
40. Wilson, G., 2005. Greenhouse aquaponics proves superior to inorganic hydroponics. *Aquaponics Journal* 39(4): 14–17.
41. Yang, T., Kim, H.J., 2019. Nutrient management regime affects water quality, crop growth, and nitrogen use efficiency of aquaponic systems. *Scientia Horticulturae* 256: 108619.
42. Zargari, A., 2014. Medicinal Plants. Tehran University Press, Third Edition, 567 p. (in Persian)

# Cultivation Capability and Comparison of Growth, Yield, Morphological and Physiological Characteristics of Five Species of Mint in Aquaponic System

**M. Yaghobvand[1], H. Mumivand[1*], A. Banan[2] and M.R. Raji[1]**

(Received: 1 May 2021; Accepted: 4 October 2021)

## Abstract

The present study was conducted with the aim of symbiotic integration of *Cyprinus carpio* and five species of mint in the aquaponics system. The experiment was performed as a split plot design in time. *Mentha* species including *Mentha aquatica, Mentha pulegium, Mentha spicata, Mentha suaveolens and Mentha piperita* were considered as the main plot and harvest times (first and second) were used as sub-plots. The highest leaf number, internode length, number of stolon and leaf area were belonged to *M. aquatica*. On the other hand, *M. aquatica*, *M. piperita* and *M. pulegium* showed the highest shoot dry weight and stem diameter, while, the highest dry weight of stem and plant height were obtained in *M. pulegium*. The highest leaf/stem ratio was also observed for *M. suaveolens*, *M. spicata* and *M. aquatic*, respectively The highest relative water content (RWC) was related to *M. piperita*, which was not significantly different from those of *M. aquatica*, *M. spicata* and *M. suaveolens*. The highest greenness (SPAD) index was obtained in *M. aquatica* and *M. piperita*. Almost all of the studied traits including leaf fresh weight, stolon fresh weight, shoot fresh weight, leaf number, plant height, number of stem, leaf area, RWC and SPAD index were higher in the second harvest of mint species. Overall, *M. aquatica* and *M. piperita* showed a better performance than other species in terms of most of the studied traits and may be recommended for cultivation in the aquaponics system.

**Keywords**: Aquaponics, Biochemical traits, Interspecies differences, Mint.

**Background and Objective:** Aquaponics fish farming is one of the new methods of sustainable agriculture in the 21st century (1). Aquaponics is a form of agriculture that combines raising fish in tanks (recirculating aquaculture) with soilless plant culture (hydroponics). In aquaponics, the nutrient-rich water from raising fish provides a natural fertilizer for the plants and the plants help to purify the water for the fish (2). Many plant species such as lettuce, mint, mushrooms, cucumbers, tomatoes, rosemary and basil have been successfully cultivated in the aquaponics system and have been shown to be economically viable (2, 4, 5). Wilson (2005) stated that the vegetable production in aquaponics techniques is higher in yield than hydroponic methods.

Among the different species of mint, *M. piperita*, *M. spicata and M. suaveolens* are the most common and

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2- Department of Fisheries and Environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

* Corresponding Author, Email: mumivand.h@lu.ac.ir

popular species for cultivation. *M. aquatica* is also a perennial plant of the genus that is cultivated in Europe, North and Northwest Africa and Southwest Asia. *M. piperita* is traditionally used to treat swollen indigestion and colic due to its irritating and antispasmodic properties (3). Despite the many benefits of aquaponics, no research has been previously conducted on the cultivation of different species of mint in this system. Therefore, the present study was conducted with the aim of symbiotic integration of *Cyprinus carpio* and five species of mint in the aquaponics system.

**Methods:** This study was conducted in greenhouses of faculty of Agriculture and Natural Resources of Lorestan University in 2020. The experiment was performed as a split plot design in time. *Mentha* species including *Mentha aquatica*, *Mentha pulegium*, *Mentha spicata*, *Mentha suaveolens* and *Mentha piperita* were considered as the main plot and harvest time (first and second) were used as sub-plots. One month after the start of feeding the fish, the seedlings were transferred to the culture media. In each experimental block, one row (with ten plants) of five mint species was planted. Iron chelates were added to the aquaponics system at a rate of 2 mg/L weekly. Finally, morphological and physiological traits and some biochemical characteristics of plants were measured. After harvesting the first batch of plants and for better evaluation of species in the aquaponics system, all studied traits were measured about two months after the first harvest. Analysis of variance was performed based on the experimental design using SAS software. The comparisons of means were also done with the least significant difference (LSD) test at the level of 5%.

**Results:** The highest number of leaves, internode length, number of stolon and leaf area were related to *M. aquatica*. Other species of *M. aquatica*, *M. piperita* and *M. pulegium* showed the highest shoot dry weight and stem diameter. While, the highest dry weight of stem and plant height were obtained in *M. pulegium*. The highest leaf/stem ratio was also observed in *M. suaveolens*, *M. spicata* and *M. aquatica*. The highest RWC was related to *M. piperita*, which was not significantly different from those of *M. aquatica*, *M. spicata* and *M. suaveolens*. The highest SPAD index was obtained in *M. aquatica* and *M. piperita*. Furthermore, almost all of the studied traits in this experiment including leaf fresh weight, stolon fresh weight, shoot fresh weight, leaf number, plant height, number of stem, leaf area, RWC and SPAD index were higher in the second harvest when compared with the first one.

**Conclusions:** According to the results of the present study, *M. aquatica* has shown higher performance than other species in terms of the most important morphological traits including leaf number, leaf area, leaf/stem ratio, fresh and dry weights of plant, fresh and dry weights of shoots and fresh and dry weights of leaves. Among the other species, the highest shoot dry weight and plant dry weight was obtained from *M. piperita*. In contrast, *M. spicata* and *M. suaveolens* had the lowest growth and final yield. The high potential of *M. aquatica* and *M. piperita* for cultivation in the aquaponics system can be concluded.

**References:**

1. Nozzi, V., Graber, A., Schmautz, Z., Mathis, A., Junge, R., 2018. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. *Agronomy* 8(3): 27–42.
2. Oladimeji, A.S., Olufeagba, S.O., Ayuba, V.O., Sololmon, S.G., Okomoda, V.T., 2020. Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University-Science* 32(1): 60–66.
3. Ortiz, E.L., 1992. Encyclopedia of Herbs, Spices, and Flavorings. Dorling Kindersley.
4. Wilson, G., 2005. Greenhouse aquaponics proves superior to inorganic hydroponics. *Aquaponics Journal* 39(4): 14–17.
5. Savidov, N., Brooks, A.B., 2004. *Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta*. Crop Diversification Centre South, Alberta Agriculture, Food and Rural Development.