

تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر کم‌مصرف سه رقم ریحان در سیستم NFT

The Effect of Different Replacement Methods of Nutrient Solution on Growth, Physiological Characteristics and Concentration of Micronutrient of Three Varieties of Basil in NFT System

حمیدرضا صوفی^{۱*} و حمیدرضا روستا^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱
(مقاله پژوهشی)

چکیده

غلظت عناصر در محلول غذایی مورد استفاده در کشت‌های بدون خاک، به‌خصوص در سیستم‌های بسته، یکی از مهم‌ترین عوامل برای تولید موفق سبزی‌ها است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۴ تکرار در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر^(عج) رفسنجان انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۳ وارسته ریحان (سبز، بنفش و برگ کاهویی) و سه روش جایگزینی محلول غذایی (جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی (EC)، جایگزینی بر اساس نیاز گیاه) بود. نتایج نشان داد که خصوصیات رشدی وارسته‌های ریحان تحت‌تأثیر جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه بیش‌ترین مقادیر را دارا بودند؛ ولی در روش‌های جایگزینی کامل محلول غذایی و تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی به علت تجمع عناصر غذایی و شور شدن محلول غذایی سبب کاهش خصوصیات رشدی، کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی توسط ریشه و در نهایت خسارت به رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. تعویض محلول غذایی بعد از مدت مشخص می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری بر گیاهان برگی همچون ریحان بزند ولی با استفاده از روش‌های جدید همچون تعویض محلول غذایی بر اساس نیاز غذایی گیاه و حتی با پایش دقیق هدایت الکتریکی محلول غذایی در طول دوره رشد می‌توان از خسارات به گیاهان جلوگیری کرد. با توجه به نتایج این بررسی روش جایگزینی محلول غذایی بر اساس نیاز غذایی گیاه برای پرورش ریحان در سیستم‌های بسته توصیه می‌شود. زیرا از این طریق می‌توان علاوه بر بهینه‌سازی محلول غذایی برای گیاهان موردنظر، در مصرف آب و عناصر غذایی نیز صرفه‌جویی کرد و از خسارت محیط زیست ناشی از دور ریز محلول غذایی با غلظت بالای املاح موجود در آن خودداری گردد.

واژه‌های کلیدی: برگ کاهویی، سبزی، عناصر غذایی، نیاز غذایی گیاه، هیدروپونیک

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر عج رفسنجان، رفسنجان، ایران

۲. استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

* نویسنده مسئول Email: Hamidsoufi70@gmail.com

مقاله مستخرج از رساله‌ی دکتری نویسنده اول به راهنمایی حمیدرضا روستا می‌باشد.

مقدمه

سبزی‌های برگ‌ی که به صورت تازه‌خوری و یا نیمه‌فرآوری شده مصرف می‌شوند، اهمیت زیادی در سرتاسر جهان دارا هستند (مانگوف^۱ و همکاران، 2022). تقاضای مصرف‌کنندگان برای این محصولات در سال‌های اخیر افزایش یافته و بسیاری از کشاورزان تولیدات خود را به سمت محصولاتمانند کاهو، اسفناج، و ریحان متمایل کرده‌اند (صوفی^۲ و همکاران، 2023). کیفیت سبزی‌ها توسط بسیاری از عوامل قبل و بعد از برداشت تأثیر می‌پذیرد (کادر^۳، 2008). مدیریت تغذیه معدنی گیاهان از عوامل کلیدی در تعیین کمیت و کیفیت سبزی‌های برگ‌ی است. از این منظر، کشت بدون خاک به‌عنوان یک ابزار مهم برای نیل به این هدف هست، از این رو که امکان کنترل دقیق تغذیه گیاه را فراهم می‌کند (رش^۴، 1997). سبزی‌های برگ‌ی به دلیل محدودیت محیط ریشه و تراکم بالای گیاه نیازمند مدیریت دقیق کودها است (ساندی^۵ و همکاران، 2001). تلاش‌های متعددی برای برآورد محدوده مطلوب غلظت یونی کل در محلول‌های غذایی برای تولید محصولات گلخانه‌ای صورت گرفته است (جیمز و ون ارسل^۶، 2001؛ ون ارسل^۷، 1999؛ کنت و رید^۸، 1996). با این وجود اطلاعات اندکی در مورد غلظت بهینه عناصر برای بسیاری از سبزی‌ها به‌ویژه سبزی‌های برگ‌ی در دسترس است. نیاز به بازچرخانی و استفاده دوباره از محلول غذایی برای کاهش هزینه‌های محیطی و اقتصادی در حال افزایش است. با این وجود، اطلاعات کمی در مورد مدیریت محلول غذایی در سامانه‌های بسته هیدروپونیک وجود دارد. بیش‌تر تولیدکنندگان هر هفته محلول غذایی را دور ریخته و محلول جدید استفاده می‌کنند. برخی با توجه به تجربه‌ای که دارند کمبودها و سمیت عناصر را تشخیص داده و محلول غذایی را اصلاح می‌کنند که این روش به علت خطای در تشخیص مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند (استیونز^۹ و همکاران، 2002). تولیدکنندگان دیگر از روش تجزیه محلول استفاده کرده و با اندازه‌گیری مستقیم عناصر غذایی و تأمین میزان عنصر کاهش‌یافته محلول غذایی را اصلاح می‌کنند (باگی و سالیسبوری^{۱۰}، 1989). البته این روش مشکلاتی مثل هزینه تجزیه محلول غذایی یا گیاه، ایجاد خطا در اندازه‌گیری

1. Mungofa
2. Soufi
3. Kader
4. Resh
5. Soundy
6. James and Van Iersel
7. Van Iersel
8. Kent and Reed
9. Stevens
10. Bugbee and Salisbury

به دلیل انتقال، فرایند آماده‌سازی و زمان را دارا هست (مهلر^{۱۱}، 2000، هرتز و هوچموز^{۱۲}، 1996). جذب متفاوت عناصر غذایی توسط گیاه نیز این روش محلول‌دهی را با مشکل مواجه می‌کند. وجود مقدار بهینه عناصر غذایی در برگ ریحان برای بهبود تولید و افزایش ارزش غذایی محصول ضروری است. مقدار عناصر غذایی در برگ گیاه ریحان متأثر از سیستم ریشه‌ای در جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به اندام هوایی می‌باشد. جذب آب و مواد غذایی به عوامل متعددی مانند ساختار ریشه (مورفولوژی و فیزیولوژیکی) و قسمت‌های هوایی گیاه (کارایی فتوسنتز و تنفس) بستگی دارد (دی پینهیرو هنریکوئیس و مارسلیز^{۱۳}، 2000). عناصر کم‌مصرف یکی از عوامل اساسی مؤثر بر رشد گیاه می‌باشند که می‌توانند عملکرد گیاه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دهند. از این رو بررسی مقدار عناصر کم‌مصرف در شرایط مختلف می‌تواند مهم باشد (روستا و همکاران، 2018).

سیستم کشت بسته (مانند سیستم هواکشت، NFT و DFT)، با توجه به تفاوت در سرعت جذب آب و عناصر غذایی و نیز تخلیه سریع برخی عناصر از محلول غذایی و تجمع برخی دیگر، سبب عدم تعادل عناصر در محلول غذایی شده و ممکن است سبب کاهش کیفیت یا عملکرد محصول گردد (ساواس، 2002؛ لوپز^{۱۴} و همکاران، 2003). زیاد بودن سرعت جذب آب نسبت به عناصر غذایی خود باعث افزایش فشار اسمزی محلول و تأثیر منفی بر جذب آب، رشد و عملکرد محصول می‌گردد (ساماراکون^{۱۵} و همکاران، 2006). جایگزینی آب مصرفی به‌طور اتوماتیک، از تجمع عناصر جلوگیری می‌کند؛ ولی تخلیه عناصر باید جبران شود. از طرفی، سرعت جذب همه یون‌ها توسط ریشه یکسان نیست و عناصری مانند آمونیوم، نترات و پتاسیم با سرعت جذب شده و یون‌های کلسیم و منیزیم و سولفات به‌کندی جذب‌شده و در محلول تجمع می‌یابند. این موضوع سبب تغییراتی در وضعیت یون‌ها (نسبت یون‌ها یا عدم توازن) در محلول غذایی می‌گردد (باگی^{۱۶}، 2004؛ کارماسی^{۱۷} و همکاران، 2005). برخی از محققین، تعیین غلظت تک‌تک عناصر در طول دوره استفاده از محلول غذایی را توصیه می‌کنند و با توجه به میزان جذب عناصر، محلول پرکننده‌ای که حاوی همه عناصر تخلیه‌شده از محلول غذایی است، را به محلول اولیه اضافه می‌کنند (باگی، 2004). ساواس (2002) دو

11. Mahler
12. Hartz and Hochmuth
13. De Pinheiro Henriques and Marcelis
14. Lopez
15. Samarakoon
16. Bugbee
17. Carmassi

کاهویی) و فاکتور دوم روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی در سه سطح (جایگزینی کامل محلول غذایی، جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی (EC) و جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه) در ۴ تکرار انجام شد.

در این آزمایش بذور سه واریته ریحان تهیه شده از شرکت سپاهان رویش و رگزوان هلند درون گلدان‌های یونولیتی حاوی بستر پرلایت کشت شدند و در هفته اول با آب مقطر در دو نوبت صبح و عصر آبیاری شدند. در هفته دوم و با شروع جوانه‌زنی بذور، از محلول هوگلند با غلظت ۱/۴ محلول نهایی برای آبیاری بذور استفاده شد. بیست روز بعد از جوانه‌زنی بذور و رسیدن به مرحله چهار برگی به بستر اصلی درون گلدان‌های پلاستیکی مشبک انتقال داده شدند و بر روی منفذ موجود بر روی کانال‌های سیستم NFT قرار گرفتند. به منظور حذف اثر نور طبیعی فضای بالای شرایط کشت شناور با استفاده از نایلون مشکی کاملاً پوشانده شد و از یک هواکش برای تهویه هوای داخل اتاقک استفاده گردید. در روزهای اول انتقال نشاء، آبیاری از بالا با محلول رش^۴ (2022) و به صورت دستی جهت جلوگیری از خشک شدن محیط ریشه تا گسترده شدن ریشه‌ها انجام شد. طی مدت رشد گیاهان ریحان دمای گلخانه 24 ± 3 درجه سلسیوس بود. سیستم لایه نازک محلول غذایی شامل سه سیستم جداگانه، و هر کدام دارای دو آبراهه‌ی ۲ متری بود و بر روی هر آبراهه ۹ منفذ کشت با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم قرار داشت. هر سیستم دارای یک مخزن ۴۰ لیتری بود و داخل این مخزن یک پمپ آب قرار داشت که محلول غذایی را به لوله‌ها می‌رساند. لوله‌ها آب را به انتهای آبراهه برده و از آنجا با دو شیلنگ رابط با قطر دهانه ۱ سانتی‌متر محلول غذایی وارد کانال می‌شد. میزان آب‌دهی آبراهه‌ها وقتی که به مخزن برمی‌گشت تقریباً ۳ لیتر در دقیقه بود. شیب کانال‌ها در حدود ۱-۲ درصد بود تا محلول غذایی به راحتی در سیستم جریان پیدا کند. هر سیستم نیز دارای دو ردیف بود.

روش‌های مختلف تأمین محلول غذایی

محلول غذایی به سه روش جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی و جایگزینی بر اساس نیاز گیاه تأمین شد که هدایت الکتریکی اولیه برای تمامی تیمارها با توجه به منابع کودی مورد استفاده روی ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم گردید.

الف) در تیمار جایگزینی کامل محلول غذایی هر هفته زمانی که هدایت الکتریکی محلول از ۲/۳ به دامنه ۲/۷۵ الی ۳/۰۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسید، محلول غذایی تعویض می‌گردید.

مدل را برای تهیه محلول افزودنی پیشنهاد نمود که مبنای آن پایش دقیق تک‌تک عناصر در محلول غذایی زهکشی شده بود. اما باگی (2004) گزارش کرد که پایش عناصر اگرچه می‌تواند بسیار مفید باشد، ولی ضروری نیست و به جای تأمین عناصر غذایی تخلیه شده و نیز تعدیل هدایت الکتریکی، پیشنهاد کرد که از محلول افزودنی با غلظت‌هایی کمتر از غلظت محلول اولیه برای جبران کاهش حجم محلول غذایی استفاده شود. استفاده از سیستم گردش و تعویض محلول غذایی هر ۴ هفته یک‌بار سبب افزایش هدایت الکتریکی و تجمع برخی از یون‌ها شده و اثر منفی بر عملکرد و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی داشت (لوپز و همکاران، 2003). ساواس و گیزاس (2002) گزارش کردند که استفاده از محلول غذایی افزودنی با غلظت زیاد پتاسیم و آمونیوم سبب کاهش اثر سوء سیستم گردش بر کیفیت و عملکرد ژبره می‌شود. زکی^۱ و همکاران (1996) گزارش کردند که عدم تعویض محلول غذایی در سیستم NFT در یک دوره ۳ ماهه (فقط تنظیم روزانه هدایت الکتریکی و پهاش) سبب کاهش رشد و عملکرد در گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار NFT غیرگردشی به علت تجمع یون سولفات در محلول غذایی شد و در تیمارهای غیرگردشی، تعویض محلول غذایی هر ۴ هفته یک‌بار، بهترین رشد و عملکرد را سبب شد. استفاده طولانی‌مدت از یک محلول غذایی سبب تجمع اسیدهای آلی می‌شود که از ریشه ترشح شده و سبب کاهش رشد و عملکرد می‌گردد (لی^۲ و همکاران، 2006). مدیریت نادرست محلول‌های غذایی و استفاده از غلظت‌های بالا و پایین محلول غذایی یا عدم تعادل در ترکیب یون‌ها می‌تواند از طریق ایجاد سمیت و یا کمبود ناشی از غلظت محلول غذایی، سبب کاهش رشد گیاهان شود (گر/تان و گریو^۳، 1999). با توجه با اطلاعات ذکر شده در بالا، هدف از انجام این پژوهش بهینه سازی محلول غذایی در جهت افزایش خصوصیات رویشی و فتوسنتزی، بررسی تغییرات میزان جذب عناصر غذایی و کاهش دور ریختن آب و عناصر غذایی به محیط زیست بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان با دمای ۲۴ سلسیوس در روز و ۱۸ درجه سلسیوس در شب و با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اول واریته‌های ریحان در سه سطح (سبز، بنفش و برگ

1. Zekki
2. Lee
3. Grattan and Grieve

صوفی و روستا: تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر ...

توسط دستگاه‌های جذب اتمی و فلیم فتومتر مورد بررسی قرار می‌گرفت (صوفی^۱ و همکاران، 2023).

ویژگی‌های رویشی مورد ارزیابی شامل ارتفاع اندام هوایی، طول برگ، عرض برگ، قطر ساقه، وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک ریشه و اندام هوایی، ۴۵ روز پس از کاشت اندازه‌گیری شدند. ارتفاع با استفاده از خط‌کش و قطر ساقه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر، ابتدا وزن تر ریشه و اندام هوایی گیاه به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد و سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها ابتدا به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار داده شدند و سپس وزن شدند.

میزان کلروفیل a و b و کلروفیل کل با استفاده از روش پور^۲ (۱۹۸۹) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۴۶/۶ و ۶۶۳/۶ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه کارتنوئیدها بر اساس روش لیچن^۳ و ولبورن (1983) استفاده شد و میزان جذب در طول موج ۴۷۰ قرائت گردید.

به منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در برگ، به طور تصادفی ۴ برگ بالغ در هر تیمار در زمان برداشت (۴۵ روز پس از کاشت) جمع‌آوری شد. عناصر غذایی که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند شامل آهن، منگنز و روی اندام هوایی و ریشه بودند. ابتدا گیاهان برداشت شده توسط کوره با درجه حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت به خاکستر تبدیل شدند. سپس خاکستر تولید شده توسط اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری شد و میزان عناصر آهن، مس، منگنز و روی اندام هوایی و ریشه گیاهان ریحان با استفاده از جذب اتمی (GBC avanta ساخت کشور ایتالیا) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل بر اساس طرح کاملاً تصادفی انجام شد که فاکتور اول واریته‌های ریحان در سه سطح (سبز، بنفش و برگ کاهویی) و فاکتور دوم روش‌های جایگزینی محلول غذایی در سه سطح (جایگزینی کامل محلول غذایی، جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی (EC) و جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه) در ۴ تکرار و در هر تکرار ۳ گیاه انجام شد. داده‌ها با نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین تیمارها در اثرات ساده و اثرات متقابل با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با هم مورد مقایسه قرار گرفتند.

در روش جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی (EC) پس از افزودن آب مقطر و رساندن حجم محلول به سطح اولیه، با اضافه کردن میزان لازم (نسبت‌های ثابت عناصر بر اساس فرمول غذایی اولیه) از عناصر پرمصرف (نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم، سولفات منیزیم و پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات) و عناصر کم‌مصرف (آهن، مس، روی و منگنز) با توجه به میزان محلولی که مصرف شده، آب و استوک عناصر غذایی ذکر شده تهیه و به محلول باقیمانده درون ظروف اضافه می‌شد تا دامنه هدایت الکتریکی محلول به ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر برسد.

عیب این روش این است که چون بر اساس منابع علمی جذب عناصری مثل منیزیم، کلسیم، فسفر و عناصر میکرو کندتر از عناصر نیتروژن و پتاسیم است، کاربرد غلظت محلول جایگزین برای همه عناصر بر اساس فرمول اولیه محلول و بدون کاهش غلظت عناصر کند جذب‌شونده باعث تجمع این عناصر در محلول و در نتیجه عدم تعادل عناصر و حتی سمیت می‌شود. اگرچه این روش به دلیل آسان بودن خودکارسازی و با استفاده از حسگرهای EC متر و پمپ‌های تزریق در گلخانه‌های امروزی استفاده می‌شود.

در تیمار جایگزینی بر اساس نیاز گیاه (ابداعی توسط روستا) که از روند جذب عناصر توسط گیاه ریحان بر اساس منابع علمی حاصل شد، نیترات پتاسیم با غلظت استفاده شده در محلول اصلی و به طور کامل مورد استفاده قرار گرفت، اما میزان مصرف نیترات کلسیم، سولفات منیزیم و پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات به نسبت سه‌چهارم مصرف شد و عناصر میکرو (آهن، روی، مس و منگنز) به نصف کاهش یافت و هر دو روز یک‌بار بر اساس حجم آب اضافه شده به مخزن محلول غذایی اضافه شد (جدول ۱ و ۲). برای مثال اگر در طول دو روز یک لیتر محلول توسط گیاه ریحان جذب می‌شد، ابتدا یک لیتر آب مقطر برای جبران آن به ظرف گیاه اضافه می‌شد و مقدار لازم از محلول غلیظ کودهای مختلف برای این یک لیتر بر اساس فرمول اصلی مشخص می‌شد و به جای استفاده کامل، محلول‌های غلیظ با نسبت مشخص شده در بالا به کار می‌رفت. دلیل این کار جلوگیری از تجمع عناصری مثل منیزیم، کلسیم، فسفر و حتی عناصر میکرو در محلول و سمیت آن‌ها برای گیاه بود، زیرا بر اساس منابع سرعت جذب آن‌ها پایین‌تر از پتاسیم و نیترات است. در بررسی حاضر غلظت عناصر غذایی همچون نیتروژن، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، آهن، منگنز، مس و روی به طور هفتگی از محلول استفاده شده بر اساس نیاز غذایی

1. Soufi
2. Porra
3. Lichtenthaler

جدول ۱: فرمول غذایی رش استفاده شده در سیستم NFT
Table 1: Resh nutrient solution formula used in NFT system

میزان مصرف بر اساس نیاز گیاه (میلی لیتر در لیتر) Amount of consumption based on plant needs (ml/L)	میزان مصرف بر اساس تعویض محلول غذایی (میلی لیتر در لیتر) Amount of consumption based on replacement of nutrient solution (ml/L)	غلظت محلول پایه (گرم در لیتر) Stock solution concentration (g/L)	فرمول شیمیایی Chemical formula
عناصر پرمصرف Macronutrients			
0.75	1	915.853	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O
1	1	523.405	KNO ₃
0.75	1	207.964	KH ₂ PO ₄
0.75	1	250	MgSO ₄ .7H ₂ O
-	1	250.064	K ₂ SO ₄
-	1	66.006	(NH ₄) ₂ SO ₄
عناصر کم مصرف Micronutrients			
		2.541	H ₃ BO ₃
		1.203	MnSO ₄ .4H ₂ O
0.5	1	1.308	ZnSO ₄ .7H ₂ O
		0.256	CuSO ₄ .5H ₂ O
		1.236	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄
0.5	1	37.333	Fe-EDDHA

جدول ۲: مقادیر پهاش و هدایت الکتریکی (pH و EC) در محلول غذایی در سیستم تکنیک جریان لایه نازک محلول غذایی (NFT)

Table 2: pH and EC values in the nutrient solution of the nutrient film technique system (NFT)

پهاش pH	هدایت الکتریکی EC	نوع محلول غذایی Nutrient solution
7.20	2.35	محلول تازه رش Fresh Resh nutrient solution
6.5	2.8	محلول رش یک هفته بعد از تعویض شدن Rash nutrient solution one week after changing
6.94	2.35	محلول غذایی با جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی Nutrient solution with replacement based on the EC
6.85	2.35	محلول غذایی با جایگزینی بر اساس نیاز گیاه Nutrient solution with replacement based on the plant needs

جدول ۳: تأثیر روش های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر خصوصیات رویشی واریته های ریحان در سیستم NFT

Table 3: The effect of different replacement methods of nutrient solution on vegetative characteristics of basil varieties in NFT system

میانگین مربعات MS											
تعداد گره Nod number	قطر ساقه Stem diameter	طول ساقه Stem Length	سطح برگ Leaf area	عرض برگ Leaf width	طول برگ Leaf length	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	درجه آزادی df	منابع تغییر Sources of Variations
1.59 ^{ns}	0.80 ^{ns}	81.44 ^{ns}	235.58 ^{**}	1.45 ^{**}	1.33 ^{ns}	0.0003 ^{**}	0.27 ^{**}	0.0016 ^{**}	1856 ^{**}	2	محلول غذایی (N) Nutrient solution (N)
7.70 ^{**}	11.33 ^{**}	675.11 ^{**}	3910.76 ^{**}	41.73 ^{**}	109.36 [*]	0.0002 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.010 ^{ns}	2074 ^{ns}	2	واریته (V) Variety (V)
0.98 ^{ns}	2.37 ^{**}	81.22 ^{ns}	440.94 ^{**}	0.75 ^{ns}	3.94 ^{**}	0.0002 ^{ns}	2.77 ^{ns}	0.005 ^{ns}	1888 ^{ns}	4	محلول غذایی × واریته N×V
0.70	0.39	32.23	2.16	0.37	0.93	0.0001	1.43	0.004	1789	18	خطای آزمایشی Experimental Error
11.55	9.37	11.44	5.25	10.70	9.51	3.58	5.16	4.28	3.81	-	ضریب تغییرات CV (%)

*, **, ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی دار

*, **, and ns: Significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively

نتایج و بحث

ریحان) بیش‌ترین تأثیر را در افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی (به ترتیب ۸/۲۵ و ۱/۵ گرم) و ریشه (به ترتیب ۳/۴ و ۰/۷۸ گرم) را داشت. هم‌چنین کم‌ترین مقادیر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه نیز از تیمار وارپته‌های ریحان با جایگزینی کامل محلول غذایی به ثبت رسید (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در این تحقیق نشان داد که تنها استفاده از روش‌های جایگزینی محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه داشت (جدول ۳). استفاده از روش جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه نسبت به تیمار شاهد (جایگزینی کامل محلول غذایی و وارپته سبز

جدول ۴: تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه ریحان در سیستم NFT

Fig. 4: The effect of different replacement methods of nutrient solution on fresh and dry weight of basil shoot and root in NFT system

وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (g)	وزن خشک اندام هوایی (گرم) Shoot dry weight (g)	وزن تر اندام هوایی (گرم) Shoot fresh weight (g)	روش‌های جایگزینی محلول غذایی Replacement methods of nutrient solution
0.35 ^c	1.8 ^c	0.75 ^c	4.35 ^c	جایگزینی کامل Complete replacement
0.61 ^b	2.7 ^b	1 ^b	6.12 ^b	بر اساس هدایت الکتریکی Based on EC
0.78 ^a	3.4 ^a	1.5 ^a	8.25 ^a	بر اساس نیاز غذایی گیاه Based on plant needs

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test

محلول غذایی مشاهده نشد (جدول ۵). عرض برگ در این بررسی تحت تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی و وارپته‌های ریحان قرار گرفت (جدول ۳) به طوری که وارپته برگ کاهویی از بیش‌ترین عرض برگ در مقایسه با دو وارپته دیگر برخوردار بود و روش‌های جایگزینی کامل محلول غذایی (شاهد) و جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی سبب افزایش عرض برگ در مقایسه با روش جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه شدند (شکل‌های ۱ و ۲).

طول برگ گیاهان ریحان پرورش‌یافته در سیستم NFT در این تحقیق، تحت تأثیر وارپته و برهم‌کنش وارپته و روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی قرار گرفت (جدول ۳). هم‌چنین مشخص شد که استفاده از جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه و پس از آن جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی سبب ایجاد بیش‌ترین تغییرات در طول برگ وارپته‌های ریحان نسبت به تیمار شاهد (جایگزینی کامل محلول غذایی و وارپته سبز ریحان) شد؛ ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در وارپته‌های سبز و بنفش تیمار شده با سه روش جایگزینی

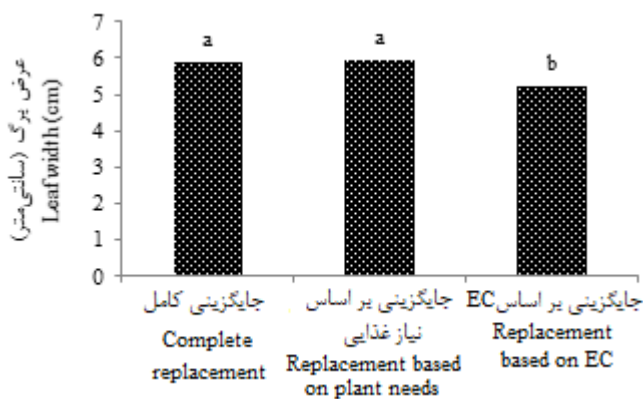
جدول ۵: برهم‌کنش روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی و وارپته ریحان بر طول برگ و سطح برگ گیاهان ریحان در سیستم NFT

Fig. 5: Interaction of different replacement methods of nutrient solution and basil cultivars on leaf length and leaf area in NFT system

سطح برگ (سانتی‌مترمربع در بوته) Leaf area (cm ² per plant)			طول برگ (سانتی‌متر) Leaf length (cm)			وارپته ریحان Basil variety
برگ کاهویی lettuce	بنفش Purple	سبز Green	برگ کاهویی lettuce	بنفش Purple	سبز Green	روش‌های جایگزینی محلول غذایی Replacement methods of nutrient solution
30.8 ^b	14.6 ^c	10.35 ^e	13 ^b	7.66 ^c	7.66 ^c	جایگزینی کامل Complete replacement
41.8 ^a	15.8 ^d	14.26 ^e	13.66 ^b	8.5 ^c	7.66 ^c	بر اساس هدایت الکتریکی Based on EC
42.5 ^a	24.8 ^c	16.67 ^d	15.83 ^a	9.5 ^c	8 ^c	بر اساس نیاز غذایی گیاه Based on plant needs

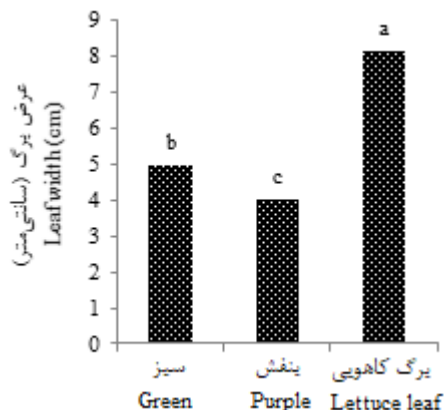
میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test



شکل ۲: تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر عرض برگ گیاهان در سیستم NFT. میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

Fig. 2: The effect of different replacement methods of nutrient solution on basil leaf width in NFT system. Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test



شکل ۱: عرض برگ واریته‌های ریحان در سیستم NFT. میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

Fig. 1: Leaf width of different varieties of basil in NFT system. Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test

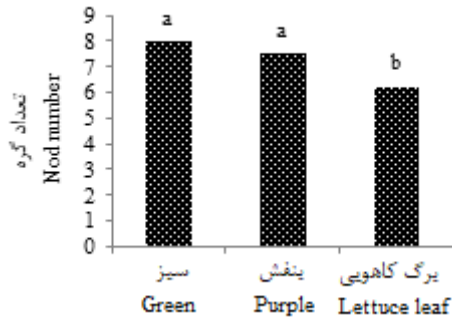
نیاز غذایی گیاه بیش‌ترین تأثیر را بر قطر ساقه داشت (جدول ۶).

در این بررسی تعداد گره تنها تحت واریته‌های ریحان قرار گرفت (جدول ۳). واریته سبز و پس از آن واریته بنفش ریحان بیش‌ترین تعداد گره را نسبت به واریته برگ کاهویی به ثبت رساندند (شکل ۴).

نتایج بررسی حاضر نشان داد که غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل تنها تحت تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی قرار گرفت (جدول ۷). به طوری که جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه و تعویض کامل محلول غذایی به ترتیب از بیش‌ترین (به ترتیب ۴/۵۱۶ و ۸/۴۲۶ میلی‌گرم در وزن تر برگ) و کم‌ترین (به ترتیب ۷/۳۰۸ و ۶/۳۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل برخوردار بودند (جدول ۸)؛ البته مشخص شد که تغذیه گیاهان با جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی نیز تأثیر مثبتی بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل نسبت به روش جایگزینی کامل محلول غذایی گذاشت. غلظت کلروفیل b و کارتنوئید در این تحقیق تنها تحت تأثیر واریته ریحان قرار گرفت به طوری که واریته برگ بنفش از بیش‌ترین غلظت کلروفیل b و کارتنوئید (به ترتیب ۱۵۷/۹۳ و ۷۳/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) در مقایسه با دو واریته دیگر (برگ سبز و برگ کاهویی) برخوردار بود ولی به لحاظ آماری تفاوتی با واریته برگ سبز از لحاظ این دو صفت نداشت (شکل‌های ۵ و ۶).

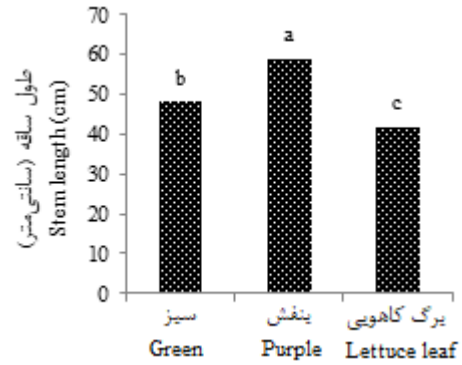
در این تحقیق سطح برگ نیز یکی از پارامترهایی بود که تحت تأثیر روش‌های جایگزینی محلول، واریته ریحان و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). به طوری که بیش‌ترین میزان سطح برگ در واریته برگ کاهویی و در تیمار جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه نسبت به گیاهان شاهد (تعویض کامل محلول غذایی و واریته سبز ریحان) به دست آمد؛ علاوه بر این در دو روش دیگر جایگزینی محلول غذایی نیز واریته برگ کاهویی از بیش‌ترین سطح برگ نسبت به دو واریته دیگر ریحان (سبز و بنفش) برخوردار بود. هم‌چنین واریته بنفش در روش جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه نسبت به تیمار تعویض کامل محلول غذایی سطح برگ بیش‌تری را به ثبت رساند (جدول ۵).

نتایج هم‌چنین نشان داد که طول ساقه تنها تحت تأثیر واریته ریحان قرار گرفت (جدول ۳) به طوری که واریته بنفش ریحان از بیش‌ترین طول ساقه نسبت به دو واریته سبز و برگ کاهویی برخوردار بود و کم‌ترین طول ساقه نیز در واریته برگ کاهویی مشاهده شد (شکل ۳). قطر ساقه در این بررسی تحت تأثیر واریته و برهم‌کنش واریته و روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی قرار گرفت (جدول ۳). نتایج هم‌چنین نشان داد که در واریته برگ کاهویی، استفاده از روش‌های جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه و بر اساس هدایت الکتریکی سبب افزایش در قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد (تعویض کامل محلول غذایی و واریته سبز ریحان) گردید (جدول ۶). هم‌چنین در دو واریته دیگر نیز، جایگزینی بر اساس



شکل ۴: تعداد گره واریته‌های ریحان در سیستم NFT. میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

Fig. 4: Nod number in basil cultivars in NFT system. Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test



شکل ۳: طول ساقه سه واریته گیاه ریحان در سیستم NFT. میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 3: Stem length in basil cultivar in NFT system. Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test

جدول ۶: برهم‌کنش روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی و واریته بر قطر ساقه ریحان در سیستم NFT

Table 6: Interaction of different replacement methods of nutrient solution and basil cultivars on stem diameter of basil in NFT system

برگ کاهویی Leaf lettuce	بنفش Purple	سبز Green	واریته ریحان Basil variety
			روش‌های جایگزینی محلول غذایی Replacement methods of nutrient solution
7.07 ^c	5.42 ^e	5.3 ^e	جایگزینی کامل Complete replacement
7.86 ^b	6.42 ^{cde}	5.74 ^{de}	بر اساس هدایت الکتریکی Based on EC
8.95 ^a	6.64 ^{cd}	6.7 ^{cd}	بر اساس نیاز غذایی گیاه Based on plant needs

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند
Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test

جدول ۷: تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر غلظت کلروفیل a، کلروفیل کل و غلظت آهن اندام هوایی و ریشه گیاهان ریحان در سیستم NFT

Table 7: The effect of different replacement methods of nutrient solution on chlorophyll a and total chlorophyll and shoot and root Fe concentration in NFT system

غلظت آهن ریشه Root Fe concentration	غلظت آهن اندام هوایی Shoot Fe concentration	کلروفیل کل Total chlorophyll	کلروفیل a Chlorophyll a	روش‌های جایگزینی محلول غذایی Replacement methods of nutrient solution
میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر mg.Kg ⁻¹ DW		میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ mg.g ⁻¹ FW		
189 ^c	132 ^c	343.6 ^c	308.7 ^c	جایگزینی کامل Complete replacement
265 ^b	167 ^b	465.4 ^b	395.6 ^b	بر اساس هدایت الکتریکی Based on EC
295 ^a	198 ^a	516.4 ^a	426.8 ^a	بر اساس نیاز غذایی گیاه Based on plant needs

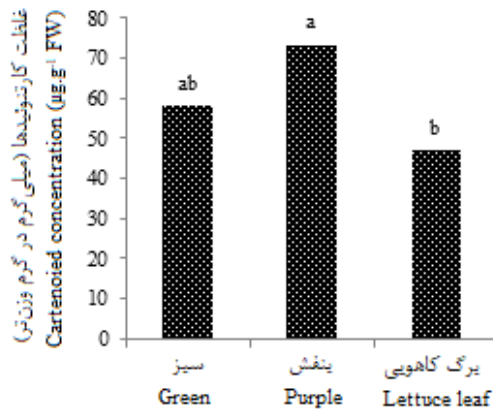
میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند
Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test

جدول ۸: تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر خصوصیات رویشی واریته‌های ریحان در سیستم NFT

Table 8: The effect of different replacement methods of nutrient solution on vegetative characteristics of basil varieties in NFT system

غلظت منگنز ریشه Root Mn concentration	غلظت منگنز اندام هوایی Shoot Mn concentration	غلظت روی ریشه Root Zn concentration	غلظت روی اندام هوایی Shoot Zn concentration	غلظت آهن ریشه Root Fe concentration	غلظت آهن اندام هوایی Shoot Fe concentration	غلظت کارتنوئید Carotenoid concentration	غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration	غلظت کلروفیل b Chlorophyll b concentration	غلظت کلروفیل a Chlorophyll a concentration	درجه آزادی df	منابع تغییر Sources of Variations
20066**	7972.17**	6458**	1033.3*	18787**	1174.2**	578.9 ^{ns}	1281**	2787 ^{ns}	6461**	2	محلول غذایی Nutrient solution (N)
3609 ^{ns}	3236.7 ^{ns}	5048 ^{ns}	807.7 ^{ns}	1800 ^{ns}	112.5 ^{ns}	15.66*	2646 ^{ns}	7850*	10541 ^{ns}	2	واریته Variety (V)
2684 ^{ns}	1299.9 ^{ns}	1418 ^{ns}	227.03 ^{ns}	4920 ^{ns}	307.5 ^{ns}	613.5 ^{ns}	18453 ^{ns}	2981 ^{ns}	16116 ^{ns}	4	محلول × واریته N×V
891	1745.6	1537	245.99	5877	367.6	391.9	33894	1850	16008	18	خطای آزمایشی Experimental error
21.97	4.47	17.62	18.62	17.77	17.27	3.22	3.13	3.39	2.65	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

*, **, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار
*, **, and ns: Significant at 5 and 1% probability level and non-significant, respectively



شکل ۶: غلظت کارتنوئید در سه واریته ریحان در سیستم NFT. میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 6: Carotenoids concentrations in basil cultivars in NFT system. Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test.

غذایی و پس از آن جایگزینی بر اساس هدایت الکتریکی سبب افزایش در میزان جذب عناصر کم‌مصرف آهن (جدول ۸)، روی و منگنز نسبت به تیمار شاهد (واریته سبز و جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه) شد (جدول ۹). (µg.g⁻¹ FW)

جدول ۹: تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر غلظت عناصر روی و منگنز اندام هوایی و ریشه ریحان در سیستم NFT

Table 9: The effect of different replacement methods of nutrient solution on root and shoot Zn and Mn concentration in NFT system

غلظت منگنز ریشه Root Mn concentration	غلظت منگنز اندام هوایی Shoot Mn concentration	غلظت روی ریشه Root Zn concentration	غلظت روی اندام هوایی Shoot Zn concentration	روش‌های جایگزینی محلول غذایی Replacement methods of nutrient solution
146.5 ^c	146.5 ^c	186.25 ^c	81.7 ^c	جایگزینی کامل Complete replacement
202.2 ^b	95.86 ^b	202.3 ^b	90.23 ^b	بر اساس هدایت الکتریکی Based on EC
254.6 ^a	119.84 ^a	240.25 ^a	10.4 ^a	بر اساس نیاز غذایی گیاه Based on plant needs

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند
Means with the same letters are not significantly different at 5% Duncan test

تنظیم‌کننده سایر گیرنده‌های نوری عمل می‌کند (تاناکا^۲، ۲۰۰۰). کارتنوئیدها گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپرنوئیدی هستند که توسط تمامی اندام‌های فتوسنتزی و بسیاری از اندام‌های غیرفتوسنتزی ساخته می‌شوند. کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط تنش و یا شرایط غیرنرمال برای گیاه به‌عنوان یک عامل محدودکننده‌ی غیرروزنه‌ای به حساب می‌آید و به نظر می‌رسد که دلیل کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط

بحث

رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل، مولکول آلی کوچک با یک یون منیزیم‌دار در مرکز آن، نور را جذب و به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند (گودسل^۱، ۲۰۱۶). کلروفیل a رنگ‌دانه اصلی در مرکز واکنش بوده اما کلروفیل b نه تنها یک رنگ‌دانه کمکی است بلکه به‌عنوان یک

کاهش یافت. گزارش شده است که بیشترین مقدار کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌هایی مشاهده شد که از محتوای نسبی آب بیش‌تری در شرایط تنش برخوردار هستند (لی^۸ و همکاران، ۲۰۰۶)؛ بنابراین رشد ریشه و به دنبال آن جذب آب بر سنتز کلروفیل تأثیر مستقیم دارد و در نهایت از پیری برگ و تجزیه کلروفیل جلوگیری می‌شود (کانوری^۹ و همکاران، ۱۹۸۸).

خصوصیات رویشی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی تأثیر قابل‌توجهی بر صفات رویشی گیاه ریحان (وزن تر اندام هوایی و ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه) داشت، به‌طوری‌که تمام ارقام ریحان مورد بررسی در این آزمایش که به روش تعویض براساس نیاز غذایی گیاه تغذیه شده بودند از بیش‌ترین شاخص‌های رشد برخوردار بودند و شاخص‌های رشد در شرایط تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت و در این بین تغذیه گیاهان بر اساس هدایت الکتریکی از شاخص‌های رشدی بهتری در مقایسه با روش تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی برخوردار بودند (جدول ۴-۶ و شکل‌های ۱-۴). کاهش شاخص‌های رشدی در شرایط تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی و بر اساس هدایت الکتریکی نسبت به تغذیه گیاهان براساس نیاز غذایی را می‌توان به پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب پایین اطراف ریشه و هم‌چنین تغییر در غلظت عناصر غذایی محیط اطراف ریشه نسبت داد که می‌تواند بر میزان جذب عناصر غذایی و رسوب عناصر غذایی در محلول غذایی تأثیر گذارد. در شرایط تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی محلول غذایی غلظت عناصر غذایی با اضافه کردن برخی عناصر برای حفظ هدایت الکتریکی محلول غذایی سبب تغییر در تعادل عناصر غذایی می‌گردد از طرف دیگر پتانسیل اسمزی کاهش و در نهایت انتقال آب و مواد غذایی به سمت ریشه کاهش می‌یابد (دگل/نوسنتی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹). در صورتی‌که در شرایط تغذیه براساس نیاز غذایی گیاه به دلیل پتانسیل بالای آب در اطراف ریشه فعالیت ریشه بیش‌تر می‌باشد و در نتیجه جذب آب و مواد غذایی در این شرایط افزایش می‌یابد که در نهایت سبب تقویت رشد می‌گردد (ژانگ^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۶). معمولاً افزایش غلظت محلول غذایی و در نهایت افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی از طریق کاهش محتوای آب سلول، سبب کاهش فشار تورژانس

تنش، تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و هم‌چنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد (ندرو و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل a، کلروفیل کل در شرایط تغذیه بر اساس نیاز غذایی گیاه از بیش‌ترین مقدار و در شرایط تعویض کامل محلول غذایی از کم‌ترین مقدار ممکن برخوردار بود (جدول ۷) که این نتایج با نتایج ورتمن و داوسون^۱ (۲۰۱۵) روی گوجه‌فرنگی، فلفل و کلم در ارتباط با تغییر محلول غذایی بر اساس هدایت الکتریکی و کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مطابقت دارد. نتایج بررسی حاضر هم‌چنین نشان داد غلظت کلروفیل b و کارتنوئید در رقم بنفش و پس از آن در رقم سبز بیش‌تر از وارسته برگ کاهویی بود که می‌تواند وابسته به ژنتیک گیاهان در واکنش به تیمار با محلول غذایی متفاوت باشد (شکل‌های ۵ و ۶). هم‌چنین گزارش شده است که مقدار کلروفیل برگ‌های فلفل در شرایط تغذیه با هدایت الکتریکی بالا نسبت به گیاهان تغذیه شده بر اساس محلول هوگلند استاندارد به‌طور قابل‌توجهی در طی دوره رشد کاهش پیدا کرد (لیکوسکوفیس^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط هدایت الکتریکی بالا ممکن است به دلیل عدم تعادل یونی و در نهایت کاهش و یا آسیب به فسفوپروتئین‌ها و یا فسفریلاسیون پروتئین‌های برداشت‌کننده نور^۳ در فتوسیستم II باشد که سبب تخریب و یا کاهش مقدار کلروفیل می‌گردد (اشرف و هاریس^۴، ۲۰۱۳). هم‌چنین افزایش غلظت محلول غذایی سبب کاهش قابل‌توجهی در مقدار کلروفیل و فتوسنتز گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط هیدروپونیک گردید (شووارز^۵ و همکاران، ۲۰۰۱). کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط هدایت الکتریکی بالا ممکن است به دلیل آسیب به ساختار کلروپلاست و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (جیونز^۶ و همکاران، ۱۹۹۶). از آنجایی‌که عناصر آهن و نیتروژن نقش اساسی در ساختار کلروفیل دارند کاهش در مقدار کلروفیل برگ گیاه ریحان در شرایط تعویض کامل محلول غذایی (پس از یک هفته) و تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی محلول غذایی ارتباط نزدیکی با کاهش این عناصر در این شرایط دارد. در این رابطه روستا^۷ و همکاران (۲۰۱۸) در یک بررسی روی ارقام کاهو نشان دادند که با کاهش مقدار روی، منگنز و آهن برگ مقدار کلروفیل نیز

1. Wortman and Dawson
2. Lycoskoufis
3. light-harvesting complex of photosystem II (LHC-II)
4. Ashraf and Harris
5. Schwarz
6. Gunes
7. Roosta

8. Li
9. Conroy
10. Degl Innocenti
11. Zhang

صوفی و روستا: تأثیر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی بر ...

دائماً به محلول اضافه شوند می‌تواند به روش‌های زیر بر رشد گیاه تأثیرگذار باشد (وو^۴، 2006): ۱) کاهش پتانسیل اسمزی و کاهش جذب آب توسط ریشه گیاه. ۲) افزایش تجمع برخی عناصر نظیر سدیم و کلر، ایجاد سمیت آن‌ها و در نتیجه تغییر تعادل یونی و کاتیونی. ۳) کاهش جذب آب و به دنبال آن کاهش تورژسانس سلولی و ممانعت از توسعه سلول.

غلظت عناصر کم‌مصرف

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیش‌ترین مقدار عناصر کم‌مصرف نظیر آهن، روی و منگنز در سه رقم ریحان مورد مطالعه در این آزمایش در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه مشاهده شد (جدول ۹). در ارتباط با تغییرات غلظت عناصر غذایی در شرایط مختلف گزارشات متعددی صورت گرفته است به طوری که در یک تحقیق روی گیاه فلفل مقدار آهن، روی و منگنز برگ گیاه در شرایط تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (محمدیان، ۱۳۹۵) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. زنگ^۵ و همکاران (2010) در یک بررسی در ارتباط با تغییر غلظت محلول غذایی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غلظت محلول هوگلند) روی گیاه رز در شرایط هیدروپونیک نشان دادند که با افزایش غلظت عناصر معدنی در محلول غذایی هوگلند مقدار آهن برگ نیز افزایش پیدا کرد و در شرایط ۲۵ درصد غلظت محلول هوگلند گیاهان علائم کمبود آهن نشان دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق مقدار آهن و منگنز برگ در شرایط تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد. کاهش در مقدار آهن ممکن است به دلیل کاهش رشد و کاهش فعالیت ریشه باشد (اری و روی^۶، 2011). هم‌چنین کاهش مقدار آهن برگ در گیاهانی که بر اساس هدایت الکتریکی تغذیه شده بودند ممکن است به دلیل تغییرات pH در محلول غذایی در شرایط تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی نسبت به تعویض محلول غذایی باشد (حمیدی و سوری، 2019؛ سوری و همکاران، 2018). نتایج مشابهی روی گیاه سیب‌زمینی که در شرایط هواکشت رشد کرده بودند گزارش شده است به طوری که با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی مقدار عناصر معدنی برگ نظیر آهن و منگنز به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد، آن‌ها نیز کاهش رشد ریشه و کاهش پتانسیل اسمزی اطراف ریشه را عامل اصلی در کاهش جذب عناصر غذایی دانستند (کالوری^۷ و همکاران، 2017).

و در نهایت سبب کاهش توسعه سلول می‌گردد (پکانا^۱ و همکاران، 2017)؛ که در شرایط تعویض کامل محلول غذایی پس از یک هفته در این بررسی مشاهده شد. از آنجایی که هدایت الکتریکی محلول غذایی در شرایط تعویض محلول غذایی پایین‌تر از دو روش دیگر بود به نظر می‌رسد رشد سه وارسته ریحان مورد آزمایش در هدایت الکتریکی‌های بالا کاهش می‌یابد. مشاهده شده است که تغییر در تعادل و توازن کاتیونی و آنیونی در بافت گیاه به دلیل تغییر در غلظت عناصر غذایی و هدایت الکتریکی محلول غذایی سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (ژو^۲، 2007). در یک بررسی روی گیاه فلفل در ارتباط با روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی نشان داده شد که شاخص‌های رشدی گیاه فلفل نظیر ارتفاع، وزن تر ریشه و اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گیاهان تغذیه شده بر اساس تعویض محلول غذایی از بیش‌ترین مقدار صفات رویشی برخوردار بودند. گیاهانی که بر اساس هدایت الکتریکی تغذیه شده بودند از کم‌ترین مقدار صفات رویشی برخوردار بودند (محمدیان، ۱۳۹۵) که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت دارد زیرا در بررسی ما گیاهان تیمار شده با جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه و پس از آن تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی سبب افزایش خصوصیات رشد ریحان گردید. کاهش رشد گیاه آرتیشو و کنگرفرنگی در شرایط تغییر محلول غذایی با افزایش غلظت عناصر نیز گزارش شده است (رافائلی^۳ و همکاران، 2012). با توجه به خسارت وارد شده به خصوصیات فتوسنتزی در ارقام ریحان تحت تیمار جایگزینی کامل محلول غذایی (ناشی از تجمع بالای عناصر غذایی و شوری محلول غذایی)، کاهش خصوصیات رویشی را نیز می‌توان به کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی که از عوامل اصلی تولید مواد اولیه از جمله کربوهیدرات‌ها که لازمه رشد و توسعه اندام‌های گیاهان هستند، اشاره نمود.

ارقام مختلف ریحان نیز واکنش‌های متفاوتی به تغییرات محلول غذایی نشان دادند. در یک بررسی روی ارقام مختلف توت‌فرنگی در ارتباط با تأثیر هدایت الکتریکی محلول غذایی نشان داده شد که با افزایش هدایت الکتریکی محلول غذایی شاخص‌های رشدی کاهش یافت هرچند پاسخ ارقام مختلف به هدایت الکتریکی متفاوت بود و این تفاوت در ارقام به دلیل مقاوم بودن این ارقام به هدایت الکتریکی بالا و بالا بودن سطح برگ و افزایش تجمع ماده خشک بیش‌تر بود (سی و همکاران، 2015). بنابراین جایگزینی محلول غذایی بر اساس هدایت الکتریکی و نیاز غذایی گیاه که لازم است عناصر محلول غذایی

4. Wu

5. Zheng

6. Aray and roy

7. Calori

1. Pecanha

2. Zhu

3. Roupheal

نتیجه‌گیری کلی

هفته تعویض می‌گردید، گیاهان در زمان تکمیل کردن دوره رشدی خود دچار تنش شوری ناشی از تجمع عناصر غذایی در محلول غذایی شدند. در مجموع می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که تعویض محلول غذایی بعد از مدت مشخص (به‌طور مثال ۷ روز در گیاه ریحان) می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری بر گیاهان برگی بگذارد ولی با استفاده از روش‌های جدید همچون تعویض محلول غذایی بر اساس نیاز غذایی گیاه و حتی پایش دقیق هدایت الکتریکی محلول غذایی در طول دوره رشد می‌توان از خسارات به گیاهان جلوگیری کرد و بهترین شرایط را در جهت افزایش تولید بیومس گیاهان با توجه به افزایش خصوصیات فتوسنتزی و افزایش جذب عناصر فراهم کرد. با توجه به نتایج این بررسی روش جایگزینی محلول غذایی بر اساس نیاز غذایی گیاه برای پرورش ریحان در سیستم‌های بسته توصیه می‌شود.

این تحقیق به‌منظور بررسی رفتار مرفو-فیزیولوژیک و عناصر کم‌مصرف سه رقم ریحان تحت‌تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی انجام شد. در مجموع نتایج نشان داد که خصوصیات رشدی ریحان تحت‌تأثیر جایگزینی بر اساس نیاز غذایی گیاه بیش‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند ولی در روش‌های جایگزینی کامل محلول غذایی و تغذیه بر اساس هدایت الکتریکی (EC) به علت تجمع عناصر غذایی گیاهان با کاهش خصوصیات رشدی روبه‌رو شدند و از این طریق خسارت جبران‌ناپذیری بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی گذاشتند، زیرا با بزرگ شدن گیاهان میزان برداشت عناصر غذایی موردنیاز از محلول غذایی افزایش یافت و از طرفی چون در روش جایگزینی محلول غذایی، محلول‌ها پس از مدت یک

منابع

- محمدیان، ف.، روستا، ح. ر.، رقامی، م.، میردهقان، س. ح. و حمید پور، م. ۱۳۹۵. اثر سه روش جایگزینی محلول‌های غذایی و هرس بر رشد، عملکرد و مصرف آب فلفل تند در سیستم کشت هیدروپونیک NFT. کنگره هیدروپونیک علوم باغبانی، ۶-۱.
- Ahmadi, M. and Souri, M. K., 2020. Growth Characteristics and Fruit Quality of Chili Pepper under Higher Electrical Conductivity of Nutrient Solution Induced by Various Salts. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 42 (1): 143-152.
- Arya, S. K. and Roy, B. K. 2011. Manganese induced changes in growth, chlorophyll content and antioxidants activity in seedlings of broad bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Environmental Biology*, 32 (6): 707.
- Ashraf, M. and Harris, P. J. C. 2013. Photosynthesis under stressful environments An overview. *Photosynthetica*, 51: 163-190.
- Bugbee, B. 2004. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. *Acta Horticulturae*. 648: 99-112.
- Bugbee, B. and Salisbury, F. 1989. Controlled Environment Crop Production: Hydroponic vs. Lunar Regolith. In: D. Ming and D. Henninger. (eds) *Lunar Base Agriculture*. Amer. Soc. Agron. Madison, WI.
- Calori, A. H., Factor, T. L., Feltran, J. C., Watanabe, E. Y., Moraes, C. C. D. and Purquerio, L. F. V. 2017. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions winter/spring. *Bragantia*, 76 (1): 23-32.
- Carmassi, G., Incrocci, L., Maggini, R., Malorgio, F., Tognoni, F. and Pardossi, A. 2005. Modeling salinity build-up in recirculation nutrient solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, 28 (3): 431-445.
- Conroy, J. P., Küppers, M., Küppers, B., Virgona, J. and Barlow, E. W. R., 1988. The influence of CO₂ enrichment, phosphorus deficiency and water stress on the growth, conductance and water use of *Pinus radiata* D. Don. *Plant, Cell and Environment*, 11(2): 91-98.
- De Pinheiro Henriques, A. R. and Marcelis, L. F. M. 2000. Regulation of growth at steady-state nitrogen nutrition in lettuce (*Lactuca sativa* L.): interactive effects of nitrogen and irradiance. *Annals of Botany*, 86 (6): 1073-1080.
- Degl Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L. and Navari-Izzo, F. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Journal of Plant Physiology*, 166 (18): 1968-1981.
- Goodsell, D. S. 2016. *Green Energy in Atomic Evidence* Springer. International Publishing, 42: 83-88.
- Grattan, S. R. and Grieve, C. M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78: 127-157.
- Gunes, A., Inal, A. and Alpaslan, A. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance praline and mineral composition. *Journal Environmental Biological*, 52: 72-75 .
- Hartz, T. K. and Hochmuth, G. J. 1996. Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology*, 6: 168-172.
- James, E. C. and Van Iersel, M. W. 2001. Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience*, 36: 40-44.
- Kader, A. A. 2008. Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88 (11): 1863-1868.
- Kent, M. W. and Reed, D. W. 1996. Nitrogen nutrition of new Guinea 'impat Barbados' and *Spathiphyllum* 'Petite' in a subirrigation system. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121: 816-819
- Lee, J. G., Lee, B. Y. and Lee, H. J. 2006. Accumulation of phytotoxic organic acids in reused nutrient solution during hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*, 110: 119-128.

- Lee, Y. H., Yoon, C. S., Park, N. I. and Yeoung, Y. R. 2015. Influence of various nutrient concentrations on the growth and yield of summer strawberry cultivars cultivated in a hydroponic system. *Journal of Horticulture, Environment and Biotechnology*, 56 (4): 421-426.
- Li, R. H., Guo, P. G., Michael, B., Stefania, G. and Salvatore, C. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5 (10): 751-757.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. In *Methods in Enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.
- Lopez, J., Santos Perez, J., Lozano Trejo, S. and Urrestarazu, M. 2003. Mineral nutrition and productivity of hydroponically grown tomatoes in relation to nutrient recycling. *Acta Horticulturae*, 609: 219-223.
- Lycoskoufis, I. H., Savvas, D. and Mavrogianopoulos, G. 2005. Growth, gas exchange, and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the root system. *Scientia Horticulturae*, 106 (2): 147-161.
- Mahler, R. L. 2000. Molybdenum in Idaho; University of Idaho, College of Agriculture, Cooperative Extension Service, Agricultural Experiment Station: Moscow, ID, USA.
- Mungofa, N., Sibanyoni, J.J., Mashau, M.E. and Beswa, D. 2022. Prospective Role of Indigenous Leafy Vegetables as Functional Food Ingredients. *Molecules*, 27(22):7995.
- Pecanha, A. L., daSilva, J. R., Rodrigues, W. P., Ferraz, T. M., Netto, A. T., Lima, R. S. N., Lopes, T. S., Ribeiro, M. S., de Deus, B. C. D. S., do Couto, T. R. and Schaffer, B. 2017. Leaf gas exchange and growth of two papaya (*Carica papaya* L.) genotypes are affected by elevated electrical conductivity of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 218: 230-239.
- Porra, R. J., Thompson, W. A. and Kriedemann, P. E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 975 (3): 384-394.
- Resh, H. M. 1997. *Hydroponic Food Production*. Woodbridge Press, Santa Barbara, CA.
- Resh, H. M. 2022. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for The Advanced Home Gardener and The Commercial Hydroponic Grower* (ed. Resh, H.M.), 560.
- Roosta, H. R., Estaji, A. and Niknam, F. 2018. Effect of iron, zinc and manganese shortage-induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. *Photosynthetica*, 56 (2): 606-615.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Lucini, L., Rea, E. and Colla, G. 2012. Nutrient solution concentration affects growth, mineral composition, phenolic acids, and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon. *The Journal of Horticultural Science*, 47: 1424-1429.
- Samarakoon, U. C., Weerasinghe, P. A. and Weerakkody, W. A. P. 2006. Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical Agriculture Research*, 18: 13-21.
- Schwarz, D., van Iersel, M. W., Ingram, K. T. and Klaring, H. P. 2002. Nutrient solution concentration effects on growth and photosynthesis of tomato grown hydroponically. *Plant Nutrition Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems*, 87: 432-433.
- Soufi, H. R., Roosta, H. R., Stępień, P., Malekzadeh, K. and Hamidpour, M. 2023. Manipulation of light spectrum is an effective tool to regulate biochemical traits and gene expression in lettuce under different replacement methods of nutrient solution. *Scientific Reports*, 13 (1): 8600.
- Soundy, P., Cantliffe, D. J., Hochmuth, G. J. and Stofella, P. J. 2001. Nutrient requirements for lettuce transplants using a floatation irrigation system. I. Phosphorus. *HortScience*, 36: 1066-1070.
- Souri, M. K., Najji, M. and Aslani, M., 2018. Effect of Fe-Glycine Amino-chelate on pod quality and iron concentrations of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under lime soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (2): 215-224.
- Stevens, G., Motavalli, P., Scharf, P., Nathan, M. and Dunn, D. 2002. *Crop Nutrient Deficiencies and Toxicities*; University of Missouri: Columbia, MO, USA.
- Tanaka, R. and Tanaka, A. 2000. Chlorophyll b is not just an accessory pigment but a regulator of the photosynthetic antenna. *Agriculture and Forestry*, 9: 240-245.
- Van Iersel, M. W. 1999. Fertilizer concentration affects growth and nutrient composition of subirrigated pansies. *HortScience*, 34: 660-663.
- Vernieri, P., Borghesi, E., Tognoni, F. and Ferrante, A. 2006. Use of biostimulants for reducing nutrient solution concentration in floating system. *Acta Horticulturae*, 718: 477-484.
- Wortman, S. E. and Dawson, J. O. 2015. Nitrogenase activity and nodule biomass of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) decrease in cover crop mixtures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46: 1443-1457.
- Wu, M. 2006. Effect of nutrient solution electrical conductivity levels on lycopene concentration sugar composition and concentration of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *The University of Arizona*, 116: 97-102.
- Zekki, H., Gauthier, L. and Gosselin, A. 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes with or without nutrient solution recycling. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121: 1082-1088.

- Zhang, J., Jia, W., Yang, J. and Ismail, A. M. 2006. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 97: 111-119.
- Zhang, Y., Kiriwa, Y. and Nukaya, A. 2015. Influence of nutrient concentration and composition on the growth, uptake patterns of nutrient elements and fruit coloring disorder for tomatoes grown in extremely low-volume substrate. *The Horticulture Journal*, 84 (1): 37-45.
- Zheng, Y., Cayanan, D. F. and Dixon, M. 2010. Optimum feeding nutrient solution concentration for greenhouse potted miniature rose production in a recirculating subirrigation system. *Horticulture Science*, 45 (9): 1378-1383.
- Zhu, J. K. 2007. Plant salt stress. In: *Encyclopedia of life sciences*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester of pepper. *Journal of Plant Nutrition*, 19: 389-396.

The Effect of Different Replacement Methods of Nutrient Solution on Growth, Physiological Characteristics and Concentration of Micronutrient of Three Varieties of Basil in NFT System

Soufi^{1*}, H. and Roosta², H. R.

Abstract

The concentration of elements in the nutrient solution used in soilless cultivation, especially in closed systems, is one of the most important factors for the successful vegetables production. With the aim of comparison of the effect of three nutrient solution replacement methods in NFT system in hydroponic greenhouse of Vali-E-Asr University of Rafsanjan, a factorial experiment based on completely randomized design with 4 replicates was conducted. Factors were nutrient solution replacement method (complete nutrient replacement, partial nutrient replacement according to EC, and partial nutrient replacement according to plant demand) and three basil cultivars (green, purple and; lettuce leaves). The results showed that the growth characteristics of lettuce under the influence of replacement method based on plant needs had the highest values, but in the methods of complete replacement of the nutrient solution and nourishment based on EC, due to the accumulation of nutrients, the growth characteristics, and absorption and transfer of nutrients by the roots decreased, and finally damage to photosynthetic pigments. Changing the nutrient solution after a certain period can cause irreparable damage to leafy plants such as basil, but by using new methods such as changing the nutrient solution based on the plant needs and even with accurate EC monitoring and optimizing the nutrient solution in the growth period can prevent damage to plants and provide the best conditions for increasing the biomass production of plants due to increasing the photosynthetic properties and increasing the absorption of elements. According to the results of this study, the replacement method of nutrient solution based on the plant needs is recommended for growing basil in closed systems; Because in this method, in addition to optimizing the nutrient solution for the desired plants, it is also possible to save water and nutrients and avoid damage caused by the use of nutrient solution with a high concentration of salts.

Keywords: Lettuce leaves, Vegetable, Nutrient solution, Plant needs, Hydroponic

-
1. PhD Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
 2. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran

*: Corresponding author Email: Hamidsoufi70@gmail.com

This paper has been extracted from the first author's PhD thesis under the supervision of Hamid Reza Roosta.