تأثیر کاربرد برگی کود نانوفرتایل حاوی اسید هیومیک بر رشد، عملکرد و غلظت عناصر غذایی در گیاه نعناع (*Mentha satiava*) در سیستم آکواپونیک

حمید رضا روستا[1*]، مجتبی حسین خانی[2] و محمد علی وکیلی شهربابکی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۶/۲۰)

چکیده

با توجه به خشکسالی‌های اخیر در ایران و جهان و در نتیجه آن کمبودهای منابع آب، رویکرد به سیستم آکواپونیک برای پرورش ماهی و گیاه به‌طور همزمان یک راهکار منطقی و عملی به‌حساب می‌آید. به همین دلیل، در این آزمایش، امکان کشت گیاه نعناع در سیستم آکواپونیک و اثر کود نانوفرتایل حاوی ۶۰٪ اسید هیومیک بر رشد آن مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا ریزوم‌های گیاه نعناع در گلدان‌های حاوی محیط کشت پرلیت خالص کشت شده و پس از رسیدن به مرحله قابل انتقال، گیاهان به بسترهای کشت سیستم آکواپونیک که با سنگریزه پر شده بودند، منتقل شدند. غلظت‌های مورد استفاده برای محلول‌پاشی کود نانوفرتایل شامل صفر (آب مقطر)، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر در هر تیمار بود. محلول‌پاشی هر هفته یک‌بار و به مدت ۶ هفته ادامه داشت تا در نهایت بعد از ۶۰ روز گیاهان برداشت و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها نسبت به شاهد باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی شد. همچنین، کود نانوفرتایل باعث افزایش کلروفیل، قندهای محلول، محصول فتوشیمیایی کوانتومی (F_v/F_m) و شاخص کارآیی فتوسنتزی (PI) نسبت به گیاهان شاهد شد. افزایش رشد و شرایط فیزیولوژیک بهتر گیاهان محلول‌پاشی شده با کود نانوفرتایل با افزایش غلظت پتاسیم، فسفر، کلسیم، آهن، منگنز و مس در بخش‌های هوایی گیاهان تیمار شده در ارتباط بود. بنابراین، با توجه به غلظت بیشتر بعضی از عناصر و کلروفیل در برگ‌های گیاهان تیمار شده با کود نانوفرتایل و در نتیجه آن F_v/F_m و PI بالا، گیاهان تیمار شده با کود نانوفرتایل دارای شرایط فتوسنتزی بهتری بود و ماده خشک بیشتری تولید نمودند و رشد بهتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: کشت بدون خاک، ریزمغذی‌ها، عناصر پرمصرف، شاخص کارآیی فتوسنتزی

مقدمه

در چند دهه اخیر تمایل به تولیدات هیدروپونیک و آکواپونیک (Aquaponic) در عرصه‌ی جهانی رو به افزایش بوده است. آکواپونیک ترکیبی از پرورش ماهی و گیاهان در سیستم‌های گردشی است (۱). در این سیستم، عناصر غذایی که به‌طور مستقیم به‌وسیله ماهی دفع می‌شوند، یا با فعالیت میکروب‌ها روی مواد زائد آلی آزاد می‌شوند، توسط گیاهان کشت شده در این سیستم جذب می‌شوند. غذایی که به ماهی داده می‌شود، بیشتر عناصر غذایی را برای گیاه تأمین می‌کند. وقتی فاضلاب آبزی‌پروری گردشی به داخل سیستم هیدروپونیک جریان می‌یابد، مواد زائد متابولیک ماهی به‌وسیله شوره‌سازی و جذب مستقیم گیاه حذف شده و این آب تیمار شده برای استفاده مجدد دوباره به داخل مخزن پرورش ماهی برمی‌گردد (۱).

با توجه به نیاز گیاه، ماهی و باکتری‌ها، pH مناسب

۱. گروه باغبانی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲. گروه باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت

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

سیستم آکواپونیک برابر ۷ می‌باشد. جذب برخی از ریزمغذی‌ها توسط گیاهان کشت شده در سیستم آکواپونیک در pH بیشتر از ۶/۵ کاهش می‌یابد زیرا بسیاری از ترکیبات حاوی عناصر کم نیاز در این سطوح pH در آب حل نمی‌شوند (۲۰). حلالیت عناصر غذایی، به‌ویژه عناصر کم‌مصرف، تحت تأثیر pH می‌باشد. عناصر ضروری مثل آهن، منگنز، مس، روی و بور، در pH بیشتر از ۷ کمتر قابل جذب برای گیاه هستند. در صورتی که حلالیت فسفر، کلسیم، منیزیم و مولیبدن در pH کمتر از ۶ کاهش ناگهانی می‌یابد. بنابراین، محلول‌پاشی برگی کودهای حاوی عناصر غذایی می‌تواند راهکار مناسبی برای جبران کمبود این عناصر در سیستم آکواپونیک باشد.

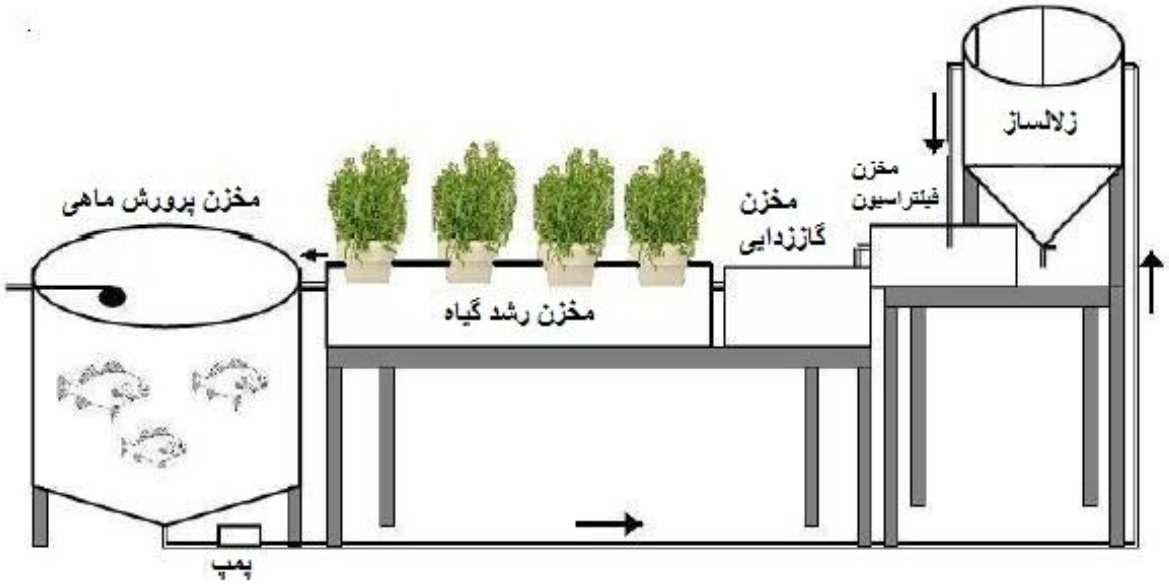
سطوح مواد غذایی در سیستم‌های مختلف آکواپونیک متفاوت است و بستگی به سرعت دفع فضولات ماهی، غذای ماهی و نوع و تعداد گیاهان پرورشی دارد. در سیستم‌های آکواپونیک، معمولاً کمبود آهن وجود دارد و روی در اکثر سیستم‌ها تجمع پیدا می‌کند. البته همه‌ی سیستم‌ها به این صورت نیستند (۱۹). مشکل اصلی این است که گاهی عناصر کم مصرف مانند بر، آهن، منگنز، روی، مس و مولیبدن در فاضلاب ماهی کم بوده و ممکن است با دادن مکمل به سیستم و در فواصل معین در غلظت کم و کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر نیاز باشد (۹).

اسید هیومیک، با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰۰-۳۰۰۰۰ دالتون، و فولویک اسید با وزن مولکولی کمتر از ۳۰۰۰۰ دالتون به ترتیب سبب تشکیل کمپلکس‌های پایدار و نامحلول و کمپلکس‌های محلول با عناصر کم مصرف می‌گردند (۷). در آزمایشی، محلول‌پاشی گیاه گوجه‌فرنگی با محلول ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، وزن تر و خشک ساقه را افزایش داد (۱۶). در پژوهشی، اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه شد (۵). بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر صفاتی مانند ارتفاع ساقه، تعداد برگ، وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ گیاهچه‌های بادمجان و فلفل نشان داد که این صفات به‌طور معنی‌داری با کاربرد اسید هیومیک افزایش یافتند (۱۲). مطالعه‌ی اثر اسید هیومیک بر جذب نیترات توسط ریشه ذرت نشان داد که اسید هیومیک جذب نیترات و فعالیت آنزیم ATPase را در غشای پلاسمای سلول‌های ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش داد که به نظر می‌رسد فعال شدن پمپ پروتون غشا، پاسخ اولیه به اسید هیومیک در جذب عناصر غذایی باشد (۱۳). اسید هیومیک همچنین سبب افزایش جذب آهن، روی، مس و منگنز توسط خیار رشد یافته در محلول هوگلند شد که افزایش جذب آهن و منگنز را می‌توان دلیل مناسبی برای افزایش غلظت کلروفیل برگ دانست (۱۴).

با توجه به اینکه تمامی مواد غذایی گیاه، مخصوصاً عناصر آهن و پتاسیم، ممکن است در سیستم آکواپونیک تأمین نشود، در آزمایش حاضر از کود نانوفرتایل که حاوی اسید هیومیک (کمک‌کننده جذب و حرکت عناصر در گیاه)، اسید فولویک و عناصر پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشد، برای رفع کمبود عناصر غذایی استفاده گردید. به‌طور کلی، هدف از این آزمایش تعیین بهترین غلظت کود نانوفرتایل برای گیاه نعناع و همچنین تعیین اثر این کود بر کمیت و کیفیت نعناع در سیستم آکواپونیک بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه هیدروپونیک گروه باغبانی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان در سال ۱۳۹۱ انجام شد. ابتدا ریزوم‌های نعناع (*Mentha sativa*) تهیه شده از گلخانه دانشگاه در گلدان‌های حاوی محیط کشت پرلیت کشت شده و هر روز دو بار با آب مقطر آبیاری شدند. پس از رسیدن به مرحله قابل انتقال، گیاهان به بسترهای کشت سیستم آکواپونیک که با سنگریزه پر شده بودند منتقل شدند. گیاهان هر روز دو بار در صبح و عصر با محلول سیستم آکواپونیک آبیاری شدند. سیستم آکواپونیک مستقر در گلخانه دارای سه واحد مجزا می‌باشد. هر واحد شامل یک مخزن حاوی ماهی به حجم ۸۵۰ لیتر، یک عدد زلال‌ساز به حجم ۶۰ لیتر، یک عدد مخزن فیلتراسیون به



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

حجم ۳۰ لیتر، یک مخزن گاززدایی به حجم ۳۰ لیتر و یک واحد کشت با بستر شنی بود (شکل ۱). در هر قسمت از بسترها ۱۰ گیاه کشت شد. آب موجود در مخزن ماهی از طریق پمپ به مخزن زلال‌ساز منتقل و از آنجا در اثر نیروی ثقل به مخازن دیگر وارد و جاری می‌شد. سپس آب به مخزن ماهی بر می‌گشت. غلظت‌های مورد استفاده برای محلول‌پاشی شامل صفر (آب مقطر)، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر در هر تیمار و زمان استفاده از آنها از مرحله ۱۰ سانتی‌متری به بعد بود. محلول‌پاشی هر هفته یکبار صورت می‌گرفت، و به مدت ۶ هفته ادامه داشت، تا در نهایت بعد از ۶۰ روز در تاریخ ۱۳۹۱/۰۹/۳۰ گیاهان برداشت شدند. ماهی‌های موجود در مخزن از نوع کپور بودند. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. غذای ماهی استفاده شده حاوی ۴۶٪ پروتئین، ۱۳٪ چربی، ۱۳٪ خاکستر، ۲/۵٪ فیبر، ۱/۵٪ فسفر و ۱۱٪ رطوبت بود. ترکیبات موجود در کود نانوفرتایل شامل: ۶۰٪ اسید هیومیک، ۱۵٪ اسید فولویک، ۸٪ K_2O، ۰/۷٪ نیتروژن، ۰/۰۵٪ مس، ۱/۸۹٪ آهن، ۰/۰۱۳٪ روی، ۰/۰۴۳٪ منگنز، ۰/۰۶٪ P_2O_5، ۳/۹۸٪ کلسیم، ۰/۲۹٪ منیزیم و ۰/۰۴۸٪ بر بود.

اندازه‌گیری پارامترها

پارامترهای رویشی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل وزن تر و وزن خشک بخش هوایی و ریشه بود. برای اندازه‌گیری وزن تر، ابتدا گیاه از ناحیه طوقه جدا و به دو بخش هوایی و ریشه تقسیم شده و با ترازو هر کدام جداگانه توزین شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن شدند.

برای اندازه‌گیری کلروفیل a و b ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه خرد و در یک هاون چینی با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر ساییده تا به صورت توده یکنواختی درآید. مخلوط حاصل در یک بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری ریخته و به حجم رسانیده شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط به‌دست آمده با ۴/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس میزان جذب نور محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری گردید و در نهایت غلظت کلروفیل کل، a و b توسط روش آرنون (۴) و به ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شد:

کلروفیل کل (mg/g FW) = [(8.02 × OD663) + (20.2 × OD645)] × V/1000 × W [۱]

کلروفیل a (mg/g FW) = [(12.7 × OD663) - (2.69 × OD645)] × V/1000 × W [۲]

کلروفیل b (mg/g FW) = [(22.9 × OD645) - (4.68 × OD663)] × V/1000 × W [۳]

که OD میزان جذب اندازه‌گیری شده، V حجم استون مصرف شده و W وزن تر نمونه (گرم) است.

برای محاسبه کارتنوئیدها بر اساس روش آرنون (۴)، از رابط ۴ استفاده شده و میزان جذب در طول موج‌های ۵۱۰ و ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد:

کارتنوئید کل (mg/g FW) =[(7.6 × OD480) – (1.49 × OD510)] × V/1000 × W [۴]

که V حجم نهایی عصاره است.

در پایان آزمایش، برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه کلروفیل فلورسانس (Hansatech Ltd Pocket PEA,UK) استفاده شد. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را بر اساس پارامتر محصول فتوشیمیایی کوانتومی (F_v/F_m) و شاخص کارآیی فتوسنتزی (PI) ثبت می‌نماید. روش کار به این صورت بود که از هر گلدان، بسته به تعداد برگ‌های سالم، دو تا چهار برگ بالغ از قسمت‌های مرکزی گیاه انتخاب و در گیره‌های مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت و پس از این مدت، میزان پارامتر فلورسانس کلروفیل ثبت شد. شاخص SPAD توسط دستگاه اسپد (Minolta SPAD-502) ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده در اتانول با ۳ میلی‌لیتر از آنترون تازه تهیه شده (۲۰۰ میلی‌گرم آنترون بعلاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲٪) مخلوط شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و پس از خنک شدن، جذب طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) اندازه‌گیری شد. تعیین میزان قند بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک نمونه بود (۸).

غلظت عناصر منیزیم، آهن، روی، منگنز، مس و کلسیم در گیاه توسط دستگاه جذب اتمی (Version 1/33 GBC Avanta) ، عنصر پتاسیم توسط شعله‌سنج (مدل JENWAY, PFP7) و فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن ($p<0.05$) صورت گرفت.

نتایج و بحث

پارامترهای رویشی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پارامترهای رشد رویشی نشان داد که اثر تیمارها بر همه‌ی پارامترهای رویشی اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است (جدول ۱). محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه نسبت به شاهد شد (جدول ۱). اگرچه اختلاف شاهد با سطح ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل در مورد وزن تر بخش هوایی گیاه در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن معنی‌دار نبود، ولی وزن خشک بخش هوایی در این سطح با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. به‌غیر از وزن خشک بخش هوایی که غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با هم نشان دادند، در سه پارامتر رویشی دیگر هیچ اختلاف معنی‌داری بین این دو سطح مشاهده نشد.

در بررسی اثر کاربرد برگی اسید هیومیک استخراج شده از لئوناردیت بر رشد گیاهچه‌های زیتون در گلخانه مشاهده شد که اسید هیومیک در گیاهان آبیاری شده با آب خالص، رشد ساقه

جدول ۱. اثر محلول‌پاشی کود نانوفرتایل بر پارامترهای رویشی گیاه نعناع در سیستم آکواپونیک

تیمار کود نانوفرتایل (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر بخش هوایی (گرم در گلدان)	وزن تر ریشه (گرم در گلدان)	وزن خشک بخش هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)
Wtv	۳۶۱/۰۰ b	۵۵۷/۰۰ c	۸۸/۵۸ d	۱۳۴/۰۰ c
۵۰۰	۳۸۶/۶۷ b	۷۹۹/۳۳ b	۱۰۲/۵۰ c	۲۰۶/۳۳ b
۱۰۰۰	۴۹۱/۳۳ a	۱۰۱۸/۶۷ a	۱۲۱/۹۳ b	۳۲۵/۶۷ a
۱۵۰۰	۴۹۱/۶۷ a	۱۰۷۸/۶۷ a	۱۴۰/۳۲ a	۳۰۹/۶۷ a
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
T (تیمار)	۳	۴۲۵۲۴/۶۶**	۵۰۵۲۹۸/۹۱**	۴۵۹۸/۰۶**	۷۳۵۰۰/۹۱**
خطا	۸	۱۳۷۹۲/۰۰	۱۳۸۲۲/۰۰	۲۵۶/۷۱	۴۲۱۴/۰۰
CV (٪)		۹/۵۹	۴/۸۱	۴/۹۹	۹/۴۰

** در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشند.

را به‌طور معنی‌داری تحریک کرد؛ اما در گیاهانی که با محلول غذایی تغذیه شده بودند افزایش در رشد ناشی از اثر مواد هیومیک دیده نشد. در محلول‌پاشی گیاه گوجه‌فرنگی با محلول ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، وزن تر و خشک ساقه افزایش یافت؛ ولی کاربرد غلظت‌های بیشتر سبب محدود شدن رشد و بدشکل شدن برگ‌ها شد (۱۶). بررسی اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک بر صفاتی مانند ارتفاع ساقه، تعداد برگ، وزن تر ساقه، وزن خشک ساقه و ریشه و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ گیاهچه‌های بادمجان و فلفل نشان داد که این صفات به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (۱۲).

سبزواری و خزایی (۲) نشان دادند که کاربرد محلول دارای غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک باعث افزایش سطح، قطر، حجم، طول و وزن خشک ریشه در گندم شد. همچنین، آنها بیان کردند که با افزایش غلظت اسید هیومیک، زیست‌توده ریشه افزایش معنی‌داری یافت. مصرف اسید هیومیک به صورت محلول و یا پودر در خاک باعث افزایش طول و وزن ریشه هویج و به‌طور کلی افزایش رشد گیاه شد (۱۸). تحقیقات نشان داده که با افزایش مصرف اسید هیومیک از غلظت ۲۰۰ به ۱۰۰۰ میلی‌گرم در هر گلدان، نسبت ریشه به اندام هوایی گیاه زیتون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (۱۷). نیکبخت و همکاران (۱۱) دریافتند که غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار رشد ریشه گیاه ژربرا (*Gerbera Jamesonii* L.) رشد یافته در محلول غذایی شد. در بررسی اثر اسید هیومیک و اسید فولویک بر رشد گیاهچه‌های فلفل مشاهده شد که اسید هیومیک به میزان ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش طول ریشه از ۱۳/۱ به ۲۰/۲ سانتی‌متر و طول ساقه از ۲۰/۹ به ۵۱/۵ سانتی‌متر شد؛ همچنین، اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ساقه و ریشه به ترتیب از ۰/۵ به ۱/۰۷ و از ۰/۰۵ به ۰/۲۳ شد (۱۲). غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک باعث افزایش طول ساقه از ۲۰/۹ به ۵۱/۵ سانتی‌متر در تربچه شد (۳).

پارامترهای فیزیولوژیک و اکوفیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به پارامترهای فیزیولوژیک و اکوفیزیولوژیک نشان داد که اثر تیمارها بر کلروفیل b، کلروفیل کل، F_v/F_m و PI در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۲) اما اثر تیمارها بر کلروفیل a و کارتنویید معنی‌دار نبود. محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود

جدول ۲. اثر محلول‌پاشی کود نانوفرتایل بر پارامترهای فیزیولوژیک و اکوفیزیولوژیک گیاه نعناع در سیستم آکواپونیک

تیمار کود نانوفرتایل (میلی‌گرم در لیتر)		قندهای محلول ($mg\ g^{-1}\ FW$)	کلروفیل a ($mg\ g^{-1}\ FW$)	کلروفیل b ($mg\ g^{-1}\ FW$)	کلروفیل کل ($mg\ g^{-1}\ FW$)	کارتنویید ($mg\ g^{-1}\ FW$)	F_v/F_m	شاخص کارآیی فتوسنتزی (PI)
صفر		۱۰۸۱/۹ b	۰/۰۶۳ b	۰/۰۶۳ b	۰/۱۲۳ b	۰/۰۶۰ a	۰/۶۴۳ b	۲/۶۲ b
۵۰۰		۱۲۷۷/۳ ab	۰/۰۷۴ ab	۰/۰۹۶ a	۰/۱۷۰ a	۰/۰۵۶ a	۰/۸۰۶ a	۴/۵۶ a
۱۰۰۰		۱۴۹۴/۴ a	۰/۰۷۳ ab	۰/۱۰۶ a	۰/۱۸۰ a	۰/۰۶۰ a	۰/۸۰۰ a	۴/۳۶ a
۱۵۰۰		۱۴۵۱/۰ a	۰/۰۷۳ ab	۰/۱۰۳ a	۰/۱۸۰ a	۰/۰۶۰ a	۰/۸۰۰ a	۴/۴۲ a
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
T (تیمار)	۳	۳۱۷۸۶۴/۹۷*	۰/۰۰۰۳۰۰ns	۰/۰۰۳۵۵۸**	۰/۰۰۶۶**	۰/۰۰۰۰۲۵ns	۰/۰۵۶۸۹۱**	۷/۵۷۹۴۲**
خطا	۸	۱۹۲۹۹۵/۸۳	۰/۰۰۰۲۶۶	۰/۰۰۰۶۶۶	۰/۰۰۰۶۶۶	۰/۰۰۰۰۶۶	۰/۰۰۷۵۳۳	۲/۶۵۰۸۶
CV (٪)		۱۱/۷۱	۸/۰۵	۹/۸۶	۵/۵۸	۴/۸۷	۴/۰۲	۱۴/۴۱

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل b و کلروفیل کل نسبت به شاهد شد (جدول ۲). اثر تیمارها بر غلظت قندهای محلول نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۲). در آزمایشی که توسط اسلادکی و تیچی (۱۶) انجام شد مشاهده گردید که اسید هیومیک محتوای کلروفیل برگ‌های گیاه گوجه‌فرنگی کشت شده در محلول غذایی حاوی اسید هیومیک به میزان ۶۳٪ و اسید فولویک به میزان ۱۵٪ را افزایش داد. کاربرد برگی اسید هیومیک به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر در لیتر نیز باعث افزایش محتوای کلروفیل فلفل دلمه شد (۱۲).

در مطالعه حاضر، اگرچه اختلاف شاهد با سطح ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل در مورد قندهای محلول در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن معنی‌دار نبود ولی تیمارهای کودی ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش F_v/F_m و PI نسبت به شاهد شد (جدول ۲). مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش میزان مواد جامد محلول، اسید آسکوربیک، ماده خشک ریشه و ساقه و همچنین قطر و وزن میوه گوجه‌فرنگی شد (۱۸). در آزمایشی دیگر، دلفین و همکاران (۵) مشاهده کردند که اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه شد. بنابراین، با توجه به غلظت زیاد کلروفیل در برگ‌های گیاهان تیمار شده با کود نانوفرتایل و در نتیجه آن محصول فتوشیمیایی کوانتومی و شاخص کارآیی فتوسنتزی زیاد، گیاهان تیمار شده با کود نانوفرتایل شرایط فتوسنتزی بهتری داشته و بنابراین کربن‌گیری درآنها بهتر انجام شده و رشد و عملکرد بیشتری داشتند.

عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت عناصر غذایی نشان داد که اثر تیمارهای کودی و اندام مورد تجزیه بر همه عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). اثر متقابل تیمار کودی و اندام گیاه، به‌غیر از غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم، بر سایر عناصر اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش غلظت پتاسیم

جدول ۳. اثر محلول‌پاشی کود نانوفرتایل بر غلظت عناصر غذایی در بخش‌های هوایی و ریشه نعناع در سیستم آکواپونیک

تیمار کود نانوفرتایل (میلی‌گرم در لیتر)	پتاسیم	فسفر	کلسیم	منیزیم	آهن	منگنز	روی	مس
	(%DW)				(mg/kg DW)			
بخش هوایی								
صفر	۳/۸۳ c	۰/۴۲ c	۱/۳۲ d	۱/۰۳ cd	۱۵۰/۷۰ d	۱۰۴/۴۷ e	۱۶۷/۱۲ c	۱۰/۲۰ d
۵۰۰	۴/۷۶ a	۰/۵۹ bc	۱/۷۹ ab	۱/۲۷ a	۲۵۴/۱۳ c	۱۳۶/۷۳ de	۱۷۵/۵۰ c	۱۳/۲۰ cd
۱۰۰۰	۴/۳۳ b	۰/۵۸ bc	۱/۷۸ ab	۱/۳۲ a	۲۶۶/۰۷ c	۱۳۷/۲۰ de	۱۹۵/۸۳ bc	۱۰/۹۶ d
۱۵۰۰	۴/۶۰ ab	۰/۶۱ b	۱/۸۵ a	۱/۳۱ a	۳۷۴/۷۷ a	۱۵۹/۳۳ d	۲۵۵/۰۸ b	۱۶/۰۰ c
ریشه								
صفر	۲/۶۰ e	۰/۰۴ d	۱/۲۶ d	۰/۹۳ d	۲۶۶/۰۱ c	۴۲۵/۲۳ c	۳۷۴/۸۳ a	۵۴/۰۰ b
۵۰۰	۳/۰۰ de	۱/۲۴ a	۱/۶۲ ab	۱/۱۹ ab	۳۱۰/۱۴ b	۵۲۷/۸۳ a	۲۵۶/۰۵ b	۶۲/۷۶ a
۱۰۰۰	۲/۷۳ e	۱/۱۸ a	۱/۳۹ cd	۱/۰۸ bc	۲۹۲/۵۰ bc	۵۰۱/۹۰ ab	۳۹۱/۷۵ a	۵۴/۲۶ b
۱۵۰۰	۳/۳۶ d	۱/۰۹ a	۱/۵۶ bc	۱/۰۸ bc	۳۱۶/۶۹ b	۴۶۶/۵۰ bc	۲۵۴/۱۷ b	۵۴/۴۳ b

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
T (تیمار)	۳	۲/۲۰۱۲۵**	۱/۹۲۵۱۱**	۰/۶۹۸۳۱۲**	۰/۲۳۶۳۷۹**	۵۶۷۲۰/۸**	۱۹۴۴۷/۳*	۱۳۱/۷۱**
O (اندام گیاه)	۱	۱۲/۷۶۰۴**	۰/۶۸۶۸۱۶**	۰/۳۰۶۰۰۴**	۰/۱۶۵۰۰۴**	۷۳۱۶/۴۳**	۷۱۸۰۱۹/۲**	۸۷۵۸۰/۰**	۱۱۴۹۷/۵**
T×O	۳	۰/۳۲۴۵۸۳^{ns}	۱/۰۴۴۱۸**	۰/۰۹۳۵۷۹^{ns}	۰/۰۳۰۶۴۵^{ns}	۲۳۴۴۰/۶۸**	۶۷۹۲/۶۴*	۴۴۴۴۸/۰**	۹۳/۴۵۴۵**
خطا	۱۶	۱/۰۷۳۳۳	۰/۱۴۳۴۶۶	۰/۲۲۵۰۶۶	۰/۰۸۰۷۳۳	۷۳۶۲/۴۱	۹۸۹۷/۵۳	۲۴۷۹۹/۲	۹۳/۳۶۶۶
CV (٪)		۷/۰۸	۱۳/۱۳	۷/۵۳	۶/۱۵	۷/۶۹	۸/۰۹	۱۵/۲۱	۷/۰۰

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار. حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن می‌باشد.

بخش هوایی نسبت به شاهد شد؛ در صورتی که در ریشه فقط غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم شد (جدول ۳). در یک آزمایش مزرعه‌ای نیز مشاهده شد که کاربرد برگی مواد هیومیک استخراج شده از لئوناردیت، رشد ساقه و انباشتگی پتاسیم، منیزیم، کلسیم و آهن را در برگ‌های گیاهچه‌های زیتون افزایش داد؛ در حالی که بر محتوای نیتروژن برگ‌ها بی‌تأثیر بود (۶). البته باید توجه داشت که به دلیل کم بودن عنصر پتاسیم در غذای ماهی، معمولاً در سیستم‌های آکواپونیک غلظت پتاسیم کم است. از طرف دیگر، کود نانوفرتایل حاوی عنصر پتاسیم می‌باشد، بنابراین، افزایش غلظت پتاسیم در گیاهان نعناع با کاربرد این کود دور از انتظار نیست.

محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش غلظت فسفر ریشه نسبت به شاهد شد. در صورتی که در بخش هوایی فقط غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش معنی‌دار غلظت فسفر شد (جدول ۳). در مطالعه‌ای گلخانه‌ای، اثر اسید هیومیک بر قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد پیاز بررسی شده که نشان داد کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم، بیشترین عملکرد پیاز و ۱۲٪ افزایش در جذب این عناصر را سبب گردید (۱۵).

محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش غلظت کلسیم بخش هوایی نسبت به شاهد شد؛ در صورتی که در ریشه فقط غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم شد (جدول ۳). محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود

نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش غلظت منیزیم بخش هوایی و ریشه نسبت به شاهد شد (جدول ۳). در آزمایشی، محتوای فسفر، منیزیم، آهن و پتاسیم در برگ‌ها و تعداد گل در گیاه توسط اسید هیومیک افزایش معنی‌داری نشان داد (۱۱). عناصر پرمصرف نقش مهمی در رشد گیاهان دارند و افزایش رشد گیاهان نعناع با کاربرد کود نانوفرتایل می‌تواند با افزایش غلظت این عناصر در ارتباط باشد.

محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش غلظت آهن بخش هوایی نسبت به شاهد شد؛ در صورتی که در ریشه فقط غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش معنی‌دار غلظت آهن شد (جدول ۳). محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش غلظت منگنز بخش هوایی نسبت به شاهد شد. ولی در ریشه، غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش معنی‌دار غلظت منگنز شد (جدول ۳). محلول‌پاشی گیاهان نعناع با در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش غلظت روی در بخش هوایی نسبت به شاهد شد؛ ولی در ریشه، غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث کاهش معنی‌دار غلظت روی شد (جدول ۳). اسید هیومیک همچنین سبب افزایش جذب آهن، روی، مس و منگنز توسط خیار رشد یافته در محلول هوگلند شد که افزایش جذب آهن و منگنز نقش مهمی در افزایش غلظت کلروفیل برگ داشت (۱۴).

محلول‌پاشی گیاهان نعناع با کود نانوفرتایل در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش غلظت مس بخش هوایی نسبت به شاهد شد؛ ولی در ریشه، غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود نانوفرتایل باعث افزایش معنی‌دار غلظت مس شد (جدول ۳). افزایش غلظت مس در خیار به‌وسیله اسید هیومیک قبلاً گزارش شده است (۱۵).

عناصر کم‌مصرف، مخصوصاً آهن و منگنز، نقش مهمی در سنتز کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز دارند (۱۰). بنابراین، افزایش میزان کلروفیل در برگ‌های گیاهان تیمار شده با کود نانوفرتایل احتمالاً به دلیل افزایش غلظت این عناصر در گیاه بوده است.

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی گیاه نعناع با کود نانوفرتایل در همه‌ی غلظت‌ها باعث افزایش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه شد. رشد و شرایط فیزیولوژیک بهتر گیاهان محلول‌پاشی شده با کود نانوفرتایل با افزایش غلظت پتاسیم، فسفر، کلسیم، آهن، منگنز و مس در بخش‌های هوایی گیاهان تیمار شده در ارتباط بود.

منابع مورد استفاده

۱. روستا، ح. ر. ۱۳۸۸. آکواپونیک: کشت و پرورش توأم ماهی و گیاه در سیستم مدار بسته با بازچرخانی آب. انتشارات پلک، ۱۷۱ صفحه.

۲. سبزواری، س. و ح. ر. خزاعی. ۱۳۸۸. اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزاء عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم پیشتاز. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۲: ۵۳-۶۳.

3. Albayrak, S. and N. Camas. 2005. Effects of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage Turnip (*Brassica rapa* L.). J. Agron. 4: 130-133.

4. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenol oxidase in *Beta Vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.

5. Delfine, S., R. Tognetti, E. Desiderio and A. Alvino. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agron. Sustain. Dev. 25: 183-191.

6. Fernandez-Escobar, R., M. Benlloch, D. Barranco, A. Duenas and J.A. Guterrez Ganan. 1996. Response of olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. Sci. Hort. 66: 191-200.

7. Karr, M. 2001. Oxidized lignites and extracts from oxidized lignites in agriculture. Soil Sci. 69: 1-23.

8. Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. PP. 95-98. *In*: Hellebust, J.A. and J.S. Craigie (Eds.), Handbook of Phycological Methods, Cambridge University Press, London.

9. Lewis, W.M., J.H. Yopp, H.L. Schramm and A.M. Brandenburg. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Trans. Am. Fish. Soc. 107: 92-99.
10. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition, Academic Press, Cambridge, UK.
11. Nikbakht, A., M. Kafi, M. Babalar, Y.P. Xia, A. Luo and N. Etemadi. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of Gerbera. J. Plant Nutr. 31: 2155-2167.
12. Padem, H., A. Ocal and R. Alan. 1999. Effect of humic acid added foliar fertilizer on quality and nutrient content of eggplant and pepper seedlings. Acta Hort. 491: 169-177.
13. Pinton, R., S. Cesco, G. Iacolettig, S. Astolfi and Z. Varanini. 1999. Modulation of NO_3^- uptake by water-extractable humic substances: Involvement of root plasma membrane H^+ATPase. Plant Soil 215: 155-161.
14. Rauthan, B.S. and M. Schnitzer. 1981. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumus sativus*) plants. Plant Soil 63: 491-495.
15. Sangeetha, M., P. Singaram and R.U. Devi. 2006. Effect of lignite humic acid and fertilizers on the yield of onion and nutrient availability. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
16. Sladky, Z. and V. Tichy. 1959. Applications of humus substances to overground organs of plants. Biol. Plant. 1: 9-15.
17. Tattini, M., A. Chiarini, R. Tafani and M. Castagneto. 1990. Effect of humic acids on growth and nitrogen uptake of container-grown olive (*Olea europaea* L. Maurino). Acta Hort. 286: 125-128.
18. Taylor, G. and L. Cooper. 2004. Humic acid: The root to healthy plant growth. California State Science Fair, Project No. J1610.
19. Timmons, M.B., J. Ebeling, F. Wheaton, S. Summerfelt and B. Vinci. 2002. Recirculating Aquaculture Systems. Northeastern Regional Aquaculture Center, Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, New York.
20. Tyson, R.V., E.H. Simonne, M. Davis, E.M. Lamb, J.M. White and D.D. Treadwell. 2007. Effect of nutrient solution, nitrate-nitrogen concentration, and pH on nitrification rate in perlite medium. J. Plant Nutr. 30: 901-913.