بررسی رشد، میزان اسانس و غلظت عناصر معدنی دو گونه نعناع در سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک

حمیدرضا روستا[1*] و فاطمه قربانی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۹

چکیده

آکواپونیک علم تلفیق تولید ماهی و گیاه در یک رابطه هم‌زیستی است. آزمایشی در دانشگاه ولی عصر رفسنجان به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور سیستم کشت در دو سطح (هیدروپونیک و آکواپونیک) و گونه گیاهی در دو سطح (نعناع فلفلی و نعناع معمولی) و طرح پایه کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که اکثر فاکتورهای رویشی در دو گونه نعناع در سیستم هیدروپونیک بیشتر از سیستم آکواپونیک بودند. به طوری که وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه، سطح برگ و تعداد گره در هر دو گونه نعناع در سیستم هیدروپونیک بیشتر از سیستم آکواپونیک بود. شاخص سبزینگی به طور معنی‌داری تحت تأثیر سیستم کشت قرار گرفت و میزان آن در سیستم هیدروپونیک بیشتر از سیستم آکواپونیک بود. گونه نعناع معمولی در محیط هیدروپونیک و گونه نعناع فلفلی در محیط آکواپونیک بیشترین اسانس را داشتند. کم بودن غلظت عناصر منیزیم و منگنز در برگ‌های نعناع معمولی و نیتروژن، فسفر، منیزیم و منگنز در برگ‌های نعناع فلفلی دلیل احتمالی کاهش رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک در مقایسه با سیستم هیدروپونیک بوده است.

واژه‌های کلیدی: آکواپونیک، اسانس، عناصر غذایی، هیدروپونیک، نعناع

مقدمه

گستردگی مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود منابع آب، خشکسالی‌های پی در پی، شور شدن و کاهش کیفیت منابع موجود آب از یک سو و کارایی پایین مصرف آب، به ویژه در سیستم‌های تولید در مزرعه، و کیفیت نامطلوب برخی محصولات کشاورزی از نظر سلامت مصرف‌کنندگان از سوی دیگر سبب شده توسعه بخش کشاورزی در کشور با چالش جدی مواجه شود. در بسیاری از کشورهای جهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، افزایش کارایی مصرف آب و کاهش مشکل شوری سهم عمده‌ای در افزایش تولیدات کشاورزی داشته است. از طرف دیگر، اخیراً با توجه به محدودیت‌های منابع آب برای آبزی‌پروری، افزایش تراکم ماهی و کمتر نمودن میزان تعویض آب از مهمترین اهداف متولیان آبزی پروری است. یکی از مهمترین فاکتورهای محدود کننده در افزایش تراکم ماهی در پرورش، سمیت بالای ترکیبات نیتروژنه دفعی ماهی، به خصوص آمونیاک، است (۸). برای حل این معضل معمولاً از فیلترهای زیستی استفاده می‌گردد (۹). در این فیلترها نیتروژن زائد که ماهی از طریق آبشش‌هایش به

۱. استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

۲. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roosta_h@yahoo.com

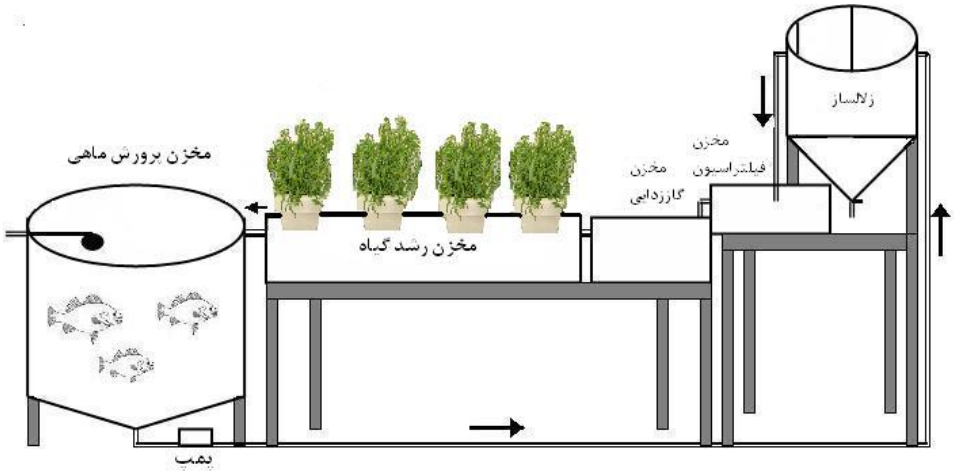
صورت آمونیاک در آب رها می‌کند، توسط باکتری‌ها در مرحله نخست به نیتریت و در مرحله بعد به نیترات تبدیل می‌شود. آمونیاک و نیتریت برای ماهی سمی هستند، اما نیترات نسبتاً بی‌خطر است و برای پرورش گیاهان آلی مثل سبزی‌ها، بهترین منبع نیتروژن به حساب می‌آید (۷ و ۱۶). امروزه آکواپونیک (Aquaponic) می‌تواند جایگزین این بیوفیلترها شود. آکواپونیک ترکیبی از پرورش ماهی و گیاهان (هیدروپونیک) در سیستم‌های گردشی است (۱۱). در این سیستم‌ها، مواد زائد دفع شده توسط ماهی که حاوی نیتروژن (آمونیاک)، فسفر و سایر عناصر غذایی می‌باشند، به وسیله گیاه جذب شده و از آب حذف می‌شوند و استفاده مجدد از آب مصرفی را برای تولید کننده امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین در سیستم آکواپونیک، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بدون صرف هزینه اضافی تأمین می‌شود. این در حالی است که در سیستم هیدروپونیک کودها به‌صورت نمک به محیط کشت اضافه شده و هزینه‌بر می‌باشند. با توجه به موقعیت کشور ما در خاورمیانه و لزوم افزایش بهره‌وری آب جهت سازگاری با کم آبی و بحران‌های مرتبط با آن، به‌کارگیری این سیستم به‌عنوان یک راهکار اجرایی نوین و مؤثر می‌تواند مفید باشد (۶).

سبزی‌های زیادی در دو سیستم آکواپونیک و هیدروپونیک با موفقیت کشت شده است (۱۱). نعناع به علت پتانسیل بالای تولید و مقاومت آن به شرایط رطوبت زیاد محیط ریشه، برای کشت در این سیستم‌ها توصیه شده است (۱۱). ترکیبات تشکیل دهنده اسانس نعناع به بیش از ۲۰ نوع می‌رسد که مهمترین آنها منتول (۴۰ تا ۶۰ درصد) است که در صنایع غذایی و دارویی کاربرد فراوانی دارد. دو گونه نعناع فلفلی و نعناع معمولی که ظاهر متفاوتی دارند برای این آزمایش انتخاب شدند. نعناع فلفلی دارای برگ‌های بزرگتری نسبت به نعناع معمولی بوده و تیره‌تر می‌باشد. اهداف این تحقیق شامل بررسی تأثیر سیستم آکواپونیک و هیدروپونیک بر رشد و نمو، میزان جذب عناصر غذایی و میزان اسانس در دو گونه نعناع معمولی و نعناع فلفلی بود و با این فرضیه‌ها که امکان پرورش این دو گونه جهت تولید اسانس در سیستم آکواپونیک امکان‌پذیر است و می‌تواند با سیستم هیدروپونیک رقابت کند و هم‌چنین این فرض که به علت تغذیه با مواد آلی میزان تولید اسانس در سیستم آکواپونیک نسبت به سیستم هیدروپونیک بیشتر است، انجام گرفت. البته کشت آلی در محیط خاکی هم امکان‌پذیر است، ولی در شرایط نامناسب خاک و هم‌چنین کم آبی، سیستم آکواپونیک ارجحیت دارد.

مواد و روش‌ها

به منظور مقایسه رشد و نمو، خصوصیات فیزیولوژیک و میزان اسانس دو رقم نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و نعناع معمولی (*Mentha sativa* L.) در سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک، این تحقیق در سال ۱۳۸۷ در گلخانه شیشه‌ای دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان انجام شد. دمای گلخانه به‌طور میانگین ۳±۲۶ درجه سلسیوس در روز و ۳±۲۱ درجه در شب بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور سیستم کشت (هیدروپونیک و آکواپونیک) و گونه نعناع (نعناع فلفلی و نعناع معمولی) و طرح پایه کامل تصادفی و سه تکرار اجرا گردید.

در اواسط شهریور ماه ۱۳۸۷ ابتدا کشت ریزوم‌های ارقام مورد نظر که از منطقه زرند کرمان تهیه شده بودند، در گلدان‌های یونولیتی چهار لیتری و در محیط کشت پرلیت (با دانه‌هایی به قطر ۳-۲ میلی‌متر) انجام شد. در هر گلدان ۵ عدد ریزوم هم اندازه کشت شد. سپس گلدان‌ها به داخل مخزن رشد گیاه در سیستم آکواپونیک انتقال یافتند. برای مقایسه، نصف گلدان‌ها نیز در روی میز جداگانه قرار گرفته و با محلول هیدروپونیک آبیاری شدند. غلظت نمک‌ها در محلول هیدروپونیک شامل KNO_3 ۲/۵ $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ میلی‌مولار، ۲/۵ KH_2PO_4 ۰/۵ میلی‌مولار، ۱ $MgSO_4.7H_2O$ میلی‌مولار، NaCl ۰/۱ میلی‌مولار، Fe-EDDHA ۲۰ میکرومولار، $MnSO_4.H_2O$ ۷ میکرومولار، $ZnCl_2$ ۰/۷ میکرومولار، $CuSO_4.5H_2O$ ۰/۸ میکرومولار،



شکل ۱. طرح سیستم آکواپونیک دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان

H_3BO_3 ۲ میکرومولار و $Na_2MoO_4.2H_2O$ ۰/۸ میکرومولار بود. با توجه به شرایط محیطی گلخانه و حجم گلدان‌ها، محلول‌دهی روزانه سه مرتبه و هر بار به میزان ۳۰۰ میلی‌لیتر به هر گلدان به صورت دستی انجام گرفت.

سیستم آکواپونیک دانشگاه ولی عصر رفسنجان (شکل ۱) که در این آزمایش استفاده شد از یک مخزن پرورش ماهی به حجم ۸۵۰ لیتر تشکیل شده که شامل ۱۵ عدد ماهی ۱۸۰ گرمی از نوع کپور (*Cyprinus carpio*) بود. دلیل انتخاب این ماهی برای پرورش این بود که کپورها خیلی مقاوم به تغییرات دما (مخصوصاً دمای بالا) و شرایط محیطی هستند. نیاز حرارتی آنها بین ۳۰- ۲۰ درجه سلسیوس است. ماهی‌ها از استخر خاکی واقع در شهر جیرفت تهیه شدند. آب مخزن از آب شهری بود و دمای آن در حدود ۲۲ درجه سلسیوس تنظیم می‌شد. جنس مخزن از فلز گالوانیزه بود که با رنگ مخصوص استخر رنگ‌آمیزی شده بود. در داخل مخزن یک بخاری آکواریومی قرار داشت و یک درپوش توری پارچه‌ای مخزن را پوشش می‌داد تا از پریدن ماهی‌ها به بیرون جلوگیری کند. در زیر مخزن ماهی، پمپ آب قرار گرفته بود که آب ماهی‌ها را به زلال ساز ۶۰ لیتری مخروطی پمپاژ می‌کرد که باعث رسوب فاضلاب مخزن ماهی در ته استوانه می‌شد. بعد از زلال‌ساز، آب در اثر نیروی گرانش به مخزن فیلتراسیون با ۳۰ لیتر حجم که داخل آن شبکه توری پلاستیکی با منافذ ریز تعبیه شده بود، وارد و ذرات کوچکتری که در زلال‌ساز جدا نشده بودند، از آب حذف می‌شد. توری داخل مخزن فیلتراسیون هر دو هفته یک بار با آب پر فشار تمیز می‌شد. بعد از این مرحله، آب وارد سیستم گاززدایی ۳۰ لیتری شده تا گازهای مضر که در طول فیلتراسیون ممکن بود تولید شده باشند، حذف شوند. سپس آب وارد مخزن هیدروپونیک ۳۰۰ لیتری می‌شد و پس از جذب عناصر غذایی مورد نیاز توسط گیاه، آب تمیز شده از بستر هیدروپونیک وارد مخزن پرورش ماهی می‌شد. عمق مخزن هیدروپونیک شناور ۲۰ سانتی متر، طول آن ۲۰۰ سانتی‌متر و عرض آن ۷۵ سانتی‌متر بود که به وسیله صفحه یونولیتی شناور به قطر ۴ سانتی‌متر پوشانده شده بود. از آنجا که بهترین pH برای نیترات‌سازی و در دسترس بودن عناصر غذایی در سیستم آکواپونیک نزدیک ۷ حاصل می‌شود، بنابراین pH سیستم مرتباً توسط pH متر اندازه‌گیری می‌شد. برای تنظیم pH از اسید سولفوریک یا اسید فسفریک استفاده شد. در مخزن هیدروپونیک از چند دمنده هوا جهت بهبود شوره‌سازی استفاده شد. ماهی‌ها روزانه دو مرتبه و هر مرتبه به میزان ۳۰ گرم غذای ماهی که حاوی ۴۶ درصد پروتئین بود، تغذیه می‌شدند (جدول ۱). دما با استفاده از دماسنج و pH توسط pH متر مدل ۷۴۴ ساخت کشور آلمان، به دلیل اثرات محدود

جدول ۱. خصوصیات غذای ماهی در آزمایش

مواد موجود در غذا (SFT-3)	غلظت (درصد)
پروتئین	۴۶
چربی	۱۳
خاکستر	۱۳
فیبر	۲/۵
فسفر	۱/۵
رطوبت	۱۱

کننده‌شان بر رشد ماهی اندازه‌گیری شدند.

گلدان‌ها در سوراخ‌هایی که در یونولیت شناور مخزن رشد گیاه تعبیه شده بودند، طوری قرار داده شدند که فقط با آب تماس داشته باشند. در گلخانه، سه سیستم آکواپونیک کاملاً مجزا بدین ترتیب طراحی شده بود که هر کدام به عنوان یک تکرار بود. سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, CI-202) ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته‌ها با استفاده از خط کش و میزان سبزینگی با استفاده از دستگاه SPAD اندازه‌گیری شد. زمانی که اکثر بوته‌ها به مرحله گل‌دهی رسیدند، برداشت انجام گرفت و وزن تر ریشه و اندام‌های هوایی به کمک ترازو اندازه‌گیری شد. سپس آنها را در سایه و در معرض نور غیر مستقیم خورشید خشک نموده و وزن خشک‌شان اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام‌های رویشی، قسمتی از نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در دستگاه خشک‌کن قرار گرفتند. مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه گیاه خشک در طی ۴ ساعت در ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و هضم نمونه‌ها توسط اسید کلریدریک ۲ نرمال انجام شد. بعد از عصاره‌گیری، غلظت سدیم و پتاسیم توسط شعله‌سنج (Flame photometer)، کلسیم، منیزیم، منگنز، روی و آهن توسط دستگاه جذب اتمی (GBC Avanta ver.1.33) و فسفر توسط طیف‌سنج اندازه‌گیری شدند (۱). اندازه‌گیری اسانس برگ و پیکر رویشی با روش تقطیر با آب به وسیله دستگاه کلونجر صورت گرفت. اندازه‌گیری اسانس به روش حجمی در لوله مدرج انجام گرفت (۲). تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمارهای آزمایش به روش دانکن، و از نرم‌افزار SAS استفاده شد و نمودارها با استفاده از برنامه Sigmaplot رسم گردید.

نتایج

اثر سیستم‌های کشت بر رشد رویشی دو گونه نعناع

اکثر فاکتورهای رویشی در دو گونه نعناع در سیستم هیدروپونیک بهتر از سیستم آکواپونیک بودند (جدول ۲). به طوری که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در هر دو گونه در سیستم هیدروپونیک به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵٪) بیشتر از آکواپونیک بود (جدول ۲). اگر چه اختلاف معنی-داری در ارتفاع گیاه بین دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک در گونه نعناع فلفلی مشاهده نشد ولی ارتفاع نعناع معمولی تحت تأثیر تیمار سیستم کشت قرار گرفت و میزان آن در سیستم هیدروپونیک افزایش یافت (جدول ۲). سطح برگ و تعداد گره نیز تحت تأثیر تیمار سیستم کشت قرار گرفت، به طوری که میزان آن در سیستم هیدروپونیک افزایش یافت (جدول ۲).

مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن نشان داد که اختلاف دو گونه نعناع در بعضی صفات رویشی مثل سطح برگ بسیار زیاد و در صفات دیگر ناچیز بود. نتایج نشان داد که وزن تر اندام‌های هوایی در تیمار آکواپونیک به طور معنی‌داری (در سطح ۵٪) تحت تأثیر گونه قرار گرفت و میزان آن در گونه

جدول ۲- اثر سیستم‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک بر پارامترهای رویشی، تعداد روز تا گل‌دهی، شاخص SPAD و اسانس دو گونه نعناع معمولی و نعناع فلفلی

سیستم کشت	گونه نعناع	وزن تر اندام هوایی (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	ارتفاع (cm)	سطح برگ (cm^2)	تعداد گره	تعداد روز تا گل‌دهی	SPAD	اسانس(میکرولیتر بر گرم وزن خشک)
هیدروپونیک	معمولی	۶۵/۰۶a*	۸/۳۸a	۲۱/۶۶a	۳/۲۰ab	۲۵/۵۰a	۵/۹۴c	۱۳/۶۶a	۳۷/۰۰a	۴۱/۸۳a	۰/۵۰۲a
	فلفلی	۶۰/۶۶a	۶/۹۳b	۲۱/۶۶a	۳/۶۸a	۲۲/۲۶ab	۱۳/۴۷a	۱۴/۰۰a	۳۷/۰۰a	۳۷/۴۰b	۰/۳۷۶b
آکواپونیک	معمولی	۳۰/۶۶c	۴/۴۰c	۱۳/۰۰b	۲/۳۷c	۱۹/۶۶b	۳/۶۱d	۱۱/۲۶b	۳۰/۳۳b	۳۱/۴۴c	۰/۴۰۹a
	فلفلی	۳۷/۶۶b	۴/۵۸c	۱۵/۳۳b	۳/۰۳b	۲۲/۵۶ab	۹/۳۱b	۱۲/۲۰b	۳۳/۶۶ab	۳۱/۶۶c	۰/۵۱۶a

*حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون دانکن بین تیمارها است.

نعناع فلفلی بیشتر از نعناع معمولی بود (جدول ۲)، اگرچه وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار آکواپونیک در دو گونه یکسان بود (جدول ۲). اگرچه ارتفاع گیاه و تعداد گره به طور معنی‌داری تحت تأثیر گونه نعناع قرار نگرفت ولی سطح برگ گونه نعناع فلفلی بیش از دو برابر نعناع معمولی بود (جدول ۲).

اثر سیستم کشت بر زمان گل‌دهی، شاخص SPAD و مقدار اسانس اندام هوایی در دو گونه نعناع

نتایج نشان داد که گل‌دهی نعناع در هر دو گونه در سیستم آکواپونیک زودتر از سیستم هیدروپونیک اتفاق افتاد، اگرچه تفاوت در گونه نعناع فلفلی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

شاخص SPAD به طور معنی‌داری تحت تأثیر سیستم کشت قرار گرفت و میزان آن در سیستم هیدروپونیک به طور معنی‌داری بالاتر از سیستم آکواپونیک بود. این شاخص در گیاهان روییده در آکواپونیک تحت تأثیر گونه نعناع قرار نگرفت ولی در سیستم هیدروپونیک مقدار آن در گونه نعناع معمولی به طور معنی‌داری بیشتر از نعناع فلفلی بود (جدول ۲).

در محیط هیدروپونیک میزان اسانس اندام هوایی در گونه نعناع معمولی بیشتر از گونه نعناع فلفلی بود، ولی تفاوت دو گونه در سیستم آکواپونیک در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار نبود (جدول ۲).

غلظت عناصر غذایی در اندام‌های هوائی دو گونه نعناع

اگرچه تفاوت غلظت نیتروژن در گیاهان دو سیستم زیاد نبود ولی مقدار آن در گیاهان روییده در آکواپونیک کمتر بود (جدول۳). کمترین مقدار نیتروژن در برگ‌های نعناع فلفلی و در سیستم آکواپونیک مشاهده شد.

در سیستم هیدروپونیک، اثر گونه نعناع بر غلظت پتاسیم معنی‌دار نبود ولی در سیستم آکواپونیک در سطح ۵٪ معنی‌دار شد و غلظت پتاسیم در گونه نعناع فلفلی بیشتر از نعناع معمولی بود. اثر سیستم کشت بر غلظت پتاسیم در نعناع معمولی معنی‌دار نبود ولی اثر سیستم در گونه نعناع فلفلی در سطح ۵٪ معنی‌دار شد و میزان آن در سیستم آکواپونیک بیشتر بود (جدول ۳).

غلظت فسفر در برگ‌های نعناع معمولی در دو سیستم کشت تفاوت معنی‌داری نداشت، در صورتی که در گونه نعناع فلفلی غلظت آن به شدت در سیستم آکواپونیک کاهش پیدا کرد (جدول ۳). غلظت فسفر در دو گونه در سطح معنی‌داری تفاوت داشت. با این که در سیستم هیدروپونیک غلظت فسفر

جدول ۳. اثر سیستم‌های کشت هیدروپونیک و آکواپونیک بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف (درصد وزن خشک) و ریزمغذی (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در برگ‌های دو گونه نعناع معمولی و نعناع فلفلی

سیستم کشت	گونه نعناع	N	K	P	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Na
		(% DW)					(mg/kg DW)			
هیدروپونیک	معمولی	۴/۷۴a*	۱/۱۹ab	۰/۲۹b	۲/۱۰ab	۰/۵۷a	۷۱/۶۷b	۱۰۵/۱۱a	۲۰/۷۳d	۲۷/۷۷a
	فلفلی	۴/۸۱a	۱/۰۱b	۰/۴۰a	۱/۷۱b	۰/۵۶a	۷۱/۶۷b	۹۷/۵۹b	۲۸/۰۶c	۳۰/۳۷a
آکواپونیک	معمولی	۴/۴۶ab	۱/۱۳b	۰/۲۹b	۱/۸۸ab	۰/۳۸c	۶۷/۳۳b	۶۳/۷۱c	۶۴/۳۹a	۲۲/۹۹b
	فلفلی	۴/۲۹b	۱/۳۹a	۰/۱۹c	۲/۱۹a	۰/۴۹b	۸۱/۱۹a	۲۳/۲۴d	۳۵/۴۸b	۲۳/۸۶b

* حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون دانکن بین تیمارها است.

در گونه نعناع فلفلی بیشتر بود ولی در سیستم آکواپونیک کاملاً معکوس بوده و غلظت فسفر در برگ‌های نعناع معمولی افزایش یافت (جدول ۳).

نتایج نشان داد که اختلاف غلظت کلسیم در دو سیستم کشت در دو گونه نعناع زیاد نیست (جدول ۳). بیشترین مقدار کلسیم در گونه نعناع فلفلی و در محیط آکواپونیک و کمترین آن در گونه نعناع فلفلی و در محیط هیدروپونیک مشاهده شد.

غلظت منیزیم به شدت تحت تأثیر سیستم کشت قرار گرفت و میزان آن در سیستم آکواپونیک در سطح معنی‌داری کمتر از سیستم هیدروپونیک بود (جدول ۳). اگرچه غلظت منیزیم در دو گونه نعناع در محیط هیدروپونیک اختلاف معنی‌داری نداشت ولی در سیستم آکواپونیک غلظت آن در برگ‌های نعناع فلفلی بیشتر از نعناع معمولی بود.

غلظت سدیم در برگ‌های هر دو گونه به طور معنی‌داری در گیاهان روییده در سیستم هیدروپونیک بیشتر از گیاهان روییده در سیستم آکواپونیک بود (جدول ۳). اثر گونه نعناع بر غلظت سدیم در برگ‌ها معنی‌دار نبود.

بیشترین میزان آهن در برگ‌های نعناع فلفلی روییده در سیستم آکواپونیک مشاهده شد (جدول ۳). سایر تیمارها از نظر غلظت آهن برگ تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. مقدار منگنز در برگ‌های هر دو گونه نعناع در سیستم آکواپونیک بسیار کمتر از گیاهان روییده در سیستم هیدروپونیک بود (جدول ۳). مقایسه میانگین غلظت منگنز در برگ‌های دو گونه نعناع نشان داد که نعناع معمولی دارای مقدار منگنز بیشتری نسبت به نعناع فلفلی بود و این تفاوت غلظت بین دو گونه در سیستم آکواپونیک بیشتر بود. غلظت روی در گیاهان روییده در آکواپونیک در سطح معنی‌داری (در سطح ۵٪) بیشتر از گیاهان روییده در سیستم هیدروپونیک بود (جدول ۳). بیشترین میزان روی در نعناع معمولی و در سیستم آکواپونیک مشاهده شد. این در حالی است که کمترین آن در نعناع معمولی روییده در سیستم هیدروپونیک مشاهده شد.

بحث

اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر جذب نیتروژن در نعناع فلفلی در سطح ۵٪ معنی‌دار شده و جذب این عنصر در این گونه در تیمار آکواپونیک کمتر از هیدروپونیک بود (جدول ۳). در این آزمایش، با وجود استفاده از بخاری مخصوص آبگرمکن افزایش دمای آب به بالاتر از ۲۲ درجه امکان‌پذیر نبود و از مهمترین دلایل مؤثر بر کاهش جذب نیتروژن در تیمار آکواپونیک می‌توان به پایین بودن دمای آب در فصل زمستان و تراکم کم ماهی در این آزمایش اشاره کرد. فیلترهای زیستی که در آبزی‌پروری جهت تصفیه آب استفاده می‌شوند در شرایط دمایی ۲۵-۲۴ درجه سلسیوس تنظیم می‌شوند (۱۴ و ۱۵). با توجه به دمای پایین آب در سیستم آکواپونیک که در آن از آب لوله کشی شهری استفاده می‌شد، احتمالاً کارکرد فیلتر زیستی، که همان

بستر هیدروپونیک است، را کاهش داده است. دمای آب ۲۲ درجه موجود در این آزمایش ممکن است برای گیاه مناسب باشد ولی برای نیترات سازی باکتری‌ها در بستر هیدروپونیک سیستم آکواپونیک دمای بالاتری لازم است. در ضمن، فرایند اکسیداسیون توسط باکتری‌های شوره‌ساز معمولاً ۵۶-۳۳ روز به طول می‌انجامد تا به تعادل برسد (۹). با توجه به این که این سیستم برای اولین بار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر اجرا می‌شد، شاید باکتری‌های شوره‌ساز هنوز به تعادل مناسب نرسیده بودند تا نیترات کافی را برای گیاهان تأمین نمایند. از طرف دیگر، تعداد ماهی موجود در سیستم (۱۵ ماهی ۱۸۰ گرمی در هر مخزن) نیاز نیتروژن گیاهان را تأمین نکرده است. همان طور که قبلاً بیان شد، ماهی نیتروژن زائد را از طریق آبشش‌هایش به صورت آمونیاک در آب رها می‌کند، که توسط باکتری‌ها در مرحله نخست به نیتریت و در مرحله بعد به نیترات تبدیل می‌شود (۴). بنابراین با کم بودن تعداد ماهی‌ها، نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد. میزان جذب فسفر در تیمار هیدروپونیک و در گونه نعناع فلفلی بیشتر از تیمار آکواپونیک بود (جدول ۳). ماهی فسفر را از طریق مدفوع خود در آب رها می‌کند (۱۰). ممکن است احتمالاً میزان فسفری که توسط ماهی‌ها در آب رها شده برای این گونه نعناع کافی نبوده است.

رقیق شدن روی در گیاه می‌تواند ناشی از تأثیر فسفر در افزایش رشد گیاه باشد (۳). در تیمار هیدروپونیک، جذب روی در هر دو گونه بسیار کم بوده که علت آن را می‌توان به زیاد بودن میزان جذب فسفر در این تیمار نسبت داد (جدول ۳). هم‌چنین جذب نیتروژن در سیستم هیدروپونیک بیشتر بوده که باعث رشد بیشتر گیاه و در نتیجه رقیق شدن روی شده است (جدول ۳).

اختلاف سطح برگ در هر دو گونه در سیستم‌های هیدروپونیک و آکواپونیک معنی‌دار شد و در آکواپونیک کمتر از هیدروپونیک بود (جدول ۲). با کاربرد نیتروژن، طول، عرض و سطح پهنک برگ افزایش می‌یابد (۳). هنگامی که میزان ماده غذایی کمتر از حد مطلوب است، رشد برگ و به دنبال آن میزان سطح برگ می‌تواند به علت کم بودن میزان فتوسنتز یا ناکافی بودن انبساط سلول، محدود شود (۳). در هنگام کمبود فسفر، کوچک بودن پهنک برگ‌ها به علت ناکافی بودن میزان انبساط سلول است (۳). جلوگیری از رشد سلول برگ به علت کاهش میزان هدایت آب در ریشه گیاهان مبتلا به کمبود فسفر است. در گیاهان مبتلا به کمبود نیتروژن نیز سلول‌های برگ کوچک باقی می‌مانند. این اثرات به علت کاهش در هدایت آب است که باعث کمبود آب در پهنک‌های برگ در حال رشد می‌شود.

اثر کمبود نیتروژن بر رشد گیاه در میان گونه‌های گیاهی متفاوت است (۱۳). علت این که بین گونه‌ها نیز تفاوت معنی‌داری در هر دو تیمار در سطح برگ ایجاد شد به نوع گونه برمی‌گردد. در سیستم آکواپونیک، جذب فسفر و نیتروژن کمتر بوده و بنابراین سطح برگ نیز کوچکتر شده است (جدول ۲).

ارتفاع گیاه در تیمار هیدروپونیک و در گونه نعناع فلفلی بیشتر از تیمار آکواپونیک بود (جدول ۲). نیتروژن باعث تحریک رشد رویشی گیاه، به خصوص اندام‌های هوایی، می‌شود و در شرایط کمبود آن رشد طولی گیاه کم می‌شود (۷). کمبود عناصری مثل منیزیم و منگنز نیز با کاهش رشد رویشی همراه است (۳ و ۵). طبیعی است که میزان زیاد نیتروژن در سیستم هیدروپونیک بر طول ساقه اثر داشته و آن را افزایش داده است. نیتروژن عاملی است که تعداد میانگره‌ها را افزایش داده و موجب رشد طولی گیاه می‌گردد و به طور کلی رشد رویشی گیاه را تسریع می‌کند. رشد گیاهانی که به کمبود فسفر مبتلا هستند نیز کند می‌گردد (۳). میزان بزرگ شدن سلول نسبت به کمبود منگنز سریع واکنش نشان می‌دهد (۱۲). با توجه به این که در سیستم آکواپونیک جذب نیتروژن، فسفر و منگنز کمتر از هیدروپونیک بوده، ارتفاع و رشد بخش‌های هوایی گیاه و هم‌چنین تعداد گره‌ها نیز کمتر شده است (جدول ۱). میزان سبزینگی در تیمار آکواپونیک نسبت به هیدروپونیک در هر دو گونه کمتر بود (جدول ۲) که می‌تواند با میزان نیتروژن، منیزیم و منگنز کمتر در سیستم آکواپونیک در ارتباط باشد. نیتروژن علاوه بر نقش مهم

خود در تشکیل پروتئین‌ها جزء اصلی مولکول کلروفیل می‌باشد. گیاهانی که دچار کمبود نیتروژن هستند زودتر به مرحله بلوغ می‌رسند و دوره نمو رویشی خود را کوتاه می‌کنند. این زودرسی ممکن است به تأثیر میزان نیتروژن به ساخته شدن و انتقال سیتوکینین‌ها مربوط می‌شود (۳). در تیمار آکواپونیک، جذب نیتروژن کمتر بوده و بنابراین به گل رفتن زودتر از تیمار هیدروپونیک اتفاق افتاده است (جدول ۱).

نتیجه‌گیری

کم بودن غلظت عناصر منیزیم و منگنز در برگ‌های نعناع معمولی و نیتروژن، فسفر، منیزیم و منگنز در برگ‌های نعناع فلفلی احتمالاً دلیل کاهش رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک در مقایسه با سیستم هیدروپونیک بوده است. بنابراین، احتمالاً افزایش تعداد ماهی در واحد حجم و افزایش غذادهی می‌تواند به رفع کمبود عناصر غذایی در سیستم آکواپونیک کمک کند. اگرچه بر اساس نتایج فوق، رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک کمتر از هیدروپونیک بوده است ولی با این‌حال رشد گیاهان در این سیستم رضایتبخش بوده و هیچ گونه علائم ظاهری کمبود در گیاهان مشاهده نشد. با توجه به این‌که سیستم آکواپونیک یک سیستم کاملاً اقتصادی است، باید توجه خاصی به آن بشود و با رفع نواقص موجود و بومی کردن آن گام مهمی در توسعه استفاده بهینه از آب و کشاورزی پایدار برداشته شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان به علت تأمین مالی تحقیق حاضر در قالب طرح پژوهشی با کد Agr86HS308 تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، انتشارات سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، ۱۲۸ صفحه.

۲. جایمند، ک. م. و ب. رضایی. ۱۳۸۵. اسانس، تقطیر، روش‌های آزمون و شاخص‌های بازداری در تجزیه اسانس. چاپ اول، انجمن گیاهان دارویی، تهران. ۳۵۴ صفحه.

۳. خلدبرین، ب. و ط. اسلام زاده. ۱۳۸۴. تغذیه معدنی گیاهان عالی. جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۴۰۴ صفحه.

۴. روستا، ح. م. ۱۳۸۸. آکواپونیک: کشت و پرورش توأم ماهی وگیاه در سیستم مدار بسته با بازچرخانی آب. انتشارات پلک،۱۷۱ صفحه.

۵. ملکوتی، م. ج. و م. م. طهرانی. ۱۳۷۶. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی "عناصر خرد با تأثیر کلان". چاپ دوم، دانشگاه تربیت مدرس، دفتر نشر آثار علمی، ۲۹۹ صفحه.

6. Carlsson, P. and E. Graneli. 1993. Availability of humic bound nitrogen for coastal phytoplankton. Estuary and Coastal Shelf Sci. 36: 433-447.
7. Castro, R. S., C. M. S. Azevedo Borges and F. Bezerra-Neto. 2006. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in northeast Brazil. Sci. Hort. 110: 44-50.
8. Handy, R. D. and M. G. Poxton. 1993. Nitrogen pollution in mariculture: Toxicity and excretion of nitrogenous compound by marine fish. Rev. Fish Biol. Fisher. 3: 205-241.
9. Huge, R. T. and P. L. McCarty. 1972. Nitrification with submerged filters. J. Water Poll. Cont. Fed. 44: 20-86.
10. Jennifer, L. G. 2005. Quantifying waste excretion by egyptian tilapia hybrid (*Oreochromis niloticus*) and nutrient uptake by hydroponically grown plant species to optimize an integrated aquaculture system. Ph.D. Thesis.
11. Nelson, R. L. 2008. Aquaponic food production. Nelson and Pade Inc. Press, Montello, WI, USA, 218 p.
12. Ness, P. J. and H. W. Woolhouse. 1980. RNA synthesis in *Phaseolus* chloroplasts. I. Ribonucleic acid synthesis and senescing leaves. J. Exper. Bot. 31: 223-233.

13. Preusser, E., F. A. Khalil, and H. Goring. 1981. Regulation of activity of the granule-bound starch synthetase by monovalent cations. Biochem. Physiol. Pflanz. 176: 744-752.
14. Rakocy, J. E., D. S. Bailey, R. Ch. Shultz and E. S. Thoman. 2006. Update on tilapia and vegetable production in the UVI Aquaponic System. University of the Virgin Islands, Agricultural Experiment Station, Kingshill, VI, USA.
15. Rakocy, J. E., T. M. Losordo and M. P. Masser. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- integration fish and plant culture. SRAC Publication No. 454.
16. Roosta, H. R., and J. K. Schjoerring. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber (C*ucumis sativus* L., cv. Styx) plants. J. Plant Nutr. 30: 1933-1951.