نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، ص. ۲۴۶-۲۳۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 27, No. 3, Fall 2013, P. 235-246
ISSN: 2008 - 4730

مقایسه رشد، غلظت عناصر غذایی و میزان اسانس دو رقم ریحان (*Ocimum basilicum*) بومی ایران در دو سیستم کشت هیدروپونیک و آکواپونیک

حمید رضا روستا[۱*]- سمیه عرب‌پور[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۳

چکیده

آکواپونیک یکی از تکنیک‌های کشت بدون خاک است که در آن ماهی و گیاه بطور توام پرورش داده می‌شوند. ریحان گیاهی علفی و متعلق به خانواده نعناع می‌باشد که اسانس آن عمدتاً در صنایع غذایی، دارویی و عطرسازی مورد استفاده قرار گرفته و همچنین دارای خواص ضد میکروبی است. کشت گلخانه‌ای ریحان، جهت عرضه مداوم ریحان تازه به بازار، به دلیل ارزش بالای اقتصادی و تقاضای زیاد آن در حال گسترش می‌باشد. به منظور بررسی تاثیر سیستم‌های کشت بدون خاک بر عملکرد، غلظت عناصر غذایی و میزان اسانس گیاه ریحان آزمایشی بصورت فاکتوریل با دو فاکتور، سیستم (هیدروپونیک و آکواپونیک) و رقم (ریحان سبز و ریحان بنفش) و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع، سطح برگ و تعداد گره در هر دو رقم در سیستم هیدروپونیک بیشتر از آکواپونیک بود. شاخص SPAD به طور معنی‌داری تحت تأثیر سیستم کشت قرار گرفت و میزان آن در سیستم هیدروپونیک ۱۲/۸۶ درصد بیشتر از سیستم آکواپونیک بود. میزان اسانس در بخش‌های هوایی تحت تاثیر سیستم کشت و رقم قرار نگرفت. پایین بودن غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و منگنز احتمالا دلیل کاهش سبزینگی و کاهش رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک بوده است. اگرچه بر اساس نتایج فوق رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک کمتر از هیدروپونیک بود ولی با این وجود رشد گیاهان در این سیستم رضایتبخش بوده و هیچ گونه علائم ظاهری کمبود در گیاهان مشاهده نشد. احتمالا افزایش تعداد ماهی در واحد حجم آب و افزایش غذادهی می‌تواند به رفع کمبود جزئی عناصر غذائی در سیستم آکواپونیک کمک کند. بنابراین سیستم آکواپونیک ظرفیت تولید گیاهان داروئی مثل ریحان را دارا می‌باشد.

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

مقدمه

آبزی‌پروری[۳] پرورش موجودات آبزی تحت شرایط کنترل شده است. با توجه به محدودیت‌های منابع آبی از مهمترین اهداف آبزی‌پروری افزایش تراکم ماهی در واحد سطح و کمتر نمودن میزان تعویض آب است (۱۸ و ۲۸). آبزی‌پروری بیشتر در استخرها انجام می‌شود. این استخرها باید ظرفیت نگهداری آب کافی را داشته باشند تا آب با کیفیت بالا را جهت حفظ گونه‌های پرورشی فراهم نمایند (۱۲). اگر شرایط مهیا نباشد یا آب و هوای منطقه به گونه‌ای باشد که پرورش آبزیان در استخر ممکن نباشد، استفاده از یک سیستم چرخشی آب می‌تواند مفید و کارآمد باشد (۲۲). سیستم‌های گردشی طوری طراحی شده‌اند که باعث افزایش تولید ماهی در حجم‌های نسبتاً کم آب و حذف مواد زائد از آب می‌شوند و استفاده مجدد از آب مصرفی را برای تولید کننده امکان‌پذیر می‌سازند (۲۴). یکی از مشکلات اصلی در سیستم آبزی‌پروری متراکم، تجمع مواد زائد آلی و به خصوص مواد تولید شده از متابولیسم نیتروژن است (۱۸). آمونیاک از مهمترین مواد دفعی ماهی است که بر سلامتی، رشد و تعداد ماهی‌هایی که می‌توانند در سیستم چرخشی پرورش یابند، اثر می‌گذارد. آمونیاک یونیزه نشده[۴] سمیت بالایی برای ماهی دارد و باید از سیستم حذف شود (۳). غلظت‌های غیرکشنده ولی بالای آمونیاک و

۱- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: roosta_h@yahoo.com)
۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت

3- Aquaculture

4- NH3

نیتریت باعث کاهش رشد، آسیب به آبشش‌ها و افزایش حساسیت ماهی به بیماری‌ها می‌شود. برای بهبود کیفیت آب و حذف ترکیبات نیتروژن‌دار از فیلترهای زیستی استفاده می‌شود (۶). در این فیلترها (پروسه نیتریفیکاسیون)، ابتدا آمونیاک به نیتریت که سمیت بالایی برای ماهی دارد، و سپس به نیترات که نسبتاً بی‌ضرر است اکسید می‌شود. باکتری نیتروزموناس آمونیاک را به نیتریت تبدیل می‌کند و سپس نیتروباکتر، نیتریت را اکسید می‌کند. سیستم آکواپونیک[1] (ترکیبی از پرورش ماهی[2] و پرورش گیاهان[3]) یکی از سیستم‌های آبزی‌پروری گردشی است که در آن گیاهان بدون خاک پرورش داده می‌شوند (۷ و ۲۴). در واقع آکواپونیک می‌تواند جایگزین فیلترهای زیستی شود (۶). گیاهان راندمان بیوفیلتری بالایی برای دو عنصر نیتروژن و فسفر دارند. حداقل ۸۰ درصد از مواد غذایی که پرورش‌دهنده ماهی از دست می‌دهد می‌تواند برای رشد گیاه به کار رود و آب نسبتاً تمیز دوباره به مخزن ماهی بر می‌گردد (۸). سیستم‌های پرورش ماهی با بازچرخانی آب عموماً برای مناطق خشک و نیمه خشک که مشکل کمبود آب دارند توصیه می‌شود. به علت کمبود آب سالم کشاورزی در بیشتر نقاط ایران، استفاده از سیستم‌های بسته مثل آکواپونیک که در آن آب دوباره به سیستم بر می‌گردد بسیار مفید می‌باشد (۳).

در سیستم‌های چرخشی بسته، با تعویض روزانه آب (کمتر از دو درصد آب)، محلول غذایی غنی از عناصر معدنی ضروری برای پرورش گیاه و به خصوص نیتروژن محلول، در غلظت‌های مشابه محلول‌های غذایی هیدروپونیک تجمع می‌یابند (۱۴). آمونیاک دفع شده از آبشش‌های ماهی‌ها که ناشی از متابولیسم پروتئین‌ها و دیگر ترکیبات نیتروژنه در بدن ماهیان می‌باشد، نهایتا توسط باکتریها به شکل نیترات در آمده که اصلی‌ترین منبع نیتروژن برای رشد و پرورش گیاهان آلی مانند سبزی‌ها محسوب می‌شود (۲۷).

علاوه بر فضولات ماهی، غذای خورده نشده و ذرات ریز در سیستم وجود دارد (۱۶). اگر این مواد آلی در سیستم باقی بمانند و سپس تجزیه شوند دی اکسید کربن و آمونیاک سیستم را افزایش داده و اکسیژن محلول را کاهش می‌دهند (۲۵). اگر مواد جامد خیلی کوچک به سیستم هیدروپونیک راه یابند سطح ریشه‌ها را پوشانده و محیط بی‌هوازی بوجود می‌آورند و جذب عناصر را که بوسیله انتقال فعال و با مصرف اکسیژن انجام می‌گیرد مختل می‌کنند. البته حضور مقدار کمی از مواد جامد معلق تا حدی که در آبشش‌های ماهی ایجاد سوزش نکند، ممکن است نقش سودمندی در سیستم داشته باشد (۲۵). با تجزیه مواد جامد توسط میکروارگانیسم‌ها، مواد معدنی ضروری برای گیاه فراهم می‌شود و این پروسه مینرالیزه شدن نام دارد. ماهی تیلاپیای قرمز می‌تواند ۳۲/۵۳٪ نیتروژن، ۱۱/۴۶٪ آهن، ۱۳/۴۳٪ روی، ۶/۸۱٪ منگنز، ۳/۵۵٪ مس، ۲۶/۸۱٪ کلسیم، ۲۰/۲۹٪ منیزیوم، ۷/۱۶٪ پتاسیم و ۱۵/۹۸٪ فسفر از مواد معدنی موجود در غذا را در دوره پرورش آسیمیله کند و این بدان معناست که ۶۷/۴۷٪ نیتروژن، ۸۸/۵۴٪ آهن، ۹۳/۱۹٪ منگنز، ۸۶/۵۷٪ روی، ۹۶/۴۵٪ مس، ۷۳/۱۹٪ کلسیم، ۷۹/۷۱٪ منیزیوم، ۹۲/۸۴٪ پتاسیم و ۸۴/۰۲٪ فسفر از غذای ماهی به صورت مدفوع، ادرار و آمونیاک در سیستم پرورش آزاد می‌شود (۱۲).

غلظت بهینه کل عناصر غذایی در سیستم کشت بدون خاک برای رشد حداکثری گیاه حدود ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که بسیار شبیه غلظت کل عناصر در محلول غذایی سیستم آکواپونیک است (۹ و ۲۷). سطوح یون‌های نیترات، فسفات و سولفات معمولاً برای رشد خوب گیاه کافی هستند. آهنی که توسط ماهی به محیط افزوده می‌شود برای رشد گیاه کافی نیست و با توجه به جذب دشوار آهن در اسیدیته خنثی، باید به صورت کلات آهن (Fe-DTPA[4]) به محیط افزوده شود. هدایت الکتریکی بهینه محلول برای پرورش آبزیان حدود ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشند (۸ و ۲۵). عمده یون‌های کنترل کننده هدایت الکتریکی، نیترات، فسفات، سولفات، پتاسیم و کلسیم می‌باشند (۲۵). در pH های بالای ۷ به علت افزایش آمونیاک غیریونیزه، احتمال سمیت آمونیاک برای ماهی و گیاه افزایش می‌یابد (۱۸ و ۲۹). بنابراین شرایط مناسب برای شوره سازی و دسترسی گیاه به عناصر غذایی در pH حدود ۷ حاصل می‌شود (۲۵).

مقدار نیتروژن آمونیاکی کل از نوع غیر یونیزه در مخزن نباید از ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز کند (۱۶). مقدار نیتروژن آمونیاکی یونیزه نشده به کمی ۰/۰۷-۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر در چندین گونه ماهی آب گرم، باعث کاهش رشد و آسیب به بافت‌ها می‌شود.

راکوسی و همکاران (۲۶) محصول ریحان و بامیه کشت شده در سیستم آکواپونیک را با گیاهان رشد کرده در مزرعه مقایسه کردند. محصول ریحان در سیستم آکواپونیک ۳ برابر و محصول بامیه ۱۸برابر گیاهان کشت شده در مزرعه بود. اگرچه در مرحله میوه‌دهی نیاز سبزیهای میوه‌ای به ریزمغذی‌ها افزایش یافته و لازم است که عناصر در سطوح پایین (کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر یک لیتر آب) مرتباً به درون سیستم اضافه شوند (۱۵و ۱۸). به هرحال به نظر می‌رسد کشت هیدروپونیک سبزی (مخصوصاً سبزی‌های برگی) به صورت تلفیقی با پرورش ماهی با یک استراتژی مؤثر برای حذف فضولات از سیستم پرورش ماهی امکان پذیر باشد (۲۰).

اهداف این تحقیق شامل بررسی تأثیر سیستم آکواپونیک و

1- Aquaponic
2- Aquaculture
3- Hydroponic

4- Ferric diethylenetriamine penta acetic acid (Fe-DTPA)

هیدروپونیک بر رشد، میزان جذب عناصر غذایی و میـزان اسـانس در دو رقم ریحان سبز و بنفش بود و با این فرضیه‌ها که امکـان پـرورش این دو گونه جهت تولید اسـانس در سیسـتم آکواپونیـک امکـان‌پـذیر است و می‌تواند با سیستم هیدروپونیک رقابت کند، انجام گرفت.

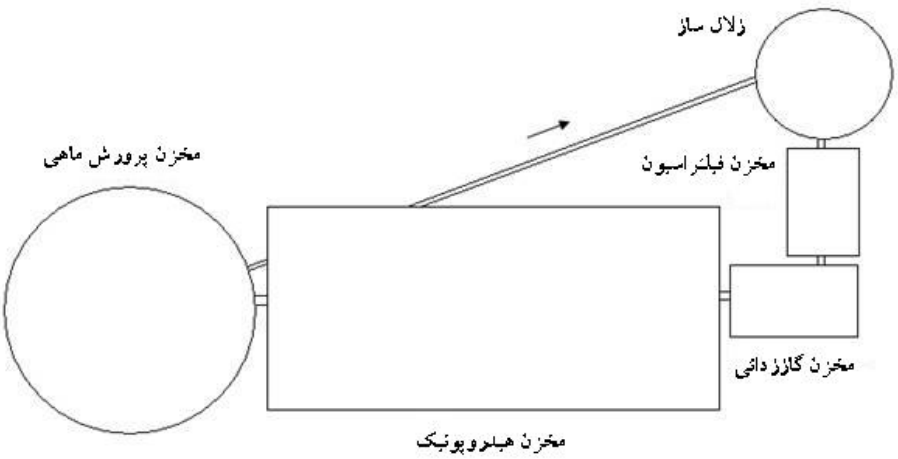
مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت فاکتوریل با دو فاکتور رقـم (ریحـان سـبز و ریحان بنفش) و سیستم کشت (هیـدروپونیک و آکواپونیـک) و طـرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. هر واحـد آزمایشـی شـامل یک گلدان بود که ۹ گیاه در آن کشت شده بود و میانگین آنها بـرای تجزیه آماری استفاده شد.

بذرها در بستر کشت پرلایت داخل گلدان‌های ۴ لیتری یونـولیتی کاشته شده و تا زمان جوانه‌زنی با آب معمولی آبیاری شـدند و پـس از جوانه‌زنی اعمال تیمارها آغاز شد (در هر گلدان تنها ۹ گیاه باقی مانـد و بقیه حذف شدند). گیاهان مربوط بـه تیمـار آکواپونیـک بـا محلـول فراهم شده از مخـازن سیسـتم آکواپونیـک، هـر بـار بـه میـزان ۳۰۰ میلی‌لیتر در هر گلدان و در سـه نوبـت (سـاعت ۹، ۱۲ و ۱۶) آبیـاری شدند. گیاهان مربوط به تیمار هیدروپونیک نیز با محلول هیدروپونیک با فرمول یک دوم هوگلند (۱۳)، هر بار به میزان ۳۰۰ میلی لیتـر و در سه نوبت (ساعت ۹، ۱۲ و ۱۶) آبیاری شدند. با توجه بـه عـدم وجـود عنصر کلر در محلول هوگلند، کلر مورد نیاز گیاهان بـا اضـافه کـردن ۰/۱ میلی‌مول کلرید سدیم تامین گردید.

هر سیستم آکواپونیک (شکل ۱) شامل مخزن ۸۵۰ لیتری پرورش ماهی بود که حاوی ۱۵ ماهی کپور ۲۸۰ گرمی بـود. مـاهی‌هـای هـر مخزن، دو بار در روز و هر بار به میزان ۳۰ گرم، با غذای کامل دارای ۴۶ درصد پروتئین تغذیه می‌شدند (جـدول ۱). پمـپ آب کـه در زیـر مخزن پـرورش مـاهی قـرار گرفتـه بـود آب مـاهی را بـه زلال‌سـاز استوانه‌ای مخروطی (که۶۰ لیتر حجم داشت)، برای حذف مواد جامـد رسوب شونده پمپاژ می‌کرد. پس از ته‌نشین شدن مواد جامد در زلال-ساز، آب در اثر نیروی گرانش وارد سیستم فیلتراسیون مـی‌شـد. مـواد جامد رسوب شده روزانه سه بار، با باز کردن شیر زلال‌ساز خارج مـی-شد. مخزن فیلتراسیون (۳۰ لیتری) که با توری پر شده بود، مسـتطیل شکل بوده و تور موجود در آن ذرات جامد ریز را حذف می‌کـرد. مـواد جامد ریز که روی توری در مخزن‌های فیلتر جمع می‌شد هر دو هفته یکبار، با شستن توری توسط آب فشار قوی تمیـز مـی‌شـد. فاضـلاب مخزن فیلتر پس از گذشتن از توری با منافذ ریز وارد مخزن گاززدایی به حجم ۳۰ لیتر مـی‌شـد. وجـود مخـزن حـذف گـاز بعـد از مخـزن فیلتراسیون به این دلیل بود که مواد آلی که در بین تمیز کننـده‌هـای توری انباشته می‌شوند لجن عمیقی را بوجود مـی‌آورنـد و بـه صـورت بی‌هوازی تجزیه شده و منجر به تولید گازهای سـمی متـان، سـولفید هیدروژن و نیتروژن می‌شوند. آب، بعد از مخزن گاززدایی وارد مخـزن هیدروپونیک (که۳۰۰ لیتر حجم داشت) می‌شد تا گیاهـان مـواد زائـد معدنی را جذب کنند و پس از حذف مواد زائد، آب تمیز شـده سیسـتم هیدروپونیک وارد مخزن پرورش ماهی می‌شد. هر هفته کـلات آهـن به میزان ۲ میلی‌گرم بر لیتر به سیستم آکواپونیک افزوده می‌شد.

خصوصیات شیمیایی و فیزیکی محلول آکواپونیک مـورد اسـتفاده در آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. غلظت نیتریـت (NO_3)، نیترات (NO_2) و آمونیـوم (NH_4) محلـول آکواپونیـک بـا اسـتفاده از کیت‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شـدند. بـرای انـدازه‌گیـری سـطح اکسیژن در محلول سیستم آکواپونیک از یـک دسـتگاه اکسـیژن‌متـر پرتابل ساخت کشور آلمان شرکت WTW مدل OXi 315i اسـتفاده شد.



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

جدول ۱- خصوصیات غذای ماهی در آزمایش

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

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی محلول آکواپونیک استفاده شده در آزمایش

پارامتر اندازه‌گیری شده	مقدار
اکسیژن محلول ($mg\ L^{-1}$)	۵/۱۲
pH	۷/۷۴
EC ($mS\ cm^{-1}$)	۰/۶۲
دمای آب (°C)	۲۲/۳
NO_3-N (mM)	۰/۵۶۵
NO_2-N (mM)	۰/۰۳۶
NH_4-N (mM)	۰/۰۲
K (mM)	۰/۵۷۹
P (mM)	۰/۲۴۷
Ca (mM)	۰/۷۹۸
Mg (mM)	۰/۳۱۵
Fe (µM)	۳/۳۴
Mn (µM)	۶/۱۲
Zn (µM)	۵/۸۷
Cu (µM)	۰/۷۲

در طول آزمایش ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش انـدازه‌گیـری و تعداد برگ و تعداد گره شمارش شد. سنجش کلروفیل نیز با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج و بصورت شاخص SPAD انجام شد. همچنین جهت اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, Cl202, Cid, Inc.) استفاده شد. فاصله کاشت تا بـه گل رفتن بر حسب روز محاسبه شد.

در انتهای آزمایش پس از به گـل رفـتن اکثـر گیاهـان، برداشـت انجام شد و بلافاصله وزن تر اندام‌ها با استفاده از تـرازو انـدازه‌گیـری شد. پس از گذشت ۱۰ روز از برداشت اندام‌هـا و خشـک شـدن پیکـر رویشی در هوای آزاد (در آزمایشگاه) وزن خشک ریشه و بخش‌هوایی با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد.

قسـمتی از نمونـه‌هـا بـه مـدت ۴۸ سـاعت در دمـای ۷۲ درجـه سلسیوس خشک‌کن قرار گرفتند. مقدار ۰/۵ گـرم از هـر نمونـه گیـاه خشک و آسیاب شده (بخش‌هوایی و ریشه به صورت مجزا) در داخـل کروزه سیلیسی ریخته و در کـوره الکتریکـی قـرار داده شـدند. درجـه حرارت کوره به تـدریج در طـی ۴ سـاعت بـه ۵۰۰ درجـه سلسـیوس رسانده شد. بعد از ۲۴ ساعت، بوته‌ها از کوره خارج شدند و برای هضم نمونه‌ها از اسید کلریدریک ۲ نرمال استفاده شد. بعد از عصاره‌گیـری، غلظـت سـدیم و پتاسـیم توسـط فتـومتر شـعله‌ای (شـرکت آلمـانی، مدلJENWAY, PFP7)، کلسـیم، منیـزیم و آهـن توسـط دسـتگاه جذب اتمی (GBC Avanta ver.1.33) و فسـفر توسـط طیـف‌سـنج (مدل T80 UV/VIS, PG Instruments Ltd) انـدازه‌گیـری شـدند (۱).

استخراج و اندازه‌گیری اسانس پیکر رویشی به روش تقطیر با آب و به وسیله دستگاه کلونجر[1] صورت گرفت. پس از قرار دادن گیاه بـه همراه آب درون بالن، دستگاه نصب و روشن شـد. اسـانس همـراه بـا بخار آب در قسمت سرد کننده جمع و در سردکن، عمل میعان صورت گرفته و قطرات اسانس درون آب به صورت دو فاز مشخص به طـرف لوله مدرج حرکت می‌کرد. به علت سبک‌تر بـودن اسـانس نسـبت بـه آب، اسانس ریحان روی آب قرار می‌گرفت. انـدازه‌گیـری اسـانس بـه روش حجمی و در لوله مدرج انجام گرفت.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میـانگین‌هـای مربـوط بـه

1- Clevenger

تیمارهای آزمایشی به روش دانکن از نرم افزار آماری SAS استفاده شد و سپس نمودارها با استفاده از برنامه سیگما پلات رسم شد.

نتایج

رشد رویشی گیاه

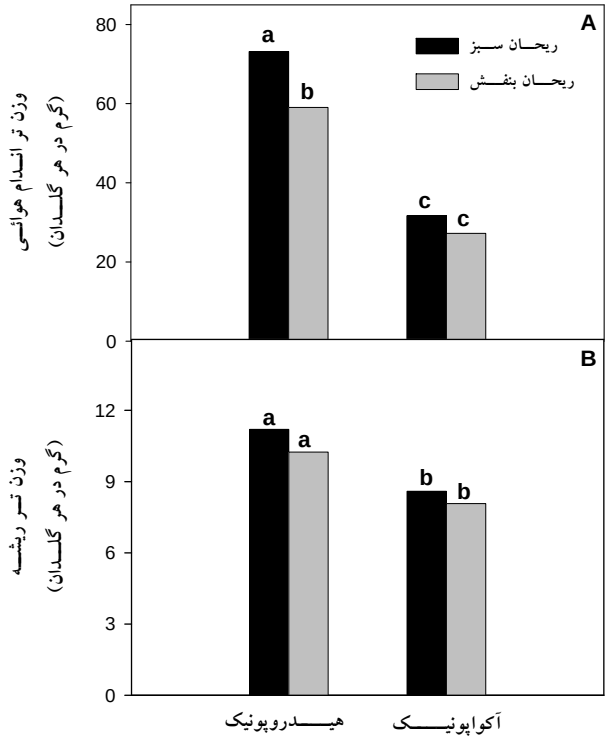
مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گیاهان در تیمار هیدروپونیک وزن تر بخش‌هوایی بیشتری نسبت به تیمار آکواپونیک داشتند (شکل ۲A). اختلاف بین ارقام نیز در تیمار هیدروپونیک معنی‌دار بود و تیمار هیدروپونیک وزن تر بخش‌هوایی را در ریحان سبز بیشتر افزایش داد. بین ارقام ریحان تیمار شده با محلول آکواپونیک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

با توجه به شکل ۲B تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر وزن تر ریشه در ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. تیمار هیدروپونیک وزن تر ریشه را نسبت به تیمار آکواپونیک افزایش داد. بیشترین وزن تر ریشه مربوط به رقم ریحان سبز بود که با محلول هیدروپونیک تغذیه می‌شد. البته اختلاف این رقم با رقم بنفش معنی‌دار نبود.

اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر وزن خشک بخش هوایی ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۳A). در تیمار هیدروپونیک بین ریحان سبز و ریحان بنفش تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک بخش-هوایی مربوط به رقم ریحان سبز بود که با محلول هیدروپونیک تیمار شده بود.

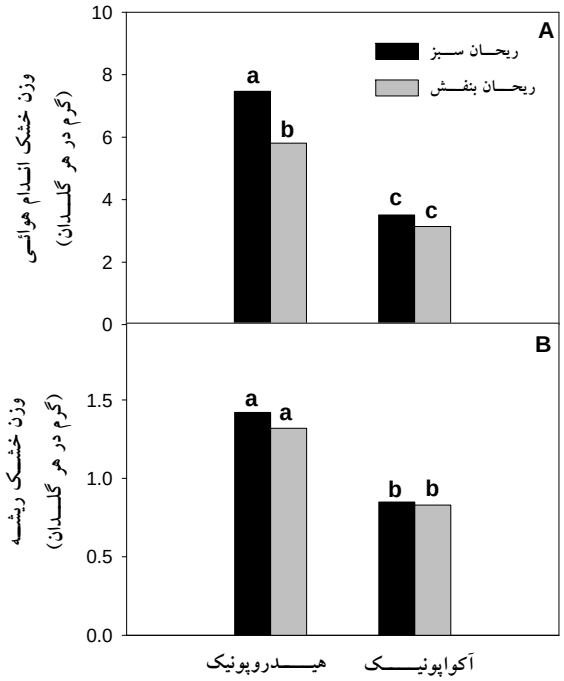
اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل ۳B). بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به رقم ریحان سبز بود که با محلول هیدروپونیک تیمار شده بود. تفاوت وزن خشک ریشه بین دو رقم در سیستم‌های هیدروپونیک و آکواپونیک معنی‌دار نبود.

تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر تعداد گره در ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) بود (شکل ۴A). در تیمار هیدروپونیک بین ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت و بیشترین تعداد گره مربوط به رقم ریحان سبز بود. تفاوت دو رقم در تیمار آکواپونیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود.



شکل ۲- اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر وزن تر بخش هوایی(A) و ریشه (B) ریحان سبز و بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)



شکل ۳- اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر وزن خشک بخش هوایی (A) و ریشه (B) ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)

با توجه به شکل 4B اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر ارتفاع ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در تیمار هیدروپونیک بین ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت و بیشترین میزان ارتفاع در رقم ریحان سبز که با محلول هیدروپونیک تیمار شده بود مشاهده شد. کمترین ارتفاع در رقم بنفش که با محلول آکواپونیک تیمار شده بود مشاهده شد. تفاوت ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش در سیستم آکواپونیک معنی‌دار نبود.

تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر تعداد برگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و بیشترین تعداد برگ در رقم ریحان سبز که با محلول هیدروپونیک تیمار شده بود، مشاهده شد (شکل 4C). این رقم در تیمار آکواپونیک تفاوت معنی‌داری را در سطح ۵ درصد با رقم بنفش نشان نداد. در رابطه با تاثیر تیمارها بر سطح برگ ریحان سبز و ریحان بنفش بین تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (شکل 4D). در تیمار آکواپونیک بین ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت و تیمار آکوپونیک صفت مذکور را در ریحان سبز بیشتر افزایش داد. بیشترین میزان سطح برگ در گیاهان تیمار شده با محلول هیدروپونیک مشاهده شد. تفاوت سطح برگ در ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش در سیستم هیدروپونیک معنی‌دار نبود.

زمان گلدهی

با توجه به شکل ۵ اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر زمان گلدهی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که گلدهی گیاه ریحان در هر دو رقم ریحان سبز و ریحان بنفش در سیستم هیدروپونیک زودتر از سیستم آکواپونیک اتفاق افتاد.

شاخص کلروفیل (SPAD)

با توجه به شکل ۶ شاخص SPAD به طور معنی‌داری تحت تاثیر سیستم کشت قرار گرفت و میزان آن در تیمار هیدروپونیک به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار آکواپونیک بود. اختلاف بین ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش نیز در دو تیمار هیدروپونیک و آکواپونیک معنی‌دار بود. در هر دو تیمار هیدروپونیک و آکواپونیک میزان سبزینگی در ریحان سبز نسبت به ریحان بنفش بیشتر بود. بیشترین میزان سبزینگی در ریحان سبز بود که با محلول هیدروپونیک تیمار شده بود.

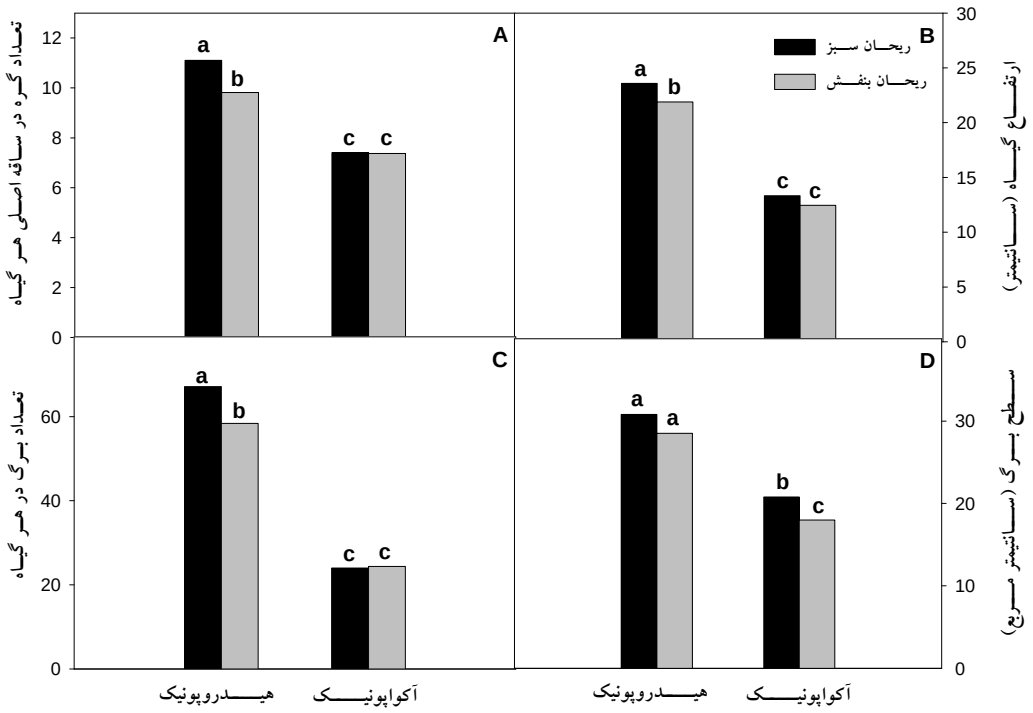
محتوی اسانس

در رابطه با تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر محتوی اسانس تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود نداشت (شکل ۷).

اختلاف بین دو رقم ریحان سبز و ریحان بنفش در دو سیستم هیدروپونیک و آکواپونیک در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود.

غلظت عناصر در گیاه

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان نیتروژن در اندام‌های هوائی ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان نیتروژن در گیاهانی که با محلول هیدروپونیک تیمار شدند مشاهده شد. اثر رقم بر میزان نیتروژن بخش‌هوایی معنی‌دار نشد.

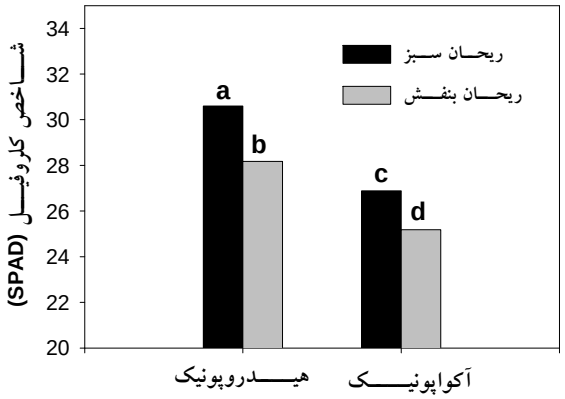


شکل ٤- اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر تعداد گره، ارتفاع، تعداد برگ و سطح برگ در ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)

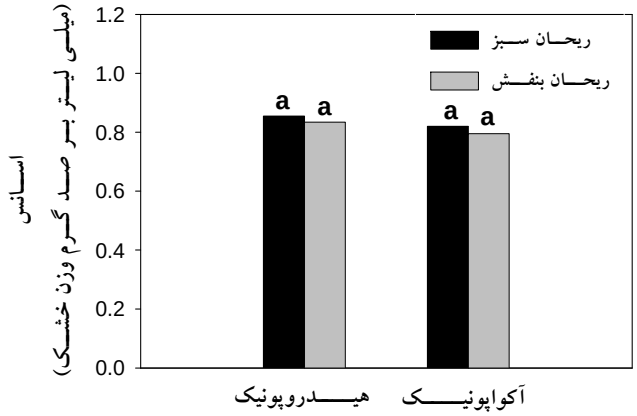
شکل ٥- تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر زمان گلدهی در ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)



شکل ٦- تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر شاخص کلروفیل (SPAD) در ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)



شکل ۷- تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان اسانس ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)

شکل ۸- تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان نیتروژن ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)

تاثیر سیستم‌های هیدروپونیک و آکواپونیک بر غلظت پتاسیم در اندام‌های هوائی گیاه ریحان در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (شکل ۹A). بیشترین میزان پتاسیم در رقم بنفش که با محلول آکواپونیک تغذیه شده بود مشاهده شد و اختلاف آن با رقم سبز که با همین محلول آبیاری شده بود در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بین ارقام سبز و بنفش که با محلول هیدروپونیک آبیاری شده بودند اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

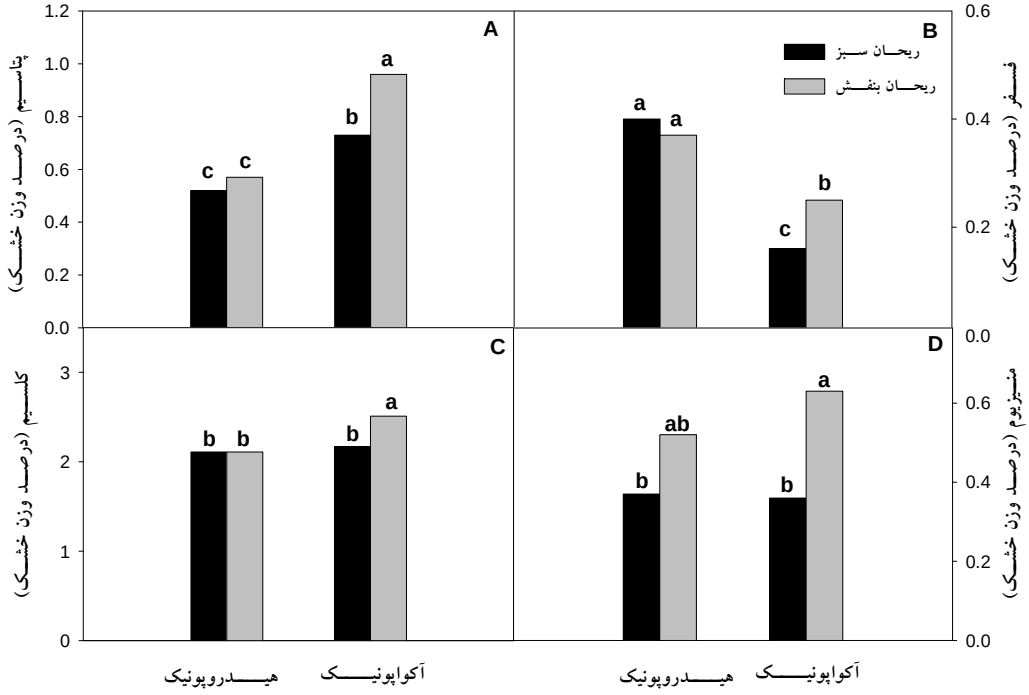
تاثیر محلول‌های هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان فسفر بخش‌هوایی گیاه ریحان معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) بود (شکل ۹B). بیشترین میزان فسفر در رقم سبز که با محلول هیدروپونیک تغذیه شده بود مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با رقم بنفش که با همین محلول آبیاری شده بود نشان نداد. بین ارقام سبز و بنفش که با محلول آکواپونیک آبیاری شده بودند اختلاف معنی‌داری وجود داشت. کمترین میزان فسفر در رقم سبز تغذیه شده با محلول آکواپونیک مشاهده شد.

بیشترین میزان کلسیم در رقم بنفش که با محلول آکواپونیک تغذیه شده بود مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم سبز نشان داد (شکل ۹C). تفاوت میزان کلسیم در دو رقم ریحان سبز و بنفش در سیستم هیدروپونیک معنی‌دار نبود. تاثیر محلول‌های هیدروپونیک و آکواپونیک بر غلظت منیزیم معنی‌دار نبود، با این حال بیشترین میزان منیزیم در رقم بنفش و در سیستم آکواپونیک مشاهده شد (شکل ۹D).

با توجه به شکل ۱۰A اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان سدیم ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار هیدروپونیک میزان سدیم بخش‌هوایی را نسبت به تیمار آکواپونیک بیشتر افزایش داد. اختلاف بین ارقام نیز در دو تیمار معنی‌دار بود. در هر دو سیستم میزان سدیم در ریحان بنفش بیشتر بود.

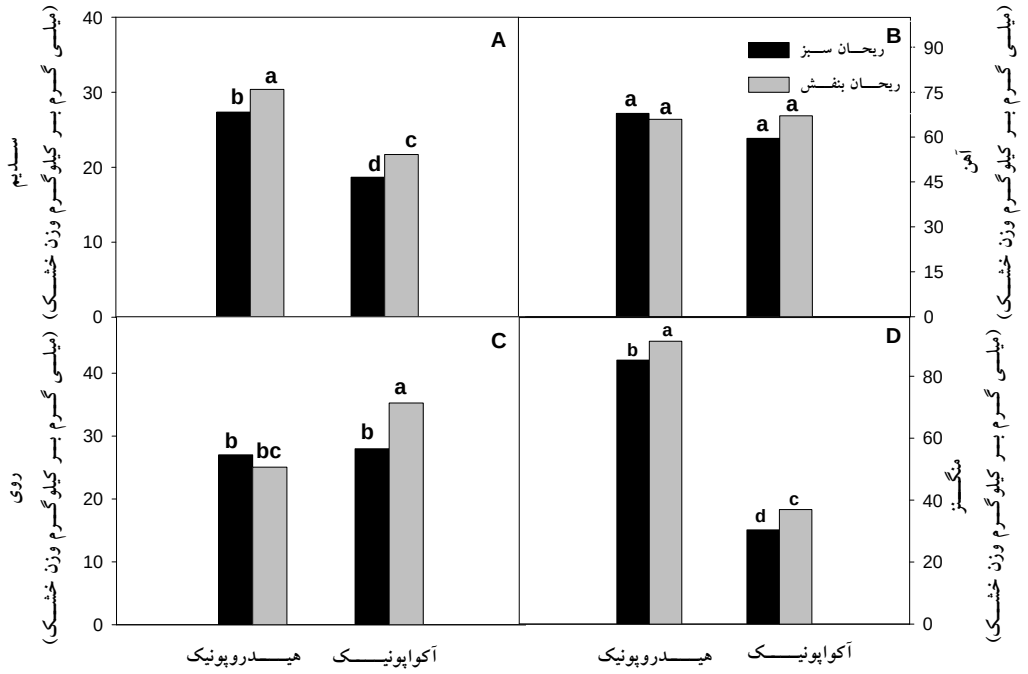
با توجه به شکل ۱۰B اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان آهن بخش‌هوایی ریحان سبز و ریحان بنفش معنی‌دار نبود. اثر رقم نیز بر غلظت آهن بخش‌هوایی معنی‌دار نبود.

اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان عنصر روی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اختلاف بین ارقام ریحان سبز و ریحان بنفش نیز در تیمار آکواپونیک معنی‌دار بود (شکل ۱۰C). بیشترین میزان روی در تیمار آکواپونیک و رقم بنفش مشاهده شد. میزان روی در دو رقم ریحان سبز و ریحان بنفش در سیستم هیدروپونیک تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان نداد.



شکل ۹- تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیوم در بخش هوایی ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)



شکل ۱۰- تاثیر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان سدیم، آهن، روی و منگنز در بخش هوایی ریحان سبز و ریحان بنفش

(حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارها است.)

با توجه به شکل ۱۰D اثر تیمارهای هیدروپونیک و آکواپونیک بر میزان منگنز ریحان سبز و ریحان بنفش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار هیدروپونیک میزان منگنز بخش‌هوایی را نسبت به تیمار آکواپونیک بیشتر افزایش داد. اختلاف بین ارقام نیز در دو تیمار معنی‌دار بود. به طوری که میزان منگنز در ریحان بنفش بیشتر از ریحان سبز بود.

بحث

نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت نیتروژن در بخش هوائی هر دو رقم ریحان در سیستم آکواپونیک نسبت به سیستم هیدروپونیک کاهش پیدا کرد. مهمترین دلایل کاهش جذب نیتروژن در تیمار آکواپونیک ممکن است فاصله زمانی کم بین راه‌اندازی سیستم و انتقال گیاهان، دمای پایین آب و کافی نبودن تعداد ماهی در سیستم آکواپونیک باشد. فرآیند اکسیداسیون در سیستم آکواپونیک توسط باکتری‌های شوره‌ساز معمولاً ۵۶-۳۳ روز به طول می‌انجامد تا به تعادل برسد (۱۱). با توجه به این که این سیستم برای اولین بار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان اجرا شد، احتمالاً باکتری‌های شوره‌ساز در این مدت محدود هنوز به تعادل نرسیده بودند، بنابراین چنین تصور می‌شود که از زمان راه‌اندازی سیستم تا کاشت گیاه فرصت بیشتری لازم باشد. ماهی نیتروژن را عمدتاً به شکل حل شده دفع می‌کند. نیتروژن زائد که توسط ماهی آزاد می‌شود، آمونیاک می‌باشد که از طریق آبشش‌های ماهی به صورت گاز خارج می‌شود. در پروسه شوره‌سازی آمونیاک توسط باکتری‌ها به نیتریت و سپس به نیترات تبدیل می‌شود (۱۲). فیلترهای زیستی که مسئول تبدیل آمونیوم به نیترات هستند در شرایط دمایی ۲۵-۲۴ درجه سلسیوس کنترل می‌شوند (۲۵). از آن جایی که به علت انجام آزمایش در فصل سرد دمای آب سیستم کمتر از دمای مطلوب برای فیلترهای زیستی بود احتمالاً فیلتر زیستی که همان بستر هیدروپونیک است به خوبی عمل نکرده است و بنابراین کارکرد آن کاهش یافته است. دلیل دیگر در کاهش میزان جذب نیتروژن، کم بودن تعداد ماهی‌ها (۱۵ ماهی ۱۸۰ گرمی در هر مخزن ۸۵۰ لیتری) می‌باشد. احتمالاً در این آزمایش تعداد ماهی برای تامین نیتروژن لازم برای گیاهان کافی نبوده است.

ماهی فسفات را اغلب از طریق ادرار و فضولات دفع می‌کند و بیشتر فسفات در سیستم تجمع می‌یابد (۱۲). میزان جذب فسفر در تیمار هیدروپونیک و در رقم ریحان سبز بیشتر از تیمار آکواپونیک بود. احتمالاً میزان فسفری که توسط ماهی در سیستم آکواپونیک در آب آزاد شده، کافی نبوده است. بنابراین با افزایش تعداد ماهی و میزان غذادهی احتمالا این مشکل حل خواهد شد.

در رقم بنفش در تیمار هیدروپونیک جذب روی نسبت به تیمار آکواپونیک کمتر بود. با توجه به غلظت بالاتر نیتروژن و فسفر در

گیاهان روئیده در سیستم هیدروپونیک احتمال رقیق شدن[1] روی در گیاه که ناشی از تاثیر این عناصر در افزایش رشد گیاه می‌باشد، وجود دارد (۱۷). البته لازم به ذکر است که در این آزمایش مخازن سیستم آکواپونیک از فلز گالوانیزه ساخته شده بود که احتمال آزاد شدن روی به سیستم از دیواره مخازن و افزایش غلظت و در نتیجه جذب آن توسط گیاه کشت شده در سیستم آکواپونیک وجود دارد.

با افزایش کاربرد نیتروژن درازا، پهنا و سطح پهنک برگ افزایش می‌یابد (۱۷). هنگامی که میزان ماده غذایی پایین‌تر از حد مطلوب است میزان رشد برگ و به این ترتیب میزان سطح برگ می‌تواند به علت پایین بودن میزان فتوسنتز یا ناکافی بودن انبساط سلول محدود شود (۱۷). این اثرات به علت کاهش در هدایت آب است که باعث کمبود آب در پهنک‌های برگ در حال رشد می‌شود.

در هنگام کمبود فسفر نیز برگها کوچک می‌مانند که به علت ناکافی بودن میزان انبساط سلول است (۱۷). جلوگیری از رشد سلول برگ، به علت کاهش میزان هدایت آب در ریشه گیاهان مبتلا به کمبود فسفر می‌باشد. در تیمار آکواپونیک جذب فسفر و نیتروژن کمتر بوده و بنابراین سطح و تعداد برگ نیز کمتر شده است.

در کمبود نیتروژن رشد طولی گیاه کم می‌شود (۲). طبیعی است که در سیستم هیدروپونیک نیتروژن بر طول ساقه اثر داشته و آن را افزایش داده است. نیتروژن عاملی است که تعداد میانگره‌ها را افزایش داده و موجب بیشتر شدن ارتفاع گیاه می‌گردد و به طور کل رشد رویشی گیاه را تسریع می‌کند. کمبود عنصر منگنز در گیاه با کاهش رشد رویشی همراه است (۴) و میزان بزرگ شدن سلول نسبت به کمبود منگنز سریع واکنش نشان می‌دهد (۱۹).

پریرا (۲۱) گزارش کرد که آبیاری کاهو با آب ماهی وزن تر بخش‌هوایی را در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با آب چاه افزایش داد. اگرچه وقتی که کاهو با کود شیمیایی کوددهی شد، اختلاف معنی‌داری بین گیاهان آبیاری شده با آب ماهی و آب چاه وجود نداشت. کاسترو و همکاران (۷) دریافتند که آبیاری گوجه‌فرنگی با آب ماهی تعداد میوه و تولید را در ۳ دوره برداشت اول افزایش می‌دهد. اگرچه، افزایش در تعداد میوه در تیمارهایی که آب ماهی دریافت کردند منجر به میانگین وزن میوه کمتر شد. آنها دریافتند که حتی با کاهش در میانگین وزن میوه، افزایش تعداد میوه برای افزایش تولید کافی بود. همچنین پرینسلو و اسکونبی (۲۳) با کاربرد آب ماهی به جای آب چاه یک افزایش از ۶۴/۵ به ۹۵/۸ تن در هکتار در محصول گوجه‌فرنگی مشاهده کردند. گرابر و جانگ (۱۰) گزارش کردند که کمبود مهم در آب ماهی غلظت پایین پتاسیم در آن بوده که ۴۵ بار کمتر از هیدروپونیک بود. در آزمایشی دیگر رشد و محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم هیدروپونیک وآکواپونیک مقایسه شد (۳۰).

نتایج نشان داد که اگرچه رشد رویشی گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک بیشتر بود ولی محصول گوجه‌فرنگی در دو سیستم تفاوت معنی‌داری نداشت و حتی محلول‌پاشی گیاهان روییده در دو سیستم با عناصر کم مصرف باعث شد که محصول میوه در سیستم آکواپونیک بیشتر از سیستم هیدروپونیک شود.

با توجه به این که در تیمار هیدروپونیک میزان جذب نیتروژن، فسفر و منگنز بیشتر از تیمار آکواپونیک بود، ارتفاع و رشد بخش‌های هوایی گیاه همچنین تعدا گره‌ها و به تناسب آن وزن تر و خشک نیز در این تیمار بیشتر شده است. میزان سبزینگی در تیمار هیدروپونیک نسبت به آکواپونیک در هر دو رقم بیشتر شده است زیرا غلظت نیتروژن و منگنز در تیمار هیدروپونیک در هر دو رقم بیشتر بود. نیتروژن علاوه بر نقش مهم خود در تشکیل پروتئین‌ها جزء اصلی مولکول کلروفیل می‌باشد. منگنز نیز در سنتز کلروفیل نقش دارد (۱۷).

نیتروژن همچنین باعث می‌شود که گیاهان زودتر به مرحله بلوغ رسیده و به گل بروند. این زودرسی ممکن است به تاثیر میزان نیتروژن به ساخته شدن و انتقال سیتوکینینها مربوط بشود (۱۷). بنابراین گلدهی دیرتر در سیستم آکواپونیک می‌تواند با نیتروژن پایین در این سیستم در ارتباط باشد.

نتیجه‌گیری کلی

پایین بودن غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و منگنز احتمالا دلیل کاهش رشد گیاهان در سیستم آکواپونیک در مقایسه با سیستم هیدروپونیک بوده است. بنابراین، احتمالا استفاده از گیاهان با نیاز غذایی پایین، افزایش تعداد ماهی در واحد حجم آب و افزایش غذادهی ماهی می‌تواند به رفع کمبود عناصر غذائی 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. بنابراین سیستم آکواپونیک در صورت بهینه شدن پتانسیل تولید گیاهان دارویی مثل ریحان را دارا می‌باشد.

تشکر و قدردانی

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

1- Dilution

منابع

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

۲- پیوست غ.ع. ۱۳۷۷. سبزیکاری. نشر علوم کشاورزی، تهران. ۳۵۰ صفحه.

۳- روستا ح.ر. ۱۳۸۸. اکواپونیک: کشت و پرورش توام ماهی و گیاه در سیستم مدار بسته با بازچرخانی آب. انتشارات پلک. ۱۷۰ صفحه.

۴- ملکوتی م.ج. و طهرانی م.م. ۱۳۷۹. 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.

5- Adler P. 1989. Nitrogen form alters sweet basil growth and essential oil content and composition. HortScience, 24(5):789-790.

6- Adler P.R., Summerfelt S.T., Glenn D.M., and Takeda F. 2003. Mechanistic approach to phytoremediation of water. Ecoloogical Engineering, 20: 251-264.

7- Castro R.S., Azevedo Borges C.M.S. and Bezerra-Neto F. 2006. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in northeast Brazil. Scientia Horticulturae, 110: 44-50.

8- Diver S. 2006. Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. A Publication of ATTRA, 1-800-346-9140 P: 1-13.

9- Donald M.J. and George W. 1997. A prototype recirculation aquaculture-hydroponic system. Journal of Agriculture Mechanization, 29:1-10.

10- Graber A. and Junge R. 2009. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination, 246:147–156.

11- Haug R.T. and McCarty P.L. 1972. Nitrification with submerged filters. Journal of Water Pollution Control Federation, 44:20-86.

12- 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. M.Sc. Thesis. Queen's University, Ontario, Canada.

13- Jones J.B., Jr. 2005. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower, CRC Press, Boca Raton, FL.

14- Lennard W.A. and Leonard B.V. 2006. A comparision of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. Aquaculture International, 14:539-550.

15- Lewis W.M., Yopp J.H., Schramm H.L. and Brandenburg A.M. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recalculated water in a fish culture system. Transactions of the American Fisheries Society, 107:92-99.

16- Losordo T.M., Masser M.P. and Rakocy J.E. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems: A review of component option. SRAC Publication, No. 453.

17- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA.

18- Nelson R.L. 2008. Aquaponic food production. Nelson and Pade Inc Press. Montello WI, USA: 218 pp.

19- Ness P.J. and Woolhouse H.W. 1980. RNA synthesis in phaseolus chloroplasts. I. Ribonucleic acid synthesis and senescing leaves. Journal of Experimental Botany, 31: 223-233.

20- Palada M.C., Cole W.M. and Crossman S.M.A. 1999. Influence of effluents from intensive aquaculture and sludge on growth and yield of bell peppers. Journal of Sustainable Agriculture, 14:85-103.

21- Pereira E.W.L. 2002. Utilizac¸a˜o de efluente de viveiro de peixes na irrigac¸a˜o de alface cultivadaemdiferentes tipos de substrato. Monog. deGrad. Eng. Agron. Escola Superior de Agricultura de Mossoro´, Mossoro´, RN, Brasil, 32 pp.

22- Piderahita R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intencification and recirculation. Aquaculture, 226: 35-44.

23- Prinsloo J.F. and Schoonbee H.J. 1987. Investigation into the feasibility of a duck-fish- vegetable integrated agriculture-aquaculture system for developing areas in South Africa, Water SA., 13 (2):109–118.

24- Rakocy J.E. 1989. Vegetable hydroponics and fish culture: A productive interface. World Aquaculture, pp: 42-47.

25- Rakocy E.R., Masser M.P., and Losordo T.M. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. SRAC Publication, 454: 1-16.

26- Rakocy J.E., Bailey D.S., Shultz R.C. and Thoman E.S. 2006. Update on tilapia and vegetable production in the UVI Aquaponic System. University of the Virgin Islands Agriculture Experiment Station. Kingshill, VI 00850, USA.

27- Rakocy E.R., Losordo T.M. and Masser M.P. 1992. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plabt Culture. SRAC Publication, 454: 1-6.

28- Raymond F.F. 1997. Evaluation of recirculating aquaculture- hydroponics system. PhD. Thesis. Oklahoma State University, USA.

29- Roosta H.R. and Schjoerring J.K. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber (C*ucumis sativus* L., cv. Styx) plants. Journal of Plant Nutrition, 30: 1933-1951.

30- Roosta H.R., and Hamidpour M. 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. Scientia Horticulturae, 129:396-402.