

بررسی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاه نعناع در دو نوع محیط کشت آکواپونیک Raft و پرلیت

حمیدرضا روستا^{*} و عبدالرضا سجادی‌نیا^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۶/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۷/۲۸)

چکیده

آکواپونیک ترکیبی از پرورش ماهی و گیاه در سیستم‌های گردشی است. پرورش ماهی در سیستم بسته با بازچرخانی آب باعث تجمع مواد آلی زائد در محیط کشت می‌شود. اگر این مواد متابولیک به تغذیه گیاهان برسند زائد نیستند، بلکه ارزش اقتصادی داشته و برای سیستم Raft تولید ماهی منفعت دارند. بیشتر سیستم‌های آکواپونیک به صورت بسترها پر شده با پرلیت، لایه نازک محلول غذایی و یا سیستم طراحی می‌شوند. پارامترهای فتوستزی و روابط آبی شاخص‌های خوبی برای تشخیص میزان سلامت گیاهان به شمار می‌روند و به عنوان ابزاری برای مطالعه وضعیت فیزیولوژیک گیاه در سیستم‌های مختلف کشت مورد استفاده قرار می‌گیرند. این آزمایش به منظور بررسی ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاه نعناع در دو بستر آکواپونیک Raft و پرلیت انجام شد. در سیستم Raft ریشه گیاهان در داخل آب ماهی معلق بود و آب را از زیر گلدان جذب می‌کردند. در صورتی که در سیستم پرلیت، ریشه‌ها در بستر پرلیت بودند و آبیاری از بالای گلدان‌ها انجام می‌شد. گیاهان رشد کرده در سیستم Raft علاوه کمود عناصر معدنی را به صورت کلروز برگ‌ها نشان دادند. اندازه‌گیری پارامترهای فتوستزی و آبی نشان داد که میزان فتوستزی، هدایت روزنامه‌ای، تعرق، کارآیی مزوویل، کارآیی مصرف آب و تشعشع فعال فتوستزی در تیمار آکواپونیک پرلیت نسبت به آکواپونیک Raft بیشتر بود. در صورتی که میزان مقاومت روزنامه‌ای، دمای برگ و CO_2 زیر روزنامه‌ای در بودن خصوصیات اکوفیزیولوژیک گیاه نتیجه بهتری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: نعناع، ماهی کپور، هیدروپونیک، آکواپونیک، آبزی پروری، فتوستز

موجود، میزان جذب مواد معدنی از غذاهای حاوی نیتروژن و سفر در ماهیان کم است، که شاید دلیل آن را بتوان به اندازه ذرات غذای مورد استفاده و شرایط محیطی (مثل دمای آب) و نیز به میزان هضم پذیر بودن مواد غذائی نسبت داد (۲۶، ۱۶، ۳۳ و ۳۵). میزان بازدهی نیتروژن مورد استفاده توسط ماهیان کم بوده و بیشتر مواد معدنی که توسط مواد غذایی وارد آب شده تبدیل به مواد پسمانده می‌شوند (۱۴، ۱۷ و ۳۴). البته

مقدمه
آکواپونیک ترکیبی از پرورش ماهی و گیاه در سیستم‌های گردشی است (۲۳). پرورش ماهی در سیستم بسته با بازچرخانی آب (استفاده از آب برای چندین بار) باعث تجمع مواد آلی زائد در محیط کشت می‌شود. اگر این مواد متابولیک به تغذیه گیاهان برسند زائد نیستند، بلکه ارزش اقتصادی داشته و برای سیستم تولید ماهی منفعت دارند. بر اساس گزارش‌های

۱. به ترتیب استادیار و کارشناس ارشد گروه باگبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

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

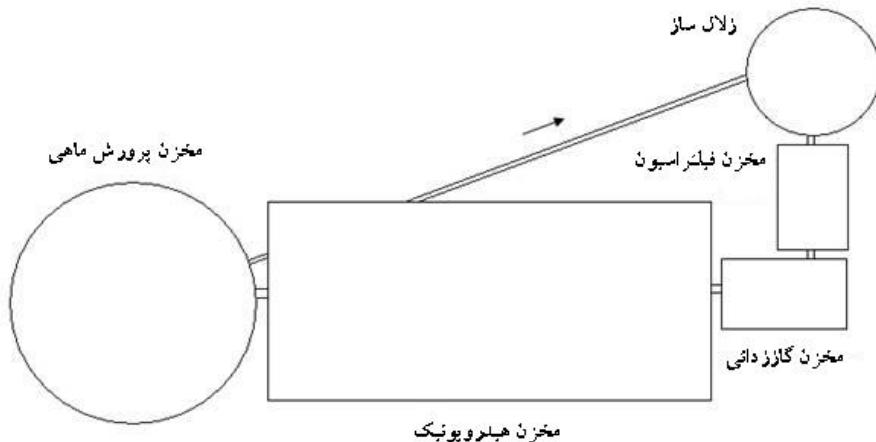
خاکی بود (۱۹). راکوسی و همکاران (۲۰۰۶) محصول ریحان و بامیه کشت شده در سیستم آکواپونیک Raft را با گیاهان رشد کرده در مزرعه مقایسه کردند. محصول ریحان در سیستم آکواپونیک ۳ برابر و محصول بامیه ۱۸ برابر گیاهان کشت شده در مزرعه بود. اگرچه در مرحله میوه‌دهی نیاز سبزی‌های میوه‌ای به ریزمغذی‌ها افزایش یافته و لازم است که عناصر در سطوح پایین (کمتر از ۵/۰ میلی‌گرم در یک لیتر آب) مرتبأ به درون سیستم اضافه شوند (۱۹ و ۲۳). به هر حال به نظر می‌رسد کشت هیدروپونیک سبزی (مخصوصاً سبزی‌های برگی) به صورت تلفیقی با پرورش ماهی با یک راهکار مؤثر برای حذف فضولات از سیستم پرورش ماهی امکان پذیر باشد (۲۵).

بیشتر سیستم‌های آکواپونیک به صورت بسترها پر شده با پرلیت، لایه نازک محلول غذایی (Nutrient film technique) یا سیستم Raft طراحی می‌شوند (۱۱، ۱۸ و ۲۸). سیستم آکواپونیک باید طوری طراحی شود که زیر مجموعه‌های هیدروپونیک به عنوان فیلتر زیستی عمل کنند و هزینه نصب فیلتر زیستی کاهش یابد. بسترها هیدروپونیک با دانه‌های ریز مثل ریگ، شن و پرلیت، مواد مورد لزوم باکتری‌های شوره ساز را تأمین و عموماً به عنوان تنها فیلتر زیستی در برخی سیستم‌های آکواپونیک عمل می‌کنند. اگرچه امکان مسدود شدن منافذ آنها با مواد آلی وجود دارد. اگر تجمع مواد آلی خیلی زیاد باشد امکان تولید آمونیاک به جای مصرف آن وجود دارد. در صورت تجمع زیاد مواد آلی، ریگ یا شن باید شسته شود و طراحی سیستم با کاربرد یک حذف کننده مواد جامد قبل از محیط کشت و یا کاهش تولید مواد آلی در سیستم با کاهش تعداد و اندازه ماهی‌ها و مقدار غذاده اصلاح شود. سوبسترا را می‌توان الگوی زهکش و توسعه ریشه‌های جدید تعریف نمود. پرلیت در اکثر سوبستراها یکی از ترکیبات مورد استفاده در کشت هیدروپونیک است که منافذ محیط کشت را افزایش می‌دهد. مخازن هیدروپونیک Raft نیز که دارای صفحات شناورند اگر به اندازه کافی بزرگ باشند می‌توانند به جای فیلتر زیستی عمل کنند (۲۸). در حال حاضر اطلاعات کمی در مورد

این مقادیر به دمای آب بستگی دارند، چون میزان دفع آمونیاک با افزایش دمای آب زیاد می‌شود (۸). نیتروژن دفع شده توسط ماهی‌ها اغلب به صورت محلول بوده و درصد کمی نیز به شکل ذرات جامد دفع می‌شود (۱۴ و ۲۶). شکل غیر یونیزه آمونیاک در غلظت‌های بالا برای ماهی سمی است. با این حال در سیستم آکواپونیک آمونیاک می‌تواند توسط باکتری‌های سوره‌ساز به نیترات که برای ماهی بی‌ضرر است، تبدیل شود. از طرف دیگر آمونیاک در غلظت‌های زیاد برای گیاه نیز سمی می‌باشد (۲۹، ۳۱)، ولی گیاهان قادرند مقدار زیادی از نیترات را بدون هیچ آسیبی جذب کرده و در اندام‌هایشان تجمع دهند (۳۰). از طرف دیگر وجود هر دو شکل نیتروژن در محلول غذایی نه تنها سمیت آمونیوم را در گیاه کاهش می‌دهد بلکه رشد گیاه را بیشتر از نیترات تنها، افزایش می‌دهد (۳۰). بنابراین وجود هر دو شکل نیتروژن (آمونیوم و نیترات) در محلول آکواپونیک یک حسن تلقی می‌گردد.

میزان جذب فسفر توسط ماهی کم بوده و بیشتر فسفر موجود در غذا به صورت مواد زائد توسط ماهی دفع شده و درون آب می‌ریزد (۱۴ و ۱۵). در مورد فسفر، اکثر مواد دفعی به صورت ذرات جامد بوده و درصد کمی نیز به صورت محلول در آب دفع می‌شود (۲۶). در بیشتر سیستم‌های آکواپونیک، ماهیان کپور معروف‌ترین ماهیان پرورشی می‌باشند و پرورش آنها در بسیاری از نقاط در حال افزایش است (۱۳). با توجه به مقاومت بالای کپور ماهیان به شرایط نامساعد آب مثل آمونیاک و نیتریت زیاد، اکسیژن کم و مواد جامد محلول زیاد، در غیاب ماهی گرانقیمت و مقاوم تیلاپیا در ایران، استفاده از کپور ماهیان در کشت آکواپونیک احتمالاً توانم با موفقیت خواهد بود.

بر اساس تحقیقات انجام شده، فضولات ماهی موجود در آب آبیاری می‌تواند برای رشد بیشتر سبزی‌های برگی کافی باشد (۱۲ و ۲۷). در آزمایش‌های انجام شده در سیستم آکواپونیک، کشت کاهو و کلم چینی موفقیت آمیز بوده و باعث بهبود کیفیت آب ماهی شده است (۹ و ۲۷). کیفیت محصول سبزی‌های میوه‌ای نیز در سیستم آکواپونیک بهتر از سیستم



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

(شکل ۱). در این سیستم‌ها پمپ آب که در زیر مخزن پرورش قرار گرفته بود، آب را به زلال‌ساز (Clarifier) پمپاژ می‌کرد. پس از ته نشین شدن مواد جامد در زلال ساز، آب بر اثر نیروی گرانش وارد سیستم فیلتراسیون می‌شد که درون آنها توری قرار گرفته بود و ذرات کوچکتری که در زلال‌ساز جدا نشده بود را از آب حذف می‌کرد. بعد از این مرحله، آب وارد سیستم گاززدایی می‌شد تا گازهای مضر که در طول مرحله فیلتر کردن ممکن بود تولید شده باشند حذف شوند. سپس آب وارد مخازن هیدروپونیک می‌شد تا گیاهان مواد معدنی موجود در آن را جذب کنند و پس از حذف مواد زائد، آب تمیز شده از بسترها هیدروپونیک دوباره به مخازن پرورش ماهی برمی‌گشت. هر مخزن پرورش ۱۰ دمنده هوا نیز در مخزن گاززدایی قرار داشت. هر مخزن هیدروپونیک نیز ۱۰ عدد دمنده هوا داشت که به طور ماهانه تمیز می‌شدند. سه دمنده هوا نیز در مخزن گاززدایی قرار داشت. هر مخزن هیدروپونیک نیز ۱۰ عدد دمنده هوا داشت که به فاصله نیم متر از یکدیگر در حاشیه مخزن قرار گرفته بودند. مواد جامد رسوب شده در زلال‌ساز روزانه با باز کردن شیر موجود در زیر زلال‌ساز خالی می‌شد. مواد جامد ریز که روی توری در مخزن‌های فیلتر جمع می‌شد یک یا دو بار در ماه پس از خالی کردن مخزن و شستن توری با آب تمیز می‌شد. تنها ماده غذایی که باید اضافه می‌شد آهن بود که به صورت کیلیت در غلاظت ۲ میلی‌گرم در لیتر و هر سه هفته یکبار به بستر هیدروپونیک اضافه می‌شد. آبی که بر اثر تبخیر از سیستم، تعرق گیاه و حذف

برتری استفاده از هر کدام از این سیستم‌ها وجود دارد. بنابراین، در تحقیق حاضر دو سیستم کشت بستر پرلیت (دارای سوبسترا) و Raft (بدون سوبسترا) انتخاب و شرایط اکوفیزیولوژیک گیاهان رشد کرده در آن مقایسه شد.

پارامترهای اکوفیزیولوژیک شاخص‌های خوبی برای تشخیص گیاهان سالم به شمار می‌روند و به عنوان ابزاری برای مطالعه وضعیت فیزیولوژیک گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدیهی است عواملی که کارآیی فتوستتری را در گیاه افزایش دهند، باعث افزایش تولید خالص خواهند شد (۴).

بررسی شاخص‌های اکوفیزیولوژیک مانند فتوستتر، کارآیی مزوفیل، تعرق، هدایت روزنگاری، مقاومت روزنگاری، دمای برگ، تشعشع فعال فتوستتری (Photosynthesis active radiation) و کارآیی مصرف آب می‌تواند به درک عمیق‌تر ساز و کارهای مرتبط با رشد، تولید محصول و سازگاری منجر شود و به عنوان یک معیار خوب جهت انتخاب محیط‌های مناسب کشت استفاده شود (۲۰، ۲۴ و ۳۶). بنابراین، در این آزمایش شاخص‌های فیزیولوژیک بالا برای بررسی وضعیت فیزیولوژیک گیاهان کشت شده در محیط آکواپونیک به کار رفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در محل گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر رفسنجان و در سه سیستم آکواپونیک کاملاً مشابه انجام شد

شیمی)؛ هدایت الکتریکی (EC)، مواد جامد محلول کل (Total dissolved solids) (TDS) و کلرید سدیم با استفاده از کنداکтомتر (ساخت شرکت آلمانی WTW)، پتانسیم توسط شعله‌سنجد، فسفر توسط طیفسنج و آهن، روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی (GBC Avanta ver.1.33) اندازه‌گیری شد (۱). اندازه‌گیری دمای آب، pH، سختی کل و قلیائیت کل فقط در ورودی آب به مخزن هیدروپونیک انجام شد، چون این پارامترها عموماً در طول سیستم ثابت می‌مانند.

به علت این که نعناع در مرحله گل‌دهی بیشترین اسانس را دارد و ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک آن می‌تواند نقش مهمی در سنتز اسانس داشته باشد، بنابراین پس از این که در هر دو تیمار آکواپونیک، گیاهان به مرحله شروع گل‌دهی رسیدند خصوصیات اکوفیزیولوژیک آنها شامل میزان فتوستز (میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه)، هدایت روزنها (مول بر متر مربع بر ثانیه)، مقاومت روزنها (مول بر متر مربع بر ثانیه)، دمای برگ (درجه سلسیوس)، میزان CO_2 زیر مربع بر ثانیه)، کارآبی مزوپیل (مول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، کارآبی مصرف آب (میکرومول CO_2 بر مول آب) و تشعشع فعال فتوستزی (P.A.R)، با دستگاه آنالیزور گاز مادون قرمز (Infra red gas analyzer (IRGA, ADC, LCA-4, Hoddesdon, UK)) اندازه‌گیری شد. با قرار گرفتن برگ‌های قسمت میانی شاخه‌ها در قسمت اتفاق دستگاه، و بر اساس ورود و خروج گازها در این قسمت و اندازه‌گیری میزان گازهای خروجی و بر حسب برنامه تنظیم شده روی دستگاه اطلاعات مربوط به هر شاخص ثبت گردید. اندازه‌گیری‌ها در روزهای غیر ابری و در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح و شدت نور بیش از ۱۶۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه در طول آزمایش انجام شد. آزمایش در دو سیستم Raft و پرلیت به عنوان تیمار و ۳ تکرار (۳ سیستم آکواپونیک کاملاً مشابه و ۳ گلدان با بستر پرلیت در خارج از سیستم که هر کدام به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد) و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد زائد جامد رسوب شده در زلال‌ساز کم می‌شد، به طور خودکار با آب شیر متصل به شبکه آب شهر جایگزین می‌شد. سطح آب مخازن پرورش به وسیله یک حباب شناور تنظیم می‌شد. تعداد ۸ ماهی کپور از نوع فیتوفاگ و ۷ ماهی کپور از نوع آمور در هر متر مکعب آب اضافه شد. وزن ماهی‌ها به طور متوسط ۱۸۰/۷۲ گرم بود.

ماهی‌ها دو بار در روز با غذای کامل پلیت دارای ۳۲ درصد پروتئین تغذیه می‌شدند. ماهی به طور مداوم در این سیستم تولید می‌شد تا جمعیت باکتری‌ها ثابت باقی بماند. بنابراین، آزمایش هیدروپونیک برای ارزیابی تولید نعناع در سیستم آکواپونیک انجام شد. علت انتخاب نعناع در این آزمایش رشد بهتر آن در سیستم‌های آکواپونیک بود. بنابراین، نشاء‌های نعناع در یک سیستم کاملاً تثبیت شده هیدروپونیک Raft که عناصر غذایی از مواد زائد ماهی تأمین می‌شد کشت شد. گیاهان با تراکم نشاء ۱۲ گیاه در متر مربع در سوراخ‌های تعییه شده در صفحه‌های یونولیتی شناور در روی بستر هیدروپونیک Raft کشت شدند. برای مقایسه، نشاء‌های نعناع در گلدان‌های حاوی پرلیت در خارج از سیستم نیز کشت شد و روزانه ۳ بار با آب سیستم آکواپونیک به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان آبیاری شد. برای تحریک رشد جانبی نعناع گیاهان دو بار بریده شده و اجازه داده شد به رشد ادامه دهد. در این دو برداشت ساقه اصلی در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری بریده شد که به اندازه کافی برگ برای رشد دوباره روی گیاه باقی بماند. برای بررسی کیفیت آب در سیستم Raft نمونه‌هایی برای آنالیز کیفیت آب از ورودی و خروجی مخزن هیدروپونیک گرفته شد تا تغییراتی که در کیفیت آب به عنوان آب پرورش ماهی در طول گذر از اجزای هیدروپونیک و مخزن پرورش و اجزای حذف مواد جامد ایجاد می‌شود، ارزیابی شود. pH آب در سیستم آکواپونیک با استفاده از pH متر پرتاپل (ساخت شرکت آلمانی WTW)، قلیائیت کل، سختی آب (Hardness)، نیتروژن آمونیاکی کل، نیتروژن نیتریتی و نیتروژن نیتراتی با استفاده از کیت‌های اندازه‌گیری کیفیت آب (تهیه شده از شرکت ارک

جدول ۱. ویژگی‌های کیفی آب در طول آزمایش و حدود بحرانی فاکتورهای آب برای تولید ماهی در سیستم آکواپونیک

فاکتورها	آب ورودی هیدروپونیک	آب خروجی هیدروپونیک	حد بحرانی برای ماهی
اکسیژن محلول (mg/L)	۶/۲±۰/۰۷	۶/۰۱±۰/۰۸	>۶
قلیلیت کل (mg/L)	۲۴۴±۲۴	-	-
سختی کل (mg/L)	۱۵۱/۳±۱۳	-	-
pH	۷/۷۲±۰/۱۱	-	۷-۸
EC(mS/cm)	۰/۵۳±۰/۰۳	۰/۵۲±۰/۰۲	<۱/۲
TDS (mg/L)	۳۲۵±۱۲۴	۳۲۸±۲۷	-
NaCl (%)	۰/۹±۰/۰۴	۰/۷۳±۰/۱۱	-
دما (°C)	۲۲/۷±۰/۸۲	-	-
نیترات (mg/L)	۳۲/۴±۴/۳	۳۳/۴±۳/۳	<۱۵۰
نیتریت (mg/L)	۱/۵۸±۰/۲۲	۱/۵۱±۰/۲۷	<۰/۲
آمونیوم (mgL⁻¹)	۰/۳۲±۰/۰۳	۰/۳۴±۰/۰۴	<۱/۰
پتابسیم (mg/L)	۲۸/۱±۴/۴	۲۶/۹±۳/۵	-
فسفر (mg/L)	۷/۸۷±۰/۵۶	۷/۴۸±۰/۳۲	-
آهن (mg/L)	۰/۲۵±۰/۰۸	۰/۲۴±۰/۰۹	-
روی (mg/L)	۰/۴۱±۰/۰۳	۰/۳۵±۰/۰۴	-
مس (mg/L)	۰/۰۳۷±۰/۰۲	۰/۰۳۴±۰/۰۳	-

برای افزایش بهره‌وری گیاهان ایجاد نموده است و برای استفاده بهینه از این تکنیک‌ها به درک اساسی فتوسترنز نیاز می‌باشد (۳). از طرفی بررسی شاخص‌های اکوفیزیولوژیک مانند فتوسترنز می‌تواند به درک عمیق‌تر مکانیسم‌های مرتبط با رشد، تولید محصول و سازگاری منجر شود و به عنوان یک معیار خوب جهت انتخاب محیط‌های مناسب کشت استفاده شود (۲). روئیز سانچز و همکاران (۳۲) در سال ۲۰۰۰ گزارش کردند که هدایت روزنامه‌ای با میزان فتوسترنز ارتباط مستقیم دارد و کاهش فتوسترنز در اثر بالا رفتن دما با کاهش هدایت روزنامه‌ای همبستگی دارد. در این بررسی، هر چند که از این نظر تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار مشاهده نشد اما همبستگی مثبتی بین میزان فتوسترنز و هدایت روزنامه‌ای به چشم می‌خورد (جدول ۳). در آزمایشی که در سال ۲۰۰۶ توسط ویلسون و همکاران انجام شد، رشد کاهو در سیستم آکواپونیک و در بستر شنی بهتر از

نتایج و بحث کیفیت آب سیستم آکواپونیک

جدول ۱ کیفیت آب سیستم را در طول آزمایش نشان می‌دهد. به غیر از نیتریت که غلظت آن بیشتر از ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر بود، پارامترهای مهم از نظر تولید ماهی (نیترات، pH، EC و غلظت اکسیژن) در طول آزمایش در زیر حد بحرانی باقی ماندند.

شدت فتوسترنز خالص

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شدت فتوسترنز در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول ۲). فتوسترنز نقش اساسی در بهره‌وری (تولید) گیاه دارد. استفاده از تکنیک‌های نوین مؤثر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه فرصت‌های جدید و قابل توجهی

جدول ۲. مقایسه شدت فتوسترن، میزان تعرق، کارآئی مصرف آب، بازده مزوفیل، PAR و CO_2 زیر روزنۀ در برگ‌های گیاه نعناع در دو نوع محیط کشت آکوپونیک و Raft

دما برگ (°C)	CO ₂ زیر روزنۀ (μmol mol ⁻¹)	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	بازده مزوفیل (mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	کارآئی مصرف آب (μmol CO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O)	تعرق (mmol m ⁻² s ⁻¹)	فتوسترن (μmol m ⁻² s ⁻¹)	سیستم کشت
۳۳/۷۷ b	۴۶۳/۵۵ a	۸۸۶/۳۳ a	۰/۰۱۴ a	۹/۷۳ a	۱/۵۷ a	۱/۴۲ a*	آکوپونیک پریلت
۳۴/۷۵ a	۱۰۱/۷۸ b	۴۸۵/۷۷ b	۰/۰۰۵ b	۱/۷۲ b	۱/۱۷ b	۲/۰۶ b	آکوپونیک Raft

*: حروف متغیر در هر ستون نشانه اختلاف معنی دار میان گینه‌ها در سطح احتمال ۵٪/ آزمون داکن می‌باشد.

جدول ۳. همبستگی بین فاکتورهای اکوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شده شامل: تشعشع فعال فتوسترنی (P.A.R)، میزان تعرق (E)، دمای برگ (T_{leaf})، هدایت روزنۀای (g_s)، میزان فتوسترن (P_n)،

ME (mol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	WUE (μmol mol ⁻¹)	r _s (m ² s mol ⁻¹)	Ci (μmol mol ⁻¹)	Pn (μmol m ⁻² S ⁻¹)	g _s (mol m ⁻² s ⁻¹)	T _{leaf} (°C)	E (mol m ⁻² s ⁻¹)	P.A.R (μmol S ⁻¹ m ⁻²)	P.A.R
۱	-۰/۹۲**	-۰/۷۹۹*	-۰/۷۹۹*	۰/۰/۸۵ ns	-۰/۰/۹۱*	-۰/۰/۹۱*	-۰/۰/۸۵ ns	-۰/۰/۲۲۳۱ ns	۰/۰/۴۵ ns
۱	-۰/۴۰۸ ns	-۰/۴۰۸ ns	-۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۹۲**	-۰/۴۰۸ ns	-۰/۹۲**	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۰/۳۶۴ ns	-۰/۰/۳۶۴ ns	-۰/۰/۳۶۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۴۰۸ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۰/۳۷۷ ns	-۰/۰/۳۷۷ ns	-۰/۰/۳۷۷ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۰/۴۳۲ ns	-۰/۰/۴۳۲ ns	-۰/۰/۴۳۲ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۴۴ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۴۵۷ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns
۱	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۴۷۵ ns	-۰/۰/۹۸ ns	۰/۰/۹۸ ns

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪/۵٪ و ۰٪/۵٪ و غیر معنی دار

و تیمار آکواپونیک Raft برخلاف هدایت روزنه‌ای کمتر، مقاومت روزنه‌ای بالاتری داشت (جدول ۳).

شدت تعرق

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شدت تعرق در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول ۲). در این بررسی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین فتوستتر و تعرق ($R^2=0.884$) مشاهده شد (جدول ۳). تعرق یکی از پیامدهای ناگزیر فتوستتر به حساب می‌آید و به دلیل آن که یکی از اجزای مهم موازنۀ انرژی برگ است اثرات مهمی بر گیاه دارد. گزارش‌هایی مبنی بر وجود رابطه خطی میان فتوستتر و تعرق گیاه ارائه شده که مطابق با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (۱۰).

دمای برگ

میزان دمای برگ در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک Raft به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک پرلیت بود (جدول ۲). بالا بودن دمای برگ بر تبادلات گازی گیاه، میزان فتوستتر و عملکرد گیاه تأثیر سزاگی دارد. دمای زیاد علاوه بر تأثیر بر ساختارهای فتوستزی باعث افزایش تنفس نوری و در نتیجه کاهش بازده فتوستتر می‌شود. تیمار آکواپونیک Raft که دمای برگ بالاتری نسبت به آکواپونیک پرلیت داشت میزان فتوستتر، هدایت روزنه‌ای و تعرق پایین‌تری نسبت به تیمار آکواپونیک پرلیت داشت (جدول ۲). کاهش در شدت فتوستتر بر اثر دماهای‌های بالا در گیاه زیتون گزارش شده است (۷). در دماهای بالا شدت فتوستتر پایین است زیرا سیالیت غشاها با افزایش دما به شدت افزایش می‌یابد و همین، سبب مختل شدن کارکردهای مرتبط با غشا می‌شود. در حقیقت در دماهای بالا واکنش اکسیژنه کردن Rubisco بیشتر از واکنش‌های کربوکسیلی کردن آن افزایش می‌یابد به نحوی که تنفس نوری اهمیت نسبی بیشتری می‌یابد. این امر تا حدی به این دلیل است که با افزایش یافتن دما قابلیت حلالت CO_2 بیشتر از O_2 کاهش

سیستم لایه نازک ماده غذائی و ریشه‌های معلق در آب (Raft) بود (۳۷). میزان حذف نیترات نیز در بستر شنی زیاد بود که ممکن است به علت شرایط بهتر (هوادهی خوب) بستر شنی برای فرایند شکستن مواد آلی و نیترات‌سازی توسط باکتری‌ها باشد که نیتروژن کافی را به صورت قابل استفاده در معرض ریشه گیاه قرار داده است.

هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای به فراهم بودن رطوبت در بستر کشت و همچنین فشار بخار آب موجود در هوا وابسته است. از طرفی هدایت روزنه‌ای قبل از ظهرور هر گونه اثرات مضر کمبود آب در برگ‌ها کاهش می‌یابد (۶). روئیزسانچر و همکاران (۳۲) عنوان کردند که کم شدن فتوستتر در اواسط روز نشان می‌دهد که هدایت روزنه‌ای و فتوستتر به هم مرتبط هستند و کاهش هدایت روزنه‌ای در اواسط روز با حداقل پتانسیل آبی آوندهای چوبی و ساختن آسیمیلات‌های نوری همبستگی دارد. ولی مطابق مقایسه میانگین‌ها، میزان هدایت روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک پرلیت (۰۲۱ مول بر متر مربع بر ثانیه) با آکواپونیک Raft (۰۰۲ مول بر متر مربع بر ثانیه) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

سنجرش اندازه روزنه‌ها یا مقاومت به جابجایی CO_2 و بخار آب بین هوا و بافت‌های درونی گیاه که به وسیله روزنه‌ها اعمال می‌شود (مقاومت روزنه‌ای) در بسیاری از بررسی‌های مربوط به سازگاری و عملکرد گیاه اهمیت دارد (۳). در شرایط تنفس، گیاه روزنه‌های خود را می‌بندد و مقاومت روزنه‌ای در رابطه با درجه باز بودن روزنه‌ها می‌باشد که خود تابعی از وضعیت آبی گیاه می‌باشد. هرچه مقاومت روزنه‌ای بیشتر باشد نشانه آن است که نیاز به آب در گیاه بیشتر است (۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان مقاومت روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک Raft ۵۰ مول بر متر مربع بر ثانیه) تفاوت معنی‌داری با تیمار آکواپونیک پرلیت (۶۷ مول بر متر مربع بر ثانیه) نداشت (جدول ۲). روند تغییرات مقاومت روزنه‌ای عکس هدایت روزنه‌ای می‌باشد

میزان کارآیی مصرف آب

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان کارآیی مصرف آب در گیاه نعناع در تیمار آکوپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکوپونیک Raft بود (جدول ۲). کارآیی مصرف آب از جمله پارامترهای فیزیولوژیک است که می‌توان آن را برای ارزیابی مصرف آب توسط گیاه مورد توجه قرار داد. اصولاً هر عاملی که عملکرد را ارتقاء بخشد کارآیی مصرف آب را نیز افزایش خواهد داد.

در واقع با بهره‌گیری از این پارامتر می‌توان به بررسی رابطه کمی بین رشد گیاه و آب مصرفی پرداخت. در این بررسی همبستگی مثبت معنی‌داری ($R^2=0.995$) در سطح ۰.۱٪ بین میزان فتوسترن و کارآیی مصرف آب به دست آمد (جدول ۳). کارآیی مصرف آب در تیمار آکوپونیک پرلیت بیشتر از تیمار آکوپونیک Raft بود که نشان دهنده بالا بودن ثبیت کردن نسبت به هدر رفت آب در این تیمار بوده است.

میزان تشعشع فعال فتوسترنی (P.A.R)

میزان تشعشع فعال فتوسترنی در گیاه نعناع در تیمار آکوپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکوپونیک Raft بود (جدول ۲).

با توجه به بالاتر بودن میزان فتوسترن، هدایت روزنهمی، تعرق، کارآیی مزوفیل، کارآیی مصرف آب، تشعشع فعال فتوسترنی و کمتر بودن میزان مقاومت روزنهمی، دمای برگ، CO_2 زیر روزنهمی در تیمار آکوپونیک پرلیت نسبت به آکوپونیک Raft به نظر می‌رسد که کاشت گیاه نعناع در این بستر به علت بهتر بودن ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاه، نتایج بهتری داشته باشد. بهتر بودن شرایط اکوفیزیولوژیک گیاه در بستر پرلیت هم ممکن است به علت فراهم بودن نیتروژن کافی برای گیاهان نسبت به بستر Raft باشد، زیرا غلظت نیترات در بستر Raft اغلب کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود که احتمالاً برای گیاه کافی نبوده است. زرده‌ی برگ‌های گیاهان کاشت شده در سیستم Raft نسبت به

می‌یابد (۶). در این بررسی همبستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۵٪ بین دمای برگ و فتوسترن ($R^2=0.799$) و هدایت روزنهمی ($R^2=0.619$) و همبستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۱٪ بین دمای برگ و میزان تعرق ($R^2=0.92$) مشاهده شد (جدول ۳).

میزان CO_2 زیر روزنهمی

میزان CO_2 زیر روزنهمی در گیاه نعناع در تیمار آکوپونیک پرلیت به طور معنی‌داری کمتر از تیمار آکوپونیک Raft بود (جدول ۲). هم‌زمان با رشد گیاه تبادلات فعل گازی در برگ‌ها صورت می‌گیرد که شامل ورود دی‌اکسید کربن به داخل روزنهمی است (۳). در این آزمایش میزان فتوسترن در تیمار آکوپونیک پرلیت بیش از آکوپونیک Raft بود و در نتیجه میزان CO_2 زیر روزنهمی در تیمار آکوپونیک پرلیت کاهش پیدا کرد. در این بررسی همبستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۱٪ بین شدت فتوسترن و میزان CO_2 زیر روزنهمی ($R^2=0.921$) مشاهده شد (جدول ۳).

میزان کارآیی مزوفیل

نتایج نشان داد که میزان کارآیی مزوفیل در گیاه نعناع در تیمار آکوپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکوپونیک Raft بود (جدول ۲). تعیین کارآیی مزوفیل از نسبت شدت فتوسترن به غلظت CO_2 درون روزنهمی به دست می‌آید. کارآیی مزوفیل، توانایی مزوفیل را در رابطه با استفاده از دی‌اکسید کربن برای انجام فتوسترن نشان می‌دهد، که هرچه شدت فتوسترن نسبت به غلظت دی‌اکسید کربن بالاتر باشد کارآیی مزوفیل بالاتر است. در این آزمایش میزان کارآیی مزوفیل در تیمار آکوپونیک پرلیت بالاتر بود که منجر به افزایش شدت فتوسترن در این تیمار شد. در این بررسی همبستگی مثبت معنی‌داری ($R^2=0.988$) بین میزان فتوسترن و کارآیی مزوفیل به دست آمد (جدول ۳). لوات و فرگوسن (۲۱) نیز در سال ۲۰۰۲ نتایج مشابهی را در درخت پسته مشاهده کردند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان به خاطر تأمین مالی تحقیق حاضر در قالب طرح پژوهشی با کد Agr86HS308 تشکر و قدردانی می‌گردد.

گیاهان کشت شده در محیط پرلیت بیانگر کمبود احتمالی عناصری مثل نیتروژن، منیزیم، آهن و منگنز در این گیاهان می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه. جلد اول، انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، ص. ۱۲۸.
۲. رحیمی، ا.، ع. سجادی‌نیا و ا. ارشادی. ۱۳۸۸. اثر محیط‌های مختلف کشت بر میزان ریشه زایی قلمه‌ها، رشد و نمو و خصوصیات اکوفیزیولوژیکی گیاه فیلودندرون (*Philodendron scandens*) در محیط هیدروپونیک. خلاصه مقالات اولین کنگره ملی هیدروپونیک و کشت‌های گلخانه‌ای، ۲۸ الی ۳۰ مهرماه، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحه ۹۶.
۳. رحیمیان، ح.، ع. کوچکی و ا. زند. ۱۳۷۹. فتوستتر و تولید در شرایط متغیر محیط. انتشارات سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر تهران، صفحه ۴۳۰.
۴. روزبان، م. و ک. ارزانی. ۱۳۸۴. مطالعه خصوصیات فیزیولوژیکی پایه‌های دانه‌ای پسته (*Pistacia vera L.*) در پاسخ به تنفس خشکی. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم باگبانی ایران، ۱۷ الی ۱۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۲۲۵-۲۲۶.
۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۰. رابطه آب و خاک و گیاه. مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۷۰ صفحه.
۶. کوچکی، ع.، ا. زند، م. بنیان اول، پ. رضوانی مقدم، ع. مهدوی دامغانی، م. جامی احمدی و س. وصال. ۱۳۸۴. اکوفیزیولوژیکی گیاهی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۴۵ صفحه.
7. Angelopoulos, K., K. Dicio and C. Xiloyannis. 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea L.*) during water stress and rewetting. J. of Exper. Botany 47: 1093-1100.
8. Cai, Y. and R. C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. Aquaculture 104: 127-138.
9. Chaves, P. A., L. M. Laird, R. Sutherland and J. Beltrao. 2000. Assessment of fish culture water improvement through the integration of hydroponically grown lettuce. Water and Sci. Tech. 42: 43-47.
10. David, W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP. Annals of Botany 89: 871-885.
11. Diver, S. 2006. Aquaponics- integration of hydroponics and aquaculture. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRa), Fayetteville, AR..
12. Ervine, S. 1977. Fertile fish pond water irrigation studies. J. of the New Alchemists 4: 59-60.
13. FAO. 2002. <http://www.fao.org/figis/servlet/static>.
14. Hall, P. O. J., O. Holby, S. Kollberg and M. O. Samuelsson. 1992. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. Marine Ecology Progress Series 89: 81-91.
15. Holby, O. and P. O. J. Hall. 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorous. Marine Ecology Progress Series 70: 263-272.
16. Kelly, L. A., A. Bergheim and M. M. Hennessy. 1994. Predicting output of ammonium from fish farms. Water Res. 28: 1403-1405.
17. Krom, M. D., S. Ellner, J. van Rijn and A. Neori. 1995. Nitrogen and phosphorous cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilate, Occupied Palestine. Marine Ecology Progress Series 118: 25-36.
18. Lennard, W. A. and B.V. Leonard. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. Aquaculture International 14: 539-550.
19. Lewis, W. M., J. H. Yopp, H. L. Schramm and A.M. Brandenburg. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of

- recalculated water in a fish culture system. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 107: 92-99.
20. Lin, T. S., J. C. Crane, K. Ryugo, V. S. Polito and T. M. DeJong. 1984. Comparative study of leaf morphology, photosynthesis, and leaf conductance in selected *pistacia* species. *HortScience* 19: 325-330.
21. Lovatt, C. J. and L. Ferguson. 2002. Urea combined with 6-Benzyladenine to reduce alternate bearing of pistachio and to increase cumulative yield. *California Pistachio Industry Annual Report, crop year 2001-2002*, pp. 346-351.
22. Miyashita, K., S. Tanakamaru, T. Maitani and K. Kimura. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomata conductance in kidney bean following drought stress. *Environ. and Exper. Botany* 53: 205-214.
23. Nelson, R. L. 2008. Aquaponic food production. Nelson and Pade Inc. Press, Montello WI, USA, 218 p.
24. Novello, V. and L. Desalma. 1995. Observation on the pistachio photosynthetic activity in southern Italy. *Acta Hort.* 419: 97-100.
25. Palada, M. C., W. M. Cole and S. M. A. Crossman. 1999. Influence of effluents from intensive aquaculture and sludge on growth and yield of bell peppers. *J. of Sustain. Agric.* 14: 85-103.
26. Piedrahita, R. H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226: 35-44.
27. Rakocy, J. E. 1989. Vegetable hydroponics and fish culture a productive interface. *World Aquaculture* 20: 42-47.
28. Rakocy, J. E., T. M. Losordo and M. P. Masser. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Integrating fish and plant culture. *Southern Region Aquaculture Center Publication* 454: 1-16.
29. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *J. of Plant Nutr.* 30: 1933-1951.
30. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2008a. Root carbon enrichment alleviates ammonium toxicity in cucumber plants. *J. of Plant Nutr.* 31: 941-958.
31. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2008b. Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. *J. of Plant Nutr.* 31: 1270-1283.
32. Ruiz-Sanchez, M. C., R. Domingo, A. Torrecillas and A. Perez-Pastor. 2000. Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Sci.* 156: 245-251.
33. Schneider, O., V. Sereti, E. H. Eding and J. A. J. Verreth. 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Eng.* 32: 379-401.
34. Shpigel, M., A. Neori, D. M. Popper and H. Gordon. 1993. A proposed model for 'environmental clean' land -based culture of fish, bivalves and seaweeds. *Aquaculture* 117: 115-128.
35. Thorpe, J. E., C. Talbot, M. S. Miles, C. Rawlings and D. S. Keay. 1990. Food consumption in 24 hours by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a sea cage. *Aquaculture* 90: 41-47.
36. Vemmos, S. N. 1994. Net photosynthesis, stomatal conductance, chlorophyll content and specific leaf of pistachio trees (cv. Aegenes) as influenced by fruiting. *The J. of Hort Sci.* 69: 775-782.
37. Wilson, A., A. B. Lennard and V. Leonard. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International* 14: 539-550.