مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۳ شماره ۱ صفحه های ۳۳ تا ۴۶ (۱۴۰۱)
مقاله پژوهشی

اثر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی مکمل در سیستم هیدروپونیک شناور بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی سه رقم کاهو[1]

The Effect of Different Methods of Replacing Supplemental Nutrient Solution in Floating Hydroponic System on Growth and Physiological Characteristics of Three Lettuce Cultivars

حمیدرضا روستا*، سمانه بختیاری‌زاده، محمودرضا رقامی و مجید اسماعیلی‌زاده[2]

چکیده

آزمایش حاضر به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح به‌طور کامل تصادفی با هدف مقایسه اثر سه روش جایگزینی محلول غذایی (جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس EC محلول غذایی، جایگزینی بر اساس نیاز گیاه) در سیستم شناور بر سه رقم کاهو (چینی، بادبان قرمز و کازرون) اجرا شد. در هر سه رقم کاهو بالاترین وزن تر ریشه و اندام هوایی و عملکرد در گیاهانی مشاهده شد که به روش تعویض کامل محلول غذایی تغذیه شده بودند و گیاهان تغذیه شده بر اساس نیاز گیاه در سطح بعدی بودند؛ درحالی‌که این ویژگی‌های رویشی در گیاهانی که بر اساس EC محلول غذایی تغذیه شده بودند، از کمترین مقدار برخوردار بود. شاخص کارایی فتوسنتزی (PI) در رقم‌های کاهو چینی و کازرون در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه به ترتیب ۱۹/۶ و ۲۳/۵ درصد کاهش یافت. در صورتیکه، غلظت ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ کاهو در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی در مقایسه با دو روش دیگر افزایش یافت که در این بین رقم کاهوی بادبان قرمز از ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در مقایسه با دو رقم دیگر برخوردار بود. بنابراین، اگرچه تعویض کامل محلول غذایی تاثیر مثبت بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی ارقام کاهو داشت، اما افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش مصرف آب و کود در دو روش دیگر تولید نیز اهمیت زیادی دارد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، سیستم شناور، کاهو، کشت بدون خاک.

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان و کمبود منابع غذایی، بحث تولید با کیفیت بالا و در سطح کمتر، بیش از پیش توجه همه را به خود جلب کرده است. کشت گیاهان گلخانه‌ای در یک سیستم کنترل شده از نظر تغذیه، بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به مشکلات موجود در گلخانه‌های خاکی یکی از روش‌های جدید، کشت گیاهان در بسترهای بدون خاک است (۴، ۲۶). بدیهی است که روش‌های کشت هیدروپونیک یکی از بهترین روش‌های مقابله و کنترل بیماری‌زاهای گیاهی به‌ویژه عوامل خاکزی است (۴۰). سبزی‌های برگی که به صورت تازه‌خوری و یا نیمه فراوری شده مصرف می‌شوند اهمیت زیادی در سرتاسر جهان دارا می‌باشند (۵). کاهو (*Lactuca sativa* L.) به عنوان یک سبزی برگی دارای منافع اقتصادی قابل توجهی است (۳۸). کشت کاهو به روش بدون خاک، به علت کوتاه بودن طول دوره رشد آن و نیز عدم وجود باقی‌مانده‌های شیمیایی (انباشت نیترات) و آلودگی میکروبی، با استقبال زیادی در کشورهای توسعه یافته روبرو شده است. کوتاه شدن طول

۱- تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۹

۲- به‌ترتیب استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه اراک، دانش آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (h-roosta@araku.ac.ir).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

دوره رشد کاهو سبب شده تا در طول یکسال بتوان ۱۰ بار اقدام به کاشت و برداشت کاهو نمود (۴). به هر حال، در ایران به علت عدم آگاهی کافی از کشت بدون خاک و مدیریت محلول غذایی، هنوز پرورش کاهو به روش شناور، به صورت تجاری در سطح وسیع انجام نشده است (۳۲).

سیستم کشت شناور یکی از ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین سیستم‌های هیدروپونیک موجود برای کشت سبزی‌ها به ویژه کاهو می‌باشد. این فن در صورت وجود آب و هوای مناسب خارج از گلخانه هم قابلیت استفاده دارد. در این روش ریشه به طور کامل در آب غوطه‌ور است، بنابراین باید یک سیستم هوادهی در داخل آب موجود باشد تا با اکسیژن‌رسانی به ریشه‌ها، امکان رشد هر چه بهتر آن‌ها را فراهم کند (۲۱). مهم‌ترین مزیت سیستم‌های شناور کاهش هدر رفت کود و کاهش آلودگی زیست‌محیطی است. البته، جایگزینی محلول غذایی به‌طور کامل می‌تواند این مزیت سیستم را از بین ببرد (۲). آزمایشی که با هدف مقایسه اثر سه روش جایگزینی محلول غذایی در سیستم جریان نازک محلول غذایی[۱]روی فلفل انجام شد، نشان داد که جایگزینی محلول غذایی بر اساس کنترل EC و بر اساس نیاز گیاه مصرف محلول غذایی در طول دوره رشد گیاه را به کمتر از یک‌سوم روش تعویض کامل محلول غذایی کاهش داد. اگرچه در مقایسه با تعویض کامل محلول غذایی، رشد گیاه و تعداد میوه در دو روش جایگزینی محلول بر اساس EC و نیاز گیاه کاهش یافت، اما با توجه به کاهش مصرف محلول غذایی و کاهش آلودگی احتمالی محیط زیست در اثر ورود محلول تعویضی به طبیعت مطالعه بیشتر در جهت بهینه‌سازی این دو روش جایگزینی محلول ضروری به نظر می‌رسد (۲۸). همچنین در آزمایشی زمان تعویض محلول غذایی و غلظت محلول پرکننده بر رشد و عملکرد کاهوی باترهد در سیستم کشت شناور بررسی شد. محلول‌های غذایی هر ۳، ۴ و ۵ هفته یک‌بار تعویض می‌شد و برای جبران کاهش حجم آب و عناصر تخلیه‌شده، از محلول غذایی پرکننده ۳/۱ یا ۳/۲ غلظت هوگلند استفاده می‌شد. نتایج نشان داد که در ویژگی‌های رویشی گیاه اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت. نتایج این پژوهش نشان داد که تعویض کامل محلول غذایی هیچ ضرورتی ندارد و ضمن اینکه میزان عناصر مصرفی در محلول افزودنی تنها یک‌سوم محلول استاندارد است که به نوبه خود سبب کاهش مصرف کود شیمیایی می‌شود (۳). در آزمایشی تأثیر EC بر جذب عناصر غذایی، رشد و عملکرد کاهو در کشت شناور مورد بررسی قرار گرفت. چهار بوته در ظرف ۵۰ لیتری کشت شدند که در آن‌ها غلظت‌های پایین (۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) با غلظت‌های استاندارد (۲ گرم در لیتر) محلول آلبرت مقایسه شدند. هدایت الکتریکی این محلول‌ها در سه سطح متفاوت بود. نتایج نشان داد با افزایش EC محلول غذایی وزن تر و خشک گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در EC ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر تعداد برگ بیشتر بوده و منجر به افزایش وزن خشک و تر گیاه شد. رابطه معکوس رشد و عملکرد با میزان جذب عناصر غذایی به علت اثرهای منفی جذب بیش از حد عناصر غذایی و مسمومیت در گیاه، عدم تعادل یا پاسخ دفاعی است. محلول آلبرت در EC ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر (۰/۵ گرم در لیتر) با جایگزینی کامل بعد از دو هفته به‌عنوان بهترین محلول غذایی برای کاهوی برگی در شرایط آب‌وهوای گرم در مناطق خشک سریلانکا بود (۳۴). در آزمایشی اثر شوری محلول غذایی بر طول عمر کاهوی رشد کرده در سیستم شناور بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که در جریان انبارمانی گیاه کاهو، گیاهان تیمار شده با غلظت‌های پایین تنش شوری از خسارت کمتری در جریان انبارمانی برخوردار بودند. نتایج این پژوهشگران همچنین نشان داد که افزایش EC محلول غذایی در سیستم شناور بر ویژگی‌های کاهوی تازه برداشت شده تأثیر گذاشته و باعث افزایش طول عمر پس از برداشت محصول شده است (۹). در بررسی که روی فلفل شیرین انجام شد گیاهان در سیستم هیدروپونیک در ۴ سطح EC رشد یافتند. در بالاترین سطح EC محلول غذایی، کاهش وزن خشک ساقه، سطح برگ و وزن ریشه مشاهده شد. EC بالای محلول غذایی باعث اندازه میوه کوچک‌تر، تعداد میوه کمتر و در نهایت عملکرد میوه کمتر شد، همچنین مصرف آب گیاه هم کاهش پیدا کرد. در این تیمار مقاومت روزنه‌ای و استحکام میوه افزایش پیدا کرد و در سطوح بالاتر EC تثبیت CO_2 کل در گیاه کاهش یافت. از این رو، کاهش در وزن خشک می‌تواند به دلیل پایین آمدن ظرفیت فتوسنتزی باشد (۲۷). درست است که فرمولاسیون‌های مختلفی برای تهیه محلول‌های غذایی انتشار یافته است، اما انتخاب محلول‌های مختلف اغلب باید نسبت به شرایط کشت و گونه گیاهی مورد پرورش بازنگری شود. محلول‌های غذایی مختلف اثرهای متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاه کاهو دارند (۱۹). در جهان تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا سیستم محلول رسانی واحدهای آبکشت طوری طراحی شود که بتواند با توجه به شرایط محیطی و به طور

۱- Nutrient Film Technique

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

خودکار نیازهای گیاه را به شیوه مطلوب تأمین نماید (۳۵). پژوهش‌های Nyirakabibi و همکاران (۲۹) نشان داد که افزایش غلظت محلول غذایی (EC از ۱/۶ به ۲/۹) سبب اختلاف معنی‌دار غلظت عناصر در بافت برگ رقم‌های مختلف کاهو نشد. به نظر می‌رسد اگر نسبت عناصر غذایی در محلول تغییر نیابد، افزایش غلظت محلول غذایی سبب تغییر در شدت جذب عناصر نمی‌شود، اما با تغییر نسبت عناصر غذایی، به ویژه در مورد کاتیون‌ها، به علت بروز رقابت بر سر جذب، غلظت آن‌ها در بافت برگ نیز تغییر خواهد کرد (۱۶). میزان EC خیلی بالا و خیلی پایین سبب شد تا میزان کلروفیل نسبی برگ و آسکوربیک اسید گیاه کاهو چینی افزایش یابد، اما در مقابل محتوای قند محلول برگ کاهش نشان داد (۸). بهینه‌سازی کاربرد عناصر غذایی برای گیاهان امری ضروری است، زیرا سبب افزایش تولید محصول، به‌ویژه سبب سرعت بخشیدن به رشد اولیه برگ سبزی‌های برگی می‌شود (۱۲ و ۱۵). بنابراین، در آزمایش حاضر با هدف کاهش اثرهای سوء استفاده از EC محلول غذایی به عنوان معیار کنترل عناصر غذایی داخل محلول غذایی در سیستم هیدروپونیک بسته بر رشد گیاه و کاهش هدر رفت آب و کود و در نتیجه کاهش آلودگی محیط زیست، روش تأمین محلول غذایی بر اساس نیاز گیاه که با بررسی منابع مختلف مربوط به جذب عناصر غذایی توسط کاهو به دست آمد به‌عنوان روشی مدرن و هوشمند جهت تأمین محلول غذایی مصرف شده در سه رقم کاهو استفاده شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان، مجهز به سیستم گرمایش و سرمایش هواساز و لامپ LED سفید (۲۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه)، به‌منظور بررسی اثر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور به صورت فاکتوریل با دو فاکتور روش جایگزینی محلول غذایی (جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس EC و جایگزینی بر اساس نیاز گیاه) و رقم (کازرون، بادبان قرمز و کاهوی چینی بیکلو F_1) در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۹۶ شروع گردید و پس از یک ماه و در یک فصل رشد پایان یافت.

بذرهای سه رقم کاهوی کازرون (نوعی کاهو پیچ)، کاهوی چینی (نوعی کاهو پیچ) و بادبان‌قرمز (کاهو برگی) درون گلدان‌های یونولیتی حاوی بستر پرلایت با ابعاد ۱۵×۱۰×۱۰ (ارتفاع × طول × عرض) کشت شدند. بذرها پس از سه روز شروع به تنژیدن کردند. در هفته اول هر روز در دو نوبت صبح و عصر با ۲۰۰ میلی‌لیتر (به ازای هر گلدان) آب مقطر آبیاری شدند. با شروع هفته دوم ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی نیم‌هوگلند جایگزین آب شد. بیست و هشت روز پس از تنژیدن بذرها، وقتی گیاهچه‌های جوان چهار برگ حقیقی داشتند، نشاءها به گلدان‌های پلاستیکی مشبک کوچک حاوی پرلایت انتقال داده شده و این گلدان‌های کوچک در منافذ یونولیت شناور روی ظرف‌های حاوی محلول غذایی قرار داده شدند. بلافاصله پس از انتقال نشاء، جهت جلوگیری از خشک شدن محیط ریشه تا گسترده شدن ریشه‌ها، گلدان‌ها به‌صورت دستی از بالا محلول‌دهی شد. طی مدت رشد گیاهان کاهو دمای گلخانه در ۲۳ درجه سلسیوس در روز و ۱۸ درجه سلسیوس در شب، دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۵±۵۵ درصد و شدت نور ۲۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه تنظیم شد. بعد از انتقال گیاهان به سیستم شناور از محلول غذایی مخصوص کاهو استفاده شد (جدول ۱). سیستم شناور شامل ۲۷ ظرف پلاستیکی مربعی شکل به ابعاد ۲۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر بود که روی هر ظرف، یونولیت با ابعاد ۵×۳۰×۳۰ سانتی‌متر شناور بود و ۴ گیاه در هر ظرف کشت شد. تمامی ظرف‌های کشت با شیلنگ‌های رابط به پمپ هوا (HAILA, Model: ACO-388 D) متصل بودند و به صورت ۲۴ ساعت هوادهی محلول غذایی صورت می‌گرفت.

روش‌های مختلف تامین محلول غذایی

محلول غذایی به سه روش جایگزینی کامل، جایگزینی بر اساس EC و جایگزینی بر اساس نیاز گیاه تأمین شد که EC 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 چهار روز یک‌بار زمانی که EC محلول از ۲/۳ به دامنه ۲/۷۵ الی ۳/۰۰ دسی زیمنس بر متر می‌رسید، محلول غذایی تعویض می‌گردید. حسن این روش آسان بودن استفاده و عدم تجمع عناصر کند جذب شونده است و عیب آن، هدر رفت آب و کود و آلودگی زیست‌محیطی است.

ب) در روش جایگزینی بر اساس EC با اضافه کردن میزان لازم (نسبت‌های ثابت عناصر بر اساس فرمول غذایی اولیه) از عناصر پرمصرف (نیترات‌پتاسیم، نیترات‌کلسیم، سولفات‌منیزیم و پتاسیم‌دی‌هیدروژن فسفات) و عناصر کم مصرف (آهن، مس،

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

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 EC محلول به ۲/۳ dS/m برسد. عیب این روش این است که چون بر اساس منابع علمی جذب عناصری مثل منیزیوم، 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 جذب شونده 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.

جدول ۱- محلول غذایی استفاده شده در آزمایش (۳۲).

Table 1. Nutrient solution used in the experiment.

کود Fertilizer	غلظت محلول پایه (گرم در لیتر) Stock (g/L)	میزان مصرف براساس تعویض کامل محلول غذایی Consumption rate based on complete replacement of nutrient solution (mL/L)	میزان مصرف براساس نیاز گیاه (میلی‌لیتر در لیتر) Consumption rate based on plant demand (mL/L)
نیتراتکلسیم $Ca(NO_3)_2$	458	2	1.5
نیتراتپتاسیم KNO_3	523	1	1
دی‌هیدروژن‌مونوفسفات KH_2PO_4	208	1	0.75
سولفاتمنیزیم $MgSO_4$	250	1	0.75
بوریک‌اسید H_3BO_3	2.54	1	0.5
سولفاتمنگنز $MnSO_4$	1.20		
سولفاتروی $ZnSO_4$	1.30		
سولفاتمس $CuSO_4$	0.256		
مولیبداتآمونیوم $(NH_4)_2MoO_4$	1.23		
سکوسترین آهن (۶ درصد) Fe-EDDHA	10	1	0.5

ج) در تیمار جایگزینی بر اساس نیاز گیاه (ابداعی توسط مولف) که از روند جذب عناصر توسط گیاه کاهو بر اساس منابع علمی حاصل شد، نیتراتپتاسیم با غلظت استفاده شده در محلول اصلی و به‌طور کامل مورد استفاده قرار گرفت، اما میزان مصرف نیترات کلسیم، سولفاتمنیزیم و پتاسیم‌دی‌هیدروژن‌فسفات به نسبت سه چهارم 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. برای مثال اگر در طول دو روز یک لیتر محلول توسط گیاه کاهو 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 بجای استفاده کامل، محلول‌های غلیظ با نسبت مشخص شده در بالا به کار می‌رفت. دلیل این کار جلوگیری از تجمع عناصری مثل منیزیوم، 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.

منابع کودی پرمصرف استفاده شده در این پژوهش که در جدول ۱ بیان شده است از شرکت پارس اکسید شیراز تهیه گردید و عناصر کم مصرف مانند بوریک‌اسید، سولفاتمنگنز، سولفاتروی، سولفاتمس و مولیبداتآمونیوم از کودهای شرکت مرک آلمان استفاده شد. پس از گذشت ۵۰ روز از کشت بذرها و انتقال نشا کاهو به ظرف‌های حاوی محلول غذایی و پس از کامل شدن سر در کاهو کازرونی و کاهوی چینی و بالغ شدن تمامی برگ‌های رقم بادبان قرمز پارامترهای رویشی از جمله وزن تر اندام هوایی و ریشه و پارامترهای فیزیولوژیک رقم‌های کاهو مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری وزن تر نخست گیاه از بستر خارج و به ۲ بخش اندام هوایی و ریشه تقسیم شد و پس از شستشوی ریشه، با استفاده از ترازو هرکدام جداگانه وزن گردید.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

میزان کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید

رنگدانه‌های فتوسنتزی در انتهای دوره رشد به روش اسپکتروفتومتری (۲۴) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd، ساخت کشور انگلستان) در طول‌موج‌های ۶۶۳/۶، ۶۴۶/۶ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شدند.

پارامترهای فلورسانس کلروفیل و فتوسنتز

در پایان آزمایش، برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل متغیر به بیشینه (F_v/F_m) و شاخص کارایی فتوسنتز (PI) از دستگاه فلوریمتر (Hansatech LTD Pocket PEA, UK ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. میزان فتوسنتز گیاهان با دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز IRGA (ADC BioScientific Ltd انگلستان) مشخص گردید.

ترکیب‌های فنولی

میزان ترکیب‌های فنولی براساس روش Isfendiyaroglo and Zaker (۱۷) و با عصاره‌گیری با اتانول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر خوانده شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از DPPH به روش شرح داده شده توسط Brand-Willam و همکاران (۱۹۹۵) انجام شد. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه شده با ۹۰۰ میکرولیتر از محلول DPPH (۵۰۰ میکرومولار در اتانول) آمیخته شد و توسط دستگاه لرزانده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک قرار گرفت. نمونه شاهد هم به همین صورت تهیه شد اما با این تفاوت که به‌جای عصاره از آب مقطر استفاده گردید. میزان جذب محلول به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T60 UV/VIS Spectrometer PG Instrumentsl Ltd) در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده گردید. واکنش آمیخته بدون DPPH برای تصحیح ماده زمینه استفاده شد.

$$\text{فعالیت آنتی اکسیدانی (درصد)} = (1-\frac{\text{عدد ضریب تصحیح} - \text{عدد نمونه}}{\text{عدد کنترل}}) \times 100$$

واکاوی داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده از پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه شد و همچنین به منظور انجام محاسبه‌های آماری و رسم نمودارها از نرم افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۳) استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD (کمینه تفاوت معنی‌دار) در سطح احتمال ۵ درصد تجزیه آماری شدند.

نتایج و بحث

اثر روش جایگزینی محلول غذایی و رقم بر وزن تر ریشه و اندام هوایی کاهو

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، وزن تر ریشه گیاه در سطح احتمال ۵ درصد زیر تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی قرار گرفت در حالی‌که اثرهای رقم و برهمکنش بین روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه گیاه در گیاهان تغذیه‌شده به روش تعویض کامل محلول غذایی مشاهده گردید و کمترین وزن تر ریشه در گیاهانی که بر اساس EC تغذیه شده بودند، مشاهده شد (شکل ۱). وزن تر ریشه در روش جایگزینی محلول غذایی بر اساس نیاز گیاه بیشتر از وزن تر ریشه در روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی بود. نتایج همچنین نشان داد که رقم کازرون از بیشترین وزن تر ریشه در هر سه روش جایگزینی محلول غذایی برخوردار بود و کمترین وزن تر ریشه در رقم کاهو بادبان قرمز مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس مربوط به وزن تر اندام هوایی نشان داد که اثرهای روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و برهمکنش بین روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم معنی‌دار شد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است وزن تر اندام هوایی رقم کاهو چینی در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه در مقایسه با روش تعویض محلول غذایی به ترتیب حدود ۲۶/۳ و ۱۷/۷ درصد کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که وزن تر اندام هوایی رقم کاهوی کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC و

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

نیاز گیاه به ترتیب حدود ۴۵/۳ و ۲۹/۲ درصد در مقایسه با گیاهان تغذیه شده با روش تعویض محلول غذایی کاهش یافت؛ درحالی که وزن تر اندام هوایی رقم کاهوی بادبان قرمز در شرایط تغذیه بر اساس EC حدود ۲۴/۵ درصد نسبت به روش تعویض محلول غذایی کاهش یافت، اما وزن تر اندام هوایی این رقم در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه تفاوتی با شرایط تعویض محلول غذایی نداشت (شکل ۱). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، شاخص عملکرد گیاه کاهو در سطح احتمال یک درصد زیر تأثیر اثرهای ساده روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و برهمکنش بین روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم قرار گرفت. به طوری‌که بیشترین شاخص عملکرد در گیاهان کاهو چینی تغذیه شده بر اساس تعویض محلول غذایی مشاهده گردید و کمترین شاخص عملکرد در گیاهان کاهو بادبان قرمز که بر اساس EC محلول غذایی تغذیه شده بودند، مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که در همه روش‌های جایگزینی محلول غذایی مختلف بیشترین شاخص عملکرد مربوط به رقم کاهو چینی و کمترین شاخص عملکرد مربوط به رقم کاهو بادبان‌قرمز بود (شکل ۱). در هر سه رقم کاهو کاهش شاخص عملکرد در روش تغذیه بر اساس EC بیشتر از روش جایگزینی محلول بر اساس نیاز گیاه بود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های رویشی گیاه کاهو (وزن تر اندام هوایی و ریشه) داشت، به‌طوری‌که همه رقم‌های کاهو مورد بررسی در این آزمایش که به روش تعویض کامل محلول غذایی تغذیه شده بودند از بیشترین شاخص‌های رشد برخوردار بودند و شاخص‌های رشد در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت و در این بین تغذیه گیاهان بر اساس نیاز گیاه از شاخص‌های رشدی بهتری در مقایسه با روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی برخوردار بودند. کاهش شاخص‌های رشدی در شرایط تغذیه بر اساس EC را می‌توان به پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب پائین پیرامون ریشه و همچنین تغییر در مقدار عناصر غذایی محیط پیرامون ریشه نسبت داد که می‌تواند بر میزان جذب عناصر غذایی و رسوب عناصر غذایی در محلول غذایی تأثیر بگذارد. در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی و نیاز گیاه، غلظت عناصر غذایی با اضافه کردن برخی عناصر برای حفظ EC 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 (۷). در صورتی‌که در شرایط تعویض کامل محلول غذایی 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 (۴۲). به طور معمول افزایش غلظت محلول غذایی و در نهایت افزایش EC محلول غذایی از راه کاهش محتوای آب یاخته، سبب کاهش فشار تورژسانس و در نهایت سبب کاهش توسعه سلول می‌گردد (۳۰). از آنجایی که EC محلول غذایی در شرایط تعویض کامل محلول غذایی پایین‌تر از دو روش دیگر بود به نظر می‌رسد رشد سه رقم کاهوی مورد آزمایش در EC های بالا کاهش می‌یابد. تغییر در تعادل و توازن کاتیونی و آنیونی در بافت گیاه به دلیل تغییر در غلظت عناصر غذایی و EC محلول غذایی سبب کاهش رشد گیاه می‌گردد (۳۲). در یک بررسی روی گیاه فلفل در ارتباط با روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی نشان داده شد که شاخص‌های رشدی گیاه فلفل مانند ارتفاع، وزن تر ریشه و اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گیاهان تغذیه شده بر اساس تعویض کامل محلول غذایی از بیشترین مقدار برخوردار بودند. ویژگی‌های رویشی در گیاهانی که بر اساس EC تغذیه شده بودند، کمترین مقدار را نشان دادند (۲۸) که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاهش در شاخص‌های رشد ارقام کاهو در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه و یا بر اساس EC را می‌توان به کاهش غلظت عناصر غذایی نظیر پتاسیم و نیتروژن نسبت داد که به‌طور معنی‌داری سبب کاهش شاخص‌های رشدی می‌گردد. هرچند غلظت برخی از عناصر در محلول غذایی در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاهی نسبت به روش تعویض کامل محلول غذایی بیشتر است، به احتمال عدم تعادل عناصر غذایی و EC بالا باعث کاهش رشد شده است. در یک بررسی در ارتباط با تغییرهای غلظت عناصر معدنی مشخص شد که تغییر عناصر غذایی سبب کاهش شاخص‌های رشدی گیاه کاهو گردید و کاهش در شاخص‌های رشدی گیاه کاهو را به کاهش غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و نیتروژن نسبت دادند (۶). کاهش در شاخص‌های رشد گیاه کاهو ارتباط نزدیکی با تعداد برگ و تشکیل برگ دارد به‌طوری‌که در یک بررسی روی گیاه کاهو نشان داده شد که افزایش EC محلول غذایی از ۱/۴ دسی زیمنس بر متر به ۲ و۳ دسی زیمنس بر متر، تعداد برگ و سطح فتوسنتزکننده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و در نهایت باعث کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی کاهو گردید (۳۴) که نتایج پژوهش حاضر نیز در این راستا می‌باشند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

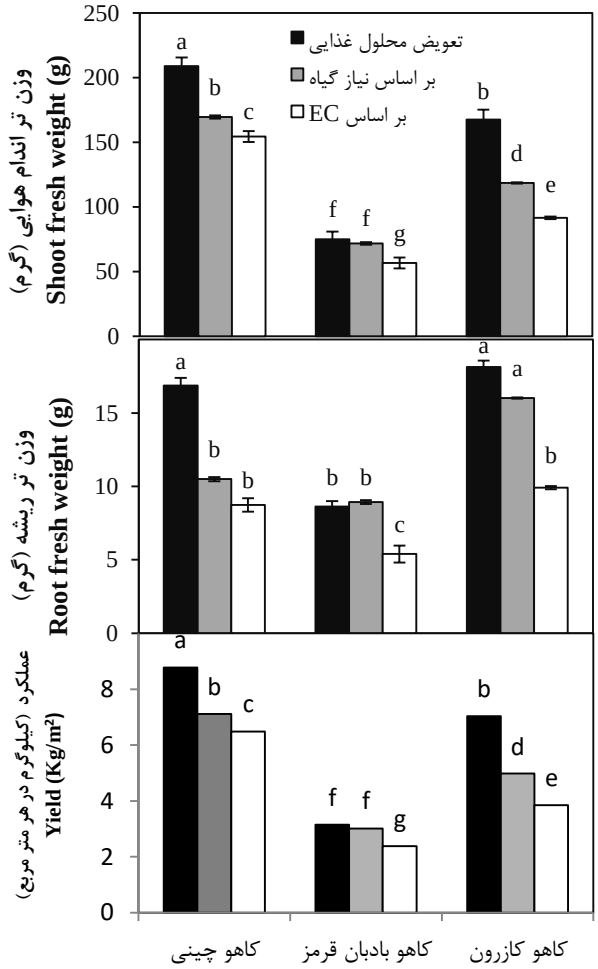

Fig. 1. The effect of nutrient solution replacement method on the shoot and root fresh weight and yield in three lettuce cultivars in floating culture system.

شکل ۱- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر وزن تر اندام هوایی و ریشه و عملکرد سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور.

اثر روش جایگزینی محلول غذایی و رقم بر میزان کلروفیل a، b و کل کاهو

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به مقدار کلروفیل a نشـان داد که اثرهای سـاده روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و برهمکنش بین روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم در سـطح احتمال یک درصـد معنی‌دار بود. به طوری‌که نتایج مقایسـه میانگین بین داده‌ها نشـان داد که بیشـترین مقدار کلروفیل a در روش تعویض کامل محلول غذایی و در رقم کاهو کازرون مشـاهده گردید، اما گیاهان رقم کاهو بادبان قرمز که بر اسـاس EC محلول غذایی تغذیه شـده بودند از کمترین مقدار کلروفیل a برخوردار بودند. نتایج همچنین حاکی از آن بود که تفاوت معنی‌داری از لحاظ مقدار کلروفیل a در بین گیاهان ارقام مختلف تغذیه شده بر اساس نیاز گیاه وجود نداشت (شکل ۲). همچنین روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر اساس نیاز گیاه و تعویض کامل محلول غذایی در ارقام کاهوی چینی و بادبان‌قرمز تفاوتی از لحاظ کلروفیل a برگ نداشتند.

طبق نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها اثرات ساده روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کلروفیل b برگ معنی‌دار شـد، در حالی که برهمکنش روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم در سـطح احتمال پنج درصد بر مقدار کلروفیل b برگ معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که مقدار کلروفیل b برگ در شرایط تغذیه بر اساس نیاز گیاه در مقایسه با روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی ۵ درصد کاهش یافت (شکل ۲). به هر حال، غلظت کلروفیل در برگ گیاهان تغذیه شده بر اساس نیاز گیاه و بر اساس تعویض کامل محلول غذایی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. نتایج مقایسه میانگین نشان

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

داد که مقدار کلروفیل b در گیاهان ارقام کاهو چینی و کازرون دارای بیشـــترین مقدار بود و تفاوت معنی‌داری بین این دو رقم مشاهده نشد. نتایج همچنین نشان داد که رقم کاهو بادبان‌قرمز دارای کمترین مقدار کلروفیل b در مقایسه با دو رقم دیگر بود (شکل ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مربوط به غلظت کلروفیل کل نشان داد که اثرات ساده روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و برهمکنش بین روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم در ســطح احتمال یک درصــد معنی‌دار بود. نتایج مقایســه میانگین بین تیمارها نشــان داد که بیشــترین مقدار کلروفیل کل در تیمار تعویض کامل محلول غذایی مشــاهده شــد که مربوط به رقم کازرون بود و کمترین مقدار کلروفیل کل در رقم بادبان‌قرمز تغذیه شــده بر اســاس EC محلول غذایی مشــاهده گردید. نتایج همچنین نشــان داد که در تغذیه گیاهان بر اســاس نیاز گیاه و تعویض کامل محلول غذایی میان ارقام کاهو چینی و بادبان‌قرمز تفاوت معنی‌داری از نظر میزان کلروفیل کل وجود نداشــت که روش نیاز گیاه می‌تواند به عنوان یک روش جایگزینی مناســب برای این ارقام کاهو از لحاظ مقدار کلروفیل مطرح گردد (شکل ۲).

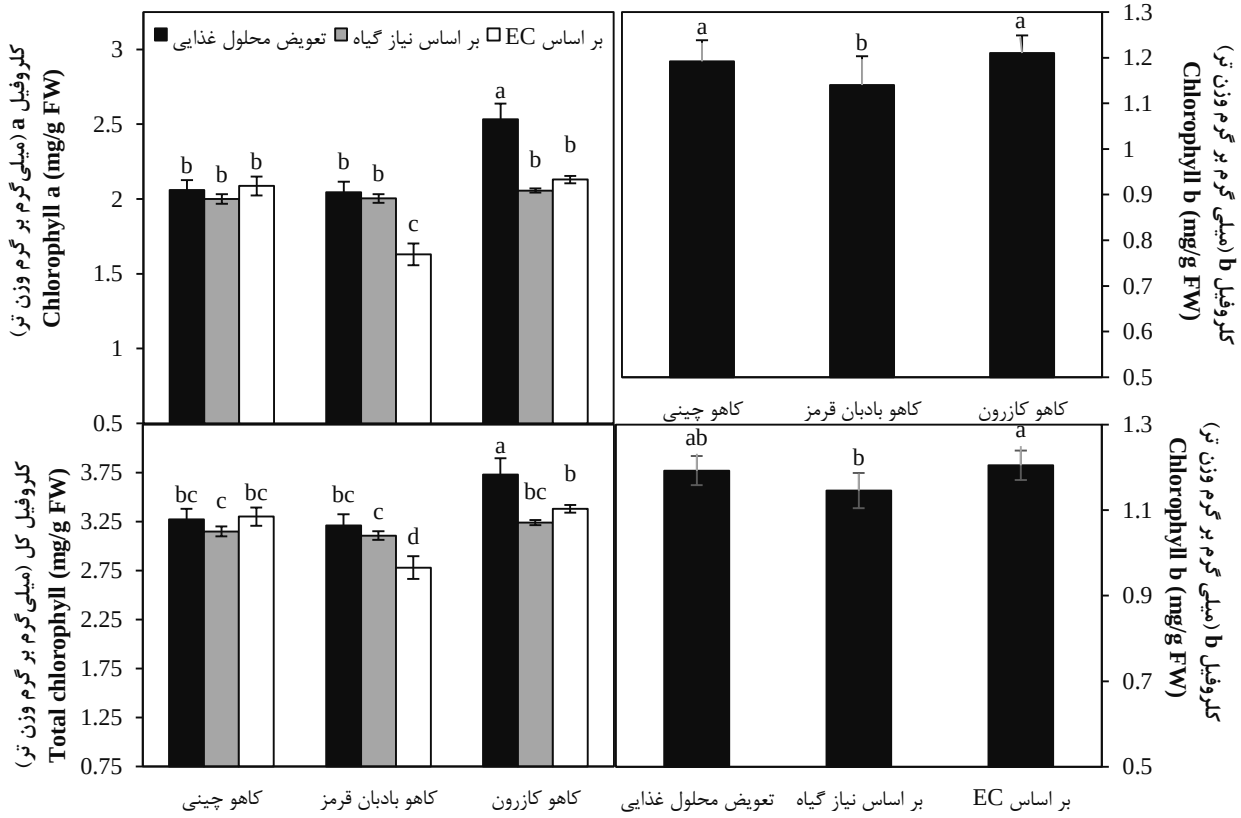

Fig. 2. The effect of nutrient solution replacement method and cultivar on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll concentrations of lettuce leaf in floating culture system.

شکل ۲- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم بر غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ کاهو در سیستم کشت شناور.

کلروفیل، مولکول آلی کوچک با یک یون منیزیم‌دار در مرکز آن، نور را جذب و به انرژی شــیمیایی تبدیل می‌کند (۱۱). کلروفیل a رنگ‌دانه ا صلی در مرکز واکنش بوده اما کلروفیل b نه‌تنها یک رنگ‌دانه کمکی ا ست بلکه به‌عنوان یک تنظیم‌کننده ســایر گیرنده‌های نوری عمل می‌کند (۳۹). حفظ مقدار کلروفیل در شــرایط مختلف به حفظ ظرفیت فتوســنتز و تولید ماده خشک کمک می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که مقدار کلروفیل با سلامت گیاه در ارتباط است (۱۸). نتایج پژوهش حاضر نشان

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

داد که مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a و کلروفیل کل در شرایط تعویض محلول غذایی از بیشترین مقدار و در شرایط تغذیه بر اساس EC از کمترین مقدار ممکن برخوردار بود که این نتایج با نتایج ورتمن روی گوجه‌فرنگی، فلفل و کلم در ارتباط با تغییر محلول غذایی بر اساس EC و کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی همخوانی دارد (۴۱). همچنین، گزارش شده است که مقدار کلروفیل برگ‌های فلفل در شرایط تغذیه با EC بالا نسبت به گیاهان تغذیه شده بر اساس محلول هوگلند استاندارد به‌طور قابل توجهی در طی دوره رشد کاهش پیدا کرد (۲۵). کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط EC بالا ممکن است به دلیل عدم تعادل یونی و درنهایت کاهش و یا آسیب به فسفوپروتئین‌ها و یا فسفریلاسیون پروتئین‌های برداشت کننده نور[۱] در فتوسیستم II باشد که سبب تخریب و یا کاهش مقدار کلروفیل می‌گردد (۱). گزارش شده است افزایش غلظت محلول غذایی سبب کاهش قابل توجهی در مقدار کلروفیل و فتوسنتز گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط هیدروپونیک گردید (۳۶). کاهش در مقدار کلروفیل در شرایط EC بالا ممکن است به دلیل آسیب به ساختار کلروپلاست و همچنین افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (۱۳). از آنجایی که عناصر آهن و نیتروژن نقش اساسی در ساختار کلروفیل دارند کاهش در مقدار کلروفیل برگ گیاه کاهو در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی ارتباط نزدیکی با کاهش این عناصر در این شرایط دارد. در این رابطه روستا و همکاران در یک بررسی روی ارقام کاهو نشان دادند که با کاهش مقدار روی، منگنز و آهن برگ مقدار کلروفیل نیز کاهش یافت (۳۳). گزارش شده است که بیشترین مقدار کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌هایی مشاهده شد که از محتوای نسبی آب بیشتری در شرایط تنش برخوردار هستند (۲۳).

اثر روش جایگزینی محلول غذایی و رقم بر نرخ فتو سنتز، حداکثر کارایی فتو شیمیایی فتو سیستم ۲ (F_v/F_m) و شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) کاهو

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به نرخ فتوسنتز نشان داد که اثرهای روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و برهمکنش بین آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، نرخ فتوسنتز ارقام کاهو چینی، کاهو بادبان‌قرمز و کاهو کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی به ترتیب حدود ۲۷/۸، ۶۰/۵ و ۳۵ درصد نسبت به روش تغذیه بر اساس تعویض کامل محلول غذایی کاهش یافت. نتایج همچنین حاکی از آن بود که بیشترین نرخ فتوسنتز از لحاظ رقم مربوط به گیاهان کاهو کازرون تیمار شده بر اساس تعویض کامل محلول غذایی بود و کم‌ترین نرخ فتوسنتز مربوط به رقم بادبان‌قرمز و تیمار جایگزینی محلول غذایی بر اساس EC بود. در رقم کاهوی بادبان‌قرمز تفاوت معنی‌داری بین نرخ فتوسنتز گیاهان تغذیه‌شده بر اساس نیاز گیاه و تعویض کامل محلول غذایی مشاهده نشد.

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌های شاخص F_v/F_m گیاه کاهو در سطح احتمال یک درصد زیر تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی، رقم و برهمکنش بین روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم قرار گرفت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها شاخص F_v/F_m کاهو بادبان‌قرمز و کاهو کازرون در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی به ترتیب حدود ۱۲ و ۱۰ در صد نسبت به گیاهانی که بر اساس تعویض محلول غذایی تغذیه شده بودند، کاهش یافت. به هر حال، شاخص F_v/F_m رقم کاهو چینی زیر تأثیر روش جایگزینی محلول غذایی قرار نگرفت (شکل ۳).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) شاخص PI برگ در سطح احتمال یک درصد زیر تأثیر اثرهای ساده روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم قرار گرفت؛ در حالی که برهمکنش بین روش‌های جایگزینی محلول غذایی و رقم در سطح احتمال ۵ در صد معنی‌دار گردید. بیشترین شاخص PI برگ در کاهو چینی تغذیه شده بر اساس EC و تعویض کامل محلول غذایی مشاهده گردید و کمترین شاخص PI برگ در کاهو بادبان‌قرمز که بر اساس EC محلول غذایی تغذیه شده بود، مشاهده شد. همچنین، نتایج نشان داد که در همه روش‌های جایگزینی محلول غذایی بیشترین شاخص PI مربوط به رقم کاهو چینی و کمترین شاخص PI مربوط به رقم کاهو بادبان‌قرمز بود (شکل ۳). در کاهوی رقم بادبان‌قرمز، شاخص PI در روش‌های مختلف جایگزینی محلول غذایی تفاوت معنی‌داری نداشت.

فتوسنتز یکی از فرایندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است که در نابسامانی‌های تغذیه‌ای کاهش می‌یابد. بارزترین واکنش‌های گیاهان به تنش، افت فتوسنتزی ناشی از اختلال در فعالیت فتوسیستم II می‌باشد. یکی از دلایل فیزیولوژیکی کاهش رشد،

۱- light-harvesting complex of photosystem II (LHC-II)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

ممکن است اختلال در سیستم فتوسنتز گیاه باشد (۳۶). بر اساس نتایج پژوهش حاضر شاخص F_v/F_m در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی و نیاز گیاه به‌طور معنی‌داری در رقم کاهوی کازرون کاهش پیدا کرد؛ در حالی که در ارقام دیگر این شاخص زیر تأثیر نوع محلول قرار نگرفت. کاهش در شاخص‌های کلروفیل فلورسانس در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه را می‌توان به کاهش تقریبی مقدار کلروفیل نسبت داد. بر اساس نتایج پژوهش‌های مختلف شاخص‌های کلروفیل فلورسانس گیاهان رز (۲۰) و پاپایا (۳۰) با افزایش غلظت محلول غذایی و در نهایت افزایش EC کاهش یافت که نتایج پژوهش حاضر مبنی بر افزایش EC محلول غذایی با این یافته‌ها همسو است. کاهش شاخص PI نیز به دلیل کاهش پتانسیل آب برگ و برهم خوردن تعادل کاتیونی و آنیونی بوده که سبب آسیب به کلروپلاست می‌شود (۳۰). طی بررسی روی گیاه فلفل در شرایط هیدروپونیک و روش‌های جایگزینی محلول غذایی مشخص شد که کاهش شاخص‌های کلروفیل فلورسانس در شرایط تغذیه بر اساس EC و نیاز گیاه به کاهش مقدار کلروفیل، کاهش جذب عناصر غذایی مانند آهن و منیزیم و در نهایت کاهش محتوای نسبی آب برگ مربوط است که با کاهش در محتوای نسبی آب برگ، کارایی غشا تغییر کرده و مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد و سبب افزایش رادیکال‌های آزاد و تخریب غشا و در نهایت تغییر شاخص‌های کلروفیل فلورسانس می شود (۵). تفاوت ارقام از لحاظ شاخص‌های کلروفیل فلورسانس را می‌توان به تفاوت در میزان جذب عناصر غذایی، فعالیت ریشه، وجود ترکیب‌های فنولی و تنظیم کننده‌های اسمزی نسبت داد که در این شرایط به نظر می‌رسد وجود آب بیشتر و تنظیم کننده‌های اسمزی سبب حفظ پتانسیل اسمزی بافت گیاه شده و در نهایت جذب آب و مواد غذایی بیشتر می شود که می‌تواند بر پایداری غشا تأثیر گذار باشد. در همین راستا، روستا و همکاران طی بررسی روی دو رقم کاهو در شرایط کمبود عناصر غذایی نشان دادند در رقم‌هایی که از مقدار ترکیب‌های فنولی، مقدار پرولین و قندهای محلول بیشتری برخوردار بودند در شرایط کمبود، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل کمتر دچار تغییر و کاهش شد (۳۳). همچنین طی بررسی روی گیاه برنج نشان داده شده است ارقامی که ثبات بیشتری در مقدار کلروفیل داشته باشند از شاخص‌های کلروفیل فلورسانس بیشتری نیز برخوردار هستند (۲۲).

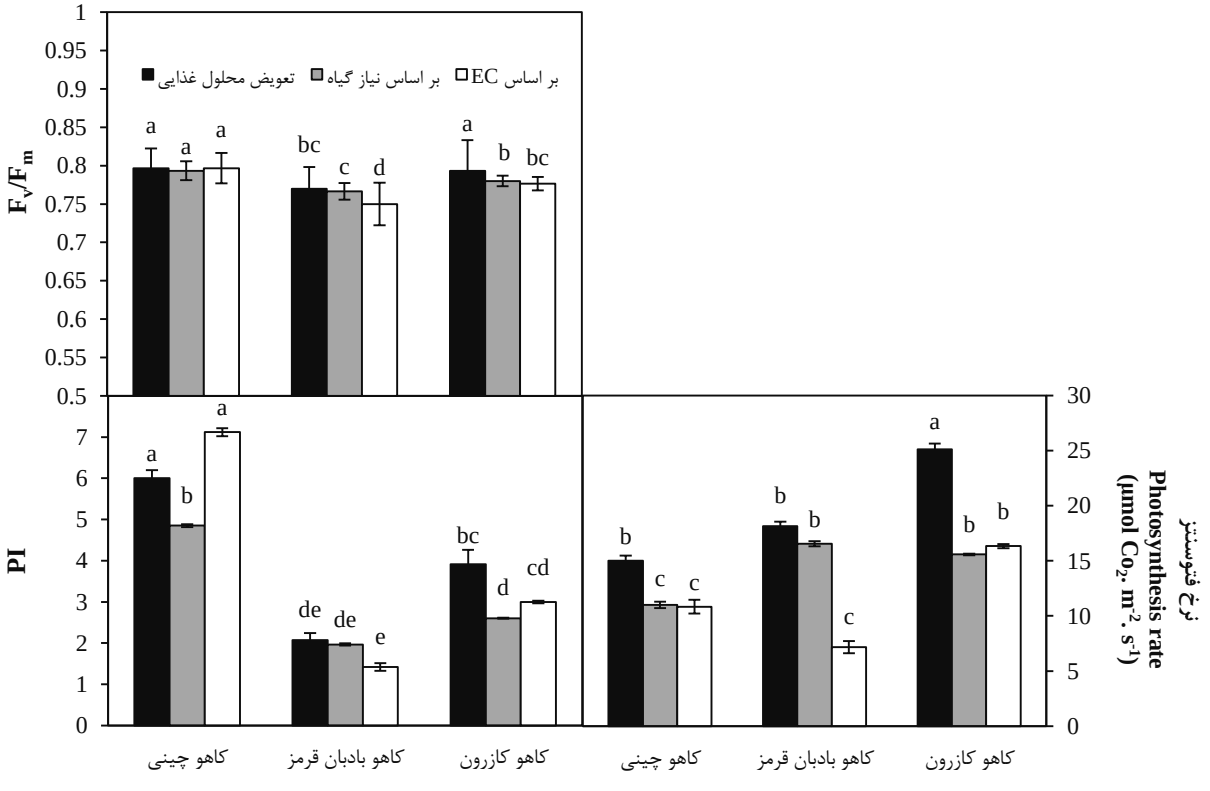

Fig. 3. The effect of nutrient solution replacement method on F_v/F_m, PI index and photosynthesis rate in three lettuce cultivars in floating culture system.

شکل ۳- تأثیر روش‌های جایگزینی محلول غذایی بر شاخص F_v/F_m، PI و نرخ فتوسنتز در سه رقم کاهو در سیستم کشت شناور.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

اثر روش جایگزینی محلول غذایی و رقم بر میزان ترکیب‌های فنولی کاهو

بر اســاس نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها اثرهای ســاده روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم در ســطح احتمال یک درصد بر میزان ترکیب‌های فنولی معنی‌دار شد؛ در حالی که برهمکنش بین روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم در سطح احتمال پنج درصــد بر میزان ترکیب‌های فنولی موجود در برگ معنی‌دار نشــد. نتایج نشــان داد که ترکیب‌های فنولی گیاه در شرایط جایگزینی بر اساس EC محلول غذایی ۱۲ درصد بیشتر از گیاهان تغذیه شده بر اساس تعویض کامل محلول غذایی بود (شکل ۴). ترکیب‌های فنولی در روش تغذیه بر اساس نیاز گیاه کمتر از روش تغذیه بر اساس EC محلول غذایی افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که رقم بادبان‌قرمز دارای بیشترین مقدار ترکیب‌های فنولی در برگ بود (شکل ۴).

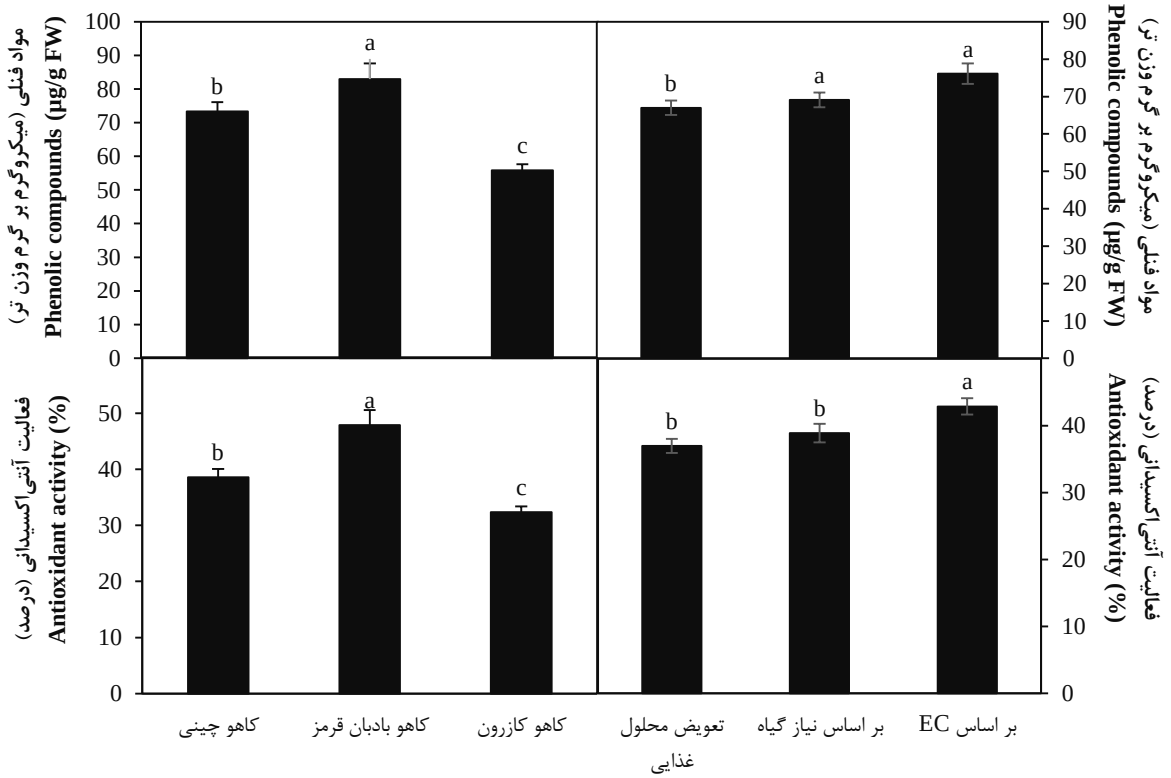

Fig. 4. The effect of nutrient solution replacement method and cultivar on phenolic compounds concentration and antioxidant activity in three lettuce cultivars in floating culture system.

شکل ۴- تأثیر روش جایگزینی محلول غذایی و رقم بر غلظت ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ کاهو در سیستم کشت شناور.

برهمکنش جایگزینی محلول غذایی و رقم بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهو

نتایج تجزیه واریانس بین تیمارها نشان داد که اثر ساده روش‌های جایگزین محلول غذایی در سطح احتمال ۵ درصد و رقم در ســطح احتمال یک درصــد بر میزان فعالیت آنتی‌اکســیدانی معنی‌دار شــد؛ در حالی که برهمکنش بین روش‌های جایگزین محلول غذایی و رقم در سطح احتمال پنج در صد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی از بیشترین مقدار برخوردار بود؛ در حالی که تفاوت معنی‌داری بین گیاهان تغذیه شده بر اساس نیاز گیاه و تعویض کامل محلول غذایی از نظر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود نداشت (شکل ۴). همچنین، نتایج نشان داد که رقم بادبان‌قرمز از بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی برخوردار بود (شکل ۴).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

وجود ترکیب‌هایی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا بخش مهمی از ارزش غذایی سبزی‌ها به حساب می‌آید. این ترکیب‌ها به گروهی بیان می‌گردد که از راه واکنش با رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن که برای یاخته‌های زنده خطرناک می‌باشند، خسارت‌های اکسایشی وارده به موجود زنده را به کمینه می‌رسانند. ویتامین‌ها، آنتوسیانین‌ها، گلوتاتیون و ترکیب‌های فنولی گروهی از آنتی‌اکسیدان‌ها هستند که در رژیم غذایی مشتمل بر مواد گیاهی، به‌وفور یافت می‌شوند (۱۴).

ترکیب‌های فنولی به فنول‌های ساده، اسیدهای فنولیک، مشتق‌های هیدروکسی‌سینامیک و فلاونوئیدها طبقه‌بندی می‌شوند. عملکرد بسیاری از ترکیبات فنولی به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدان قوی توسط پژوهشگران گزارش شده است. مقدار ترکیب‌های فنولی گیاه کاهو زیر تأثیر شرایط مختلف آب و هوایی قرار می‌گیرد و با افزایش سطح تنش مقدار آن‌ها افزایش می‌یابد (۳۷). در یک بررسی روی دو رقم کاهو تحت تأثیر رژیم‌های مختلف نوری مقدار ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانسیونی دچار تغییر شد و با افزایش شدت نور مقدار این ترکیب‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش یافت (۳۱). با توجه به نتایج پژوهش حاضر مقدار ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانتی برگ کاهو در شرایط تغذیه بر اساس EC محلول غذایی در مقایسه با دور روش دیگر افزایش یافت. افزایش ترکیب‌های فنولی می‌توانند به تغییرات در مقدار جذب عناصر غذایی و در نهایت کاهش جذب آب منجر شود که در نهایت سبب القا تنش به بافت گیاه می‌شود و گیاه برای مقابله با این شرایط و جلوگیری از تشکیل رادیکال‌های آزاد، موادی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا در خود تجمع می‌دهد که مانع از تولید رادیکال‌های آزاد در گیاه می‌شود. در یک بررسی روی یک گونه گیاهی[۱] با افزایش EC محلول غذایی مقدار ترکیب‌های فنولی و مقدار فلاونوئید کل افزایش یافت که نتایج پژوهش حاضر نیز در این راستا بود. نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که در بین ارقام مورد بررسی در این پژوهش رقم کاهوی بادبان قرمز از ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی برخوردار بود. تفاوت در ترکیب‌های فنولی در بین ارقام بستگی به تفاوت ژنتیکی آن‌ها دارد که می‌تواند در شرایط مختلف پاسخ‌های متفاوتی از خود نشان دهد. از این رو، بالا بودن ترکیب‌های فنولی در رقم کاهوی بادبان قرمز را می‌توان به فعالیت بالاتر آنزیم PAL نسبت داد. پژوهش‌های متعددی در ارتباط با تفاوت در مقدار ترکیب‌های فنولی در ارقام مختلف کاهو گزارش شده است و همگی بر تفاوت ژنتیکی و پاسخ ارقام به شرایط مختلف تاکید دارند (۱۰).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، رقم‌های مختلف کاهو پاسخ‌های متفاوتی از لحاظ شاخص‌های رویشی و فیزیولوژیکی به روش‌های جایگزینی محلول غذایی نشان دادند. بیشترین شاخص‌های رشدی مانند وزن تر ریشه و اندام هوایی در همه رقم‌های کاهو در شرایط تعویض کامل محلول غذایی مشاهده شد و شاخص‌های رشد در شرایط تغذیه بر اساس EC به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. این شاخص‌ها در روش تغذیه بر اساس نیاز گیاه بهتر از روش تغذیه بر اساس EC بود. نتایج نشان داد، اگرچه تعویض کامل محلول غذایی تاثیر مثبت بر تولید زیست توده ارقام کاهو داشت و سبب بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی آن‌ها نسبت به دو روش دیگر تعویض محلول غذایی شد، اما افزایش ویژگی آنتی‌اکسیدانی و کاهش مصرف آب و کود در دو روش دیگر تولید، لزوم مطالعه بیشتر را در مورد روش‌های اخیر ایجاب می‌کند.

۱- *Brassica campestris* L. ssp. Chinensis

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

Reference منابع

1. Ashraf, M. and P. J. C. Harris. 2013. Photosynthesis under stressful environments An overview. Photosynthetica, 51: 163–190.
2. Bekhradi, F. and F. Naghshin. 2007. Introduction of three non-recirculating hydroponic systems fo lettuce (Lactuca Sativa). The First National Congress of Hydroponic and Greenhouse Productions, 305-306. (In Persian)
3. Barzegar, R., S., Rizi and M. Khosravi. 2016. Effect of replacement interval of nutrients solution and concentration of replenishment solution on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under floating culture. J. Soil Plant Interact. 7 (1) :111-120. (In Persian)
4. Brechner, M. and A. J. Both. 2012. Hydroponic Lettuce Handbook. Cornell Controlled Environment Agriculture. 504-509.
5. Brecht, J. K., M. E. Saltveit, S. T. Talcott, K. R. Schneider, K. Felkey and J. A. Bartz. 2004. Fresh-cut vegetables and fruits. Hort. Rev. 30: 185–246.
6. Burns, I. G. 1992. Influence of plant nutrient concentration on growth rate: use of a nutrient interruption technique to determine critical concentrations of N, P and K in young plants. Plant Soil Planta. 142: 221-233.
7. DeglInnocenti, E., C. Hafsi, L. Guidi and F. Navari-Izzo. 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. J. Plant Physiol.166: 1968-1981.
8. Ding, X., Y. Jiang., H. Zhao., D. Guo., L. He and F. Liu. 2018. Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. Chinensis) in a hydroponic system. PLoS ONE 13(8): 1-15.
9. Domenica, S., R. Cristina, C. Marco, B. Riccardo, C. Cinzia and G. Francesco. 2010. Salinity of nutrient solution influences the shelf-life of fresh-cut lettuce grown in floating system. Postharvest Biol. Technol. 59: 132–137.
10. Gan, Y. Z. and A. Azrina. 2016. Antioxidant properties of selected varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) commercially available in Malaysia. Int. Food Res. J. 23: 2357 pages.
11. Goodsell, D. S. 2016. Green Energy in Atomic Evidence Springer. Int. Publ. 42: 83-88.
12. Gorbe, E. and A. Calatayud. 2010. Optimization of nutrition in soilless systems: a review. Advances in Botanical Research, 53:193-245.
13. Gunes, A., A. Inal and A. Alpaslan. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance praline and mineral composition. J. Environ. Biol. 52: 72-75.
14. Hassimotto, N. M. A., M. I. Genovese and F. M. Lajolo. 2009. Antioxidant capacity of Brazilian fruit, vegetables and commercially-frozen fruit pulps. J. Food Compo. Anal. 22: 394-396.
15. Haydon, M. J., Â. Roma. and W. Arshad. 2015. Nutrient homeostasis within the plant circadian network. Front Plant Sci. 6: 299 pages.
16. Huett, D. 1994. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K: Ca ratio in solution. Aust. J. Agr. Res. 45: 251-269.
17. Isfendiyaroglu, M. and E. Zeker. 2002.The relation between phenolic compound and seed dormancy in *pistachio* spp. Cahiers Options Mediterraneenes. 56: 232-277.
18. Jiang, Y. and B. Huang. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Sci. 41: 436-442.
19. Karimi afshar, A., M., Delshad, M. Babalar. 2007. An Investigation of the possibility of replacing solutions of variable EC with a solution of constant EC in hydroponics culture of greenhouse tomato. Iranian J. Hort. Sci. 40(2): 37-44. (In Persian)
20. Kim, H. J., Y. S. Cho, O. K. Kwon, M. H. Cho, J. B. Hwang, S. D. Bae. and W. T. Jeon. 2005. Effect of pH and EC of hydroponic solution on the growth of greenhouse rose. Asian J. Plant Sci. 4: 348-355.
21. Kratky, B. A. 2009. Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. Proceedings of the International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. Acta Hort. 843:65-72.
22. Kumagai, A. K. and M. L. Lypson. 2009. Beyond cultural competence: critical consciousness, social justice, and multicultural education. Acad. Medi. 84: 782-787.
23. Li, R. H., P. G. Guo, B. Michael, G. Stefania and C. Salvatore 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. Agric. Sci. China. 5: 751-757.
24. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1987. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b in leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 11: 591-592.
25. Lycoskoufis, I. H., D. Savvas and G. Mavrogianopoulos. 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. Sci. Hort. 106: 147-161.
26. Mami, Y., G.A., Peyvast, D., Bakhshi and H. Smizadeh. 2006. Effect of different substrates on tomato production in soilless culture. J. Hort. Sci., 22: 32-48. (In Persian)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

27. Michael, A. R., B. Joins and S. Peter. 2010. Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper. Sci. Hort. 145: 104-122.
28. Mohammadian, F., H.R., Roosta, M., Raghami, S.H., Mirdehghan and M. Hamidpour. 2014. Effect of three supplementary nutrient solution and pruning on growth, yield and water consumption of hot pepper in NFT system. 11th National Horticultural Science Congress of Iran, 1-6. (In Persian)
29. Nyirakabibi, I., R. Ogutu and J. N. Egilla. 2013. Tissue elemental content and growth response of lettuce to hydroponic solution concentration varied with cultivar. Available online at: http://archives.ashs.org/abstracts /2013/abstracts13 /abstract_id_14748.html.
30. Pecanha, A. L., J. R. daSilva, W. P. Rodrigues, T. M. Ferraz, A. T. Netto, R. S. N. Lima, T. S. Lopes, M. S. Ribeiro, B. C. D. S. de Deus, T. R. do Couto and B. Schaffer. 2017. Leaf gas exchange and growth of two papayas (*Carica papaya* L.) genotypes are affected by elevated electrical conductivity of the nutrient solution. Sci. Hort. 218: 230-239.
31. Pérez-López, U., C. Sgherri, J. Miranda-Apodaca, F. Micaelli, M. Lacuesta, A. Mena-Petite, M. F. Quartacci and A. Muñoz-Rueda. 2018. Concentration of phenolic compounds is increased in lettuce grown under high light intensity and elevated CO2. Plant Physiol. Biol. 123: 233-241.
32. Roosta, H.R. 2014. Plant nutrition in Hydroponics, Vali-e-Asr University Press, 577 pp. (In Persian)
33. Roosta, H. R., A. Estaji and F. Niknam, 2018. Effect of iron, zinc and manganese shortage-induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. Photosynthetica, 56: 606-615.
34. Samarakoon, P. A., P. A. Weerasinghe and A. P. Weerakkody. 2006. Effect of Electrical Conductivity (EC) of the Nutrient Solution on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Stationary Culture. Trop. Agric. Res. 18: 13-21.
35. Safaei, M., J., Panahandeh, S., Tabatabaei and A. Motallebiazar. 2014. Effect of nutrient solution on growth and some physiological characters of hydroponically grown lettuce. J. Soil Plant Interact., 5 (2) :145-153. (In Persian)
36. Schwarz, D., M. W. Van Iersel, K. T. Ingram and H. P. Klaring. 2001. Nutrient solution concentration effects on growth and photosynthesis of tomato grown hydroponically. In Plant Nutr. 87: 432-433.
37. Sgherri, C., U. Pérez-López, F. Micaelli, J. Miranda-Apodaca, A. Mena-Petite, A. Muñoz-Rueda and M. F. Quartacci. 2017. Elevated CO2 and salinity are responsible for phenolics-enrichment in two differently pigmented lettuces. Plant Physiol. Biochem. 115: 269-278.
38. Soundy, P., D. J. Cantliffe, G. J. Hochmuth and P. J. Stoffella. 2001. Nutrient requirements for lettuce transplants using a floatation irrigation system. I. Phosphorus. Hort. Sci. 36: 1066-1070.
39. Tanaka, R. and A. Tanaka. 2000. Chlorophyll b is not just an accessory pigment but a regulator of the photosynthetic antenna. Porphyrins. 9: 240-245.
40. Velez, J. H., J. Zapata. 2005. Fulvic acid applications for the management of diseases caused by *Mycosphaerella spp*. Infomusa. 14:15-17.
41. Wortman, S. E. 2015. Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. Sci. Hort. 194: 34-42.
42. Zhang, J., W. Jia, J. Yang. and A. M. Ismail. 2006. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. Field Crops Res. 97: 111–119.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 23 (1): 33-46 (2022)
Research article

The Effect of Different Methods of Replacing Supplemental Nutrient Solution in Floating Hydroponic System on Growth and Physiological Characteristics of Three Lettuce Cultivars

H. R. Roosta*, S. Bakhtiarizadeh, M. R. Raghami and M. Esmaeilizadeh[1]

The present experiment aimed at comparing three methods for replacing nutrient solution in a floating hydroponic system with three lettuce cultivars. The experiment was carried out as factorial based on a completely randomized design. The factors included the three replacement method of the nutrient solution (total replacement, replacement based on EC of nutrient solution, and replacement based on the plant demand) and cultivars (Chinese lettuce, Badbane Ghermez lettuce and Kazeroon lettuce). In all three cultivars of Chinese lettuce, Badbane Ghermez and Kazeroon, the highest root fresh weight, shoot fresh weight, and yield were observed in plants that were fed by total nutrient solution replacement method, while the vegetative traits of the plants which had been fed based on the EC of the nutrient solution had the lowest value of PI index in Chinese and Kazeroon lettuce cultivars tended to reduce 19.6 and 23.5% respectively, by nutrition based on the EC and the plant demand. The concentration of phenolic compounds and antioxidants activity of lettuce in nutrition conditions based on the EC of the nutrient solution compared to the other two methods increased and Badbane ghermez lettuce had more phenolic compounds and antioxidants activity compared to the other two cultivars. Therefore, although complete replacement of nutrient solution had a positive effect on the growth and physiological characteristics of lettuce cultivars, but increasing the antioxidant properties and reducing water and fertilizer consumption in the other two methods of production is also very important.

Keywords: Plant nutrition, Floating system, Lettuce, Soilless culture.

1. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Former M.Sc. Student, Vali-e-Asr University Rafsanjan, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

*Corresponding author, Email: (h-roosta@araku.ac.ir)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-10]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1401.23.1.2.0]