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 تولید ماهی منفعت دارند. بیشتر سیستم‌های آکواپونیک به صورت بسترهای پر شده با پرلیت، لایه نازک محلول غذایی و یا سیستم Raft طراحی می‌شوند. پارامترهای فتوسنتزی 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 صورتی‌که در سیستم پرلیت، ریشه‌ها در بستر پرلیت بودند و آبیاری از بالای گلدان‌ها انجام می‌شد. گیاهان رشد کرده در سیستم Raft علائم کمبود عناصر معدنی را به صورت کلروز برگ‌ها نشان دادند. اندازه‌گیری پارامترهای فتوسنتزی و آبی نشان داد که میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارآیی مزوفیل، کارآیی مصرف آب و تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار آکواپونیک پرلیت نسبت به آکواپونیک Raft بیشتر بود. در صورتی‌که میزان مقاومت روزنه‌ای، دمای برگ و CO_2 زیر روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک Raft نسبت به آکواپونیک پرلیت بیشتر بود. بنابراین به نظر می‌رسد که کاشت گیاه نعناع در محیط پرلیت به علت بهتر بودن خصوصیات اکوفیزیولوژیک گیاه نتیجه بهتری داشته باشد.

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

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 موجود، میزان جذب مواد معدنی از غذاهای حاوی نیتروژن و فسفر 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 (۱۶، ۲۶، 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

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

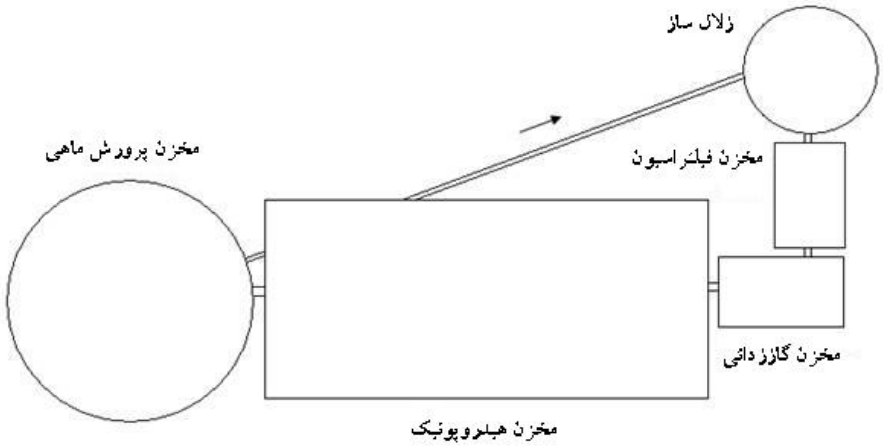
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roosta_h@yahoo.com

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 شوره‌ساز 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 درحال 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 توأم 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 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 ۰/۵ میلی‌گرم در یک لیتر آب) مرتباً به درون سیستم اضافه شوند (۱۹ و ۲۳). به هرحال 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 بسترهای پر شده با پرلیت، لایه نازک محلول غذایی (Nutrient film technique) و 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. بسترهای 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 درسیستم با کاهش تعداد و اندازه ماهی‌ها و مقدار غذادهی 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



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

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 فتوسنتزی را در گیاه افزایش دهند، باعث افزایش تولید خالص خواهند شد (۴).

بررسی شاخص‌های اکوفیزیولوژیک مانند فتوسنتز، کارآیی مزوفیل، تعرق، هدایت روزنه‌ای، مقاومت روزنه‌ای، دمای برگ، تشعشع فعال فتوسنتزی (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 (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 گاززدائی می‌شد تا گازهای مضر که در طول مرحله فیلترکردن 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 بسترهای هیدروپونیک دوباره به مخازن پرورش ماهی برمی‌گشت. هر مخزن پرورش ۱۰ دمنده هوا داشت که به طور ماهانه تمیز می‌شدند. سه دمنده هوا نیز در مخزن گاززدائی 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 غلظت 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

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 تعبیه 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 دهند. 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 پرتابل (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 اراک شیمی)؛ هدایت الکتریکی (EC)، مواد جامد محلول کل (Total dissolved solids) (TDS) و کلرید سدیم با استفاده از کنداکتومتر (ساخت شرکت آلمانی WTW)، پتاسیم توسط شعله‌سنج، 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 می‌ماندند.

به علت این‌که نعناع در مرحله گل‌دهی بیشترین اسانس را دارد و ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک آن می‌تواند نقش مهمی در سنتز اسانس داشته باشد، بنابراین پس از این‌که در هر دو تیمار آکواپونیک، گیاهان به مرحله شروع گل‌دهی رسیدند خصوصیات اکوفیزیولوژیک آنها شامل میزان فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، میزان تعرق (میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)، مقاومت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)، دمای برگ (درجه سلسیوس)، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای (میکرومول بر مول)، کارآیی مزوفیل (مول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، کارآیی مصرف آب (میکرومول CO_2 بر مول آب) و تشعشع فعال فتوسنتزی (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 اتاقک 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.

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
قلیائیت 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
پتاسیم (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	–

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 فتوسنتز خالص

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شدت فتوسنتز در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول ۲). فتوسنتز نقش اساسی در بهره‌وری (تولید) گیاه دارد. استفاده از تکنیک‌های نوین مؤثر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه فرصت‌های جدید و قابل توجهی برای افزایش بهره‌وری گیاهان ایجاد نموده است و برای استفاده بهینه از این تکنیک‌ها به درک اساسی فتوسنتز نیاز می‌باشد (۳). از طرفی بررسی شاخص‌های اکوفیزیولوژیک مانند فتوسنتز 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 روزنه‌ای با میزان فتوسنتز ارتباط مستقیم دارد و کاهش فتوسنتز در اثر بالا رفتن دما با کاهش هدایت روزنه‌ای هم‌بستگی دارد. در این بررسی، هر چند که از این نظر تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار مشاهده نشد اما همبستگی مثبتی بین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای 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

جدول ۲. مقایسه شدت فتوسنتز، میزان تعرق، کارآیی مصرف آب، بازده مزوفیل، PAR و CO_2 زیر روزنه در برگ‌های گیاه نعناع در دو نوع محیط کشت آکواپونیک Raft و پرلیت

سیستم کشت	فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	تعرق ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	کارآیی مصرف آب ($\mu mol\ CO_2\ mol^{-1}\ H_2O$)	بازده مزوفیل ($mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	PAR ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	CO_2 زیر روزنه ($\mu mol\ mol^{-1}$)	دمای برگ (°C)
آکواپونیک پرلیت	۱۴/ ۵۸ a*	۱/۵۷ a	۹/۲۳ a	۰/۰۱۴ a	۸۸۶/۳ a	۴۶۳/۵۳ a	۳۳/۲۷ b
آکواپونیک Raft	۲/۰۶ b	۱/۱۷ b	۱/۷۲ b	۰/۰۰۴۶ b	۴۸۵/۷ b	۱۰۴۱/۷۸ b	۳۴/۷۵ a

*: حروف متفاوت در هر ستون نشانه اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۳. هم‌بستگی بین فاکتورهای اکوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شده شامل: تشعشع فعال فتوسنتزی (P.A.R)، میزان تعرق (E)، دمای برگ (T_{leaf})، هدایت روزنه‌ای (g_s)، میزان فتوسنتز(p_n)، میزان CO_2 زیر روزنه‌ای (Ci)، مقاومت روزنه‌ای (r_s)، کارآیی مصرف آب (WUE) و کارآیی مزوفیل (ME)

	P.A.R ($\mu mol\ S^{-1}\ m^{-2}$)	E ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	T_{leaf} (°C)	g_s ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	Pn ($\mu mol\ m^{-2}\ S^{-1}$)	Ci ($\mu mol\ mol^{-1}$)	r_s ($m^2\ s\ mol^{-1}$)	WUE ($\mu mol\ mol^{-1}$)	ME ($mol\ CO2\ m^{-2}\ s^{-1}$)
P.A.R	۱								
E	۰/۲۵۷ ns	۱							
T_{leaf}	-۰/۳ ns	-۰/۹۲ **	۱						
g_s	-۰/۲۳۱ ns	۰/۶۸۵ ns	-۰/۶۱۹*	۱					
Pn	۰/۵۶۵ ns	۰/۸۸۴×	-۰/۷۹۹ *	۰/۴۰۸ ns	۱				
Ci	۰/۶۸ ns	۰/۸۱۵×	۰/۴۴ ns	۰/۳۶۴ ns	-۰/۹۲۱**	۱			
r_s	۰/۲۳۱ ns	-۰/۶۸۵ ns	۰/۶۱۹ ns	-۱ **	-۰/۴۰۸ ns	۰/۳۶۴ ns	۱		
WUE	۰/۵۹۲ ns	۰/۸۵۱ **	۰/۳۳۱ ns	۰/۳۲۷ ns	۰/۹۹۵ **	-۰/۹۳۲**	-۰/۳۲۷ ns	۱	
ME	۰/۴۴ ns	-۰/۹۲**	۰/۱۴۶ ns	۰/۴۵۵ ns	۰/۹۸۸ **	۰/۸۶۷ *	-۰/۰۴۵ ns	۰/۹۷۵ **	۱

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی‌دار

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 ظهور هر گونه اثرات مضر کمبود آب در برگ‌ها کاهش می‌یابد (۶). روئیزسانچز و همکاران (۳۲) عنوان کردند که کم شدن فتوسنتز در اواسط روز نشان می‌دهد که هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز 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 (۰/۰۲۱ مول بر متر مربع بر ثانیه) با آکواپونیک Raft (۰/۰۲ مول بر متر مربع بر ثانیه) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

سنجش 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 تنش، 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 (۴۶/۶۷ مول بر متر مربع بر ثانیه) نداشت (جدول۲). روند تغییرات مقاومت روزنه‌ای عکس هدایت روزنه‌ای می‌باشد 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 فتوسنتز و تعرق (R^2=۰/۸۸۴) مشاهده شد (جدول ۳). تعرق یکی از پیامدهای ناگزیر فتوسنتز به حساب می‌آید و به دلیل آن که یکی از اجزای مهم موازنه انرژی برگ است اثرات مهمی بر گیاه دارد. گزارش‌هایی مبنی بر وجود رابطه خطی میان فتوسنتز 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 (جدول۲). بالا بودن دمای برگ بر تبادلات گازی گیاه، میزان فتوسنتز و عملکرد گیاه تأثیر بسزایی دارد. دمای زیاد علاوه بر تأثیر بر ساختارهای فتوسنتزی باعث افزایش تنفس نوری و در نتیجه کاهش بازده فتوسنتز می‌شود. تیمار آکواپونیک Raft که دمای برگ بالاتری نسبت به آکواپونیک پرلیت داشت میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق پایین‌تری نسبت به تیمار آکواپونیک پرلیت داشت (جدول۲). کاهش در شدت فتوسنتز بر اثر دماهای‌های بالا در گیاه زیتون گزارش شده است (۷). در دماهای بالا شدت فتوسنتز 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 حلالیت CO_2 بیشتر از O_2 کاهش

می‌یابد (۶). در این بررسی هم‌بستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بین دمای برگ و فتوسنتز (R^2= -۰/۷۹۹) و هدایت روزنه‌ای (R^2= -۰/۶۱۹) و هم‌بستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین دمای برگ و میزان تعرق (R^2=۰/۹۲) مشاهده شد (جدول ۳).

میزان CO_2 زیر روزنه‌ای

میزان CO_2 زیر روزنه‌ای در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری کمتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول۲). هم‌زمان با رشد گیاه تبادلات فعال گازی در برگ‌ها صورت می‌گیرد که شامل ورود دی اکسید کربن به داخل روزنه‌هاست (۳). در این آزمایش میزان فتوسنتز در تیمار آکواپونیک پرلیت بیش از آکواپونیک Raft بود و در نتیجه میزان CO_2 زیر روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک پرلیت کاهش پیدا کرد. در این بررسی هم‌بستگی منفی معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بین شدت فتوسنتز و میزان CO_2 زیر روزنه‌ای (R^2= -۰/۹۲۱) مشاهده شد (جدول ۳).

میزان کارآیی مزوفیل

نتایج نشان داد که میزان کارآیی مزوفیل در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول۲). تعیین کارآیی مزوفیل از نسبت شدت فتوسنتز به غلظت CO_2 درون روزنه‌ای به دست می‌آید. کارآیی مزوفیل، توانایی مزوفیل را در رابطه با استفاده از دی اکسید کربن برای انجام فتوسنتز نشان می‌دهد، که هرچه شدت فتوسنتز نسبت به غلظت دی اکسید کربن بالاتر باشد کارآیی مزوفیل بالاتر است. در این آزمایش میزان کارآیی مزوفیل در تیمار آکواپونیک پرلیت بالاتر بود که منجر به افزایش شدت فتوسنتز در این تیمار شد. در این بررسی هم‌بستگی مثبت معنی‌داری (R^2=۰/۹۸۸) بین میزان فتوسنتز و کارآیی مزوفیل به دست آمد (جدول ۳). لاوات و فرگوسن (۲۱) نیز در سال ۲۰۰۲ نتایج مشابهی را در درخت پسته مشاهده کردند.

میزان کارآیی مصرف آب

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان کارآیی مصرف آب در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول۲). 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=۰/۹۹۵) در سطح ۱٪ بین میزان فتوسنتز و کارآیی مصرف آب به دست آمد (جدول ۳). کارآیی مصرف آب در تیمار آکواپونیک پرلیت بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود که نشان دهنده بالا بودن تثبیت کربن نسبت به هدر رفت آب در این تیمار بوده است.

میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (P.A.R)

میزان تشعشع فعال فتوسنتزی در گیاه نعناع در تیمار آکواپونیک پرلیت به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار آکواپونیک Raft بود (جدول۲).

با توجه به بالاتر بودن میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارآیی مزوفیل، کارآیی مصرف آب، تشعشع فعال فتوسنتزی و کمتر بودن میزان مقاومت روزنه‌ای، دمای برگ، CO_2 زیر روزنه‌ای در تیمار آکواپونیک پرلیت نسبت به آکواپونیک 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. زردی برگ‌های گیاهان کشت شده در سیستم Raft نسبت به

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

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.

منابع مورد استفاده

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

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. فتوسنتز و تولید در شرایط متغیر محیط. انتشارات سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر تهران، ۴۳۰ صفحه.

۴. روزبان، م. و ک. ارزانی. ۱۳۸۴. مطالعه خصوصیات فیزیولوژیکی پایه‌های دانهالی پسته (*Pistacia vera* L.) در پاسخ به تنش خشکی. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم باغبانی ایران، ۱۷ الی ۱۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد، صفحات ۲۲۶-۲۲۵.

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. بنایان 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. Dichio and C. Xiloyannis. 1996. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europea* L.) during water stress and rewatering. 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.