روابط خاک و گیاه / سال دوازدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۰ / صفحات ۷۵-۶۳
مقاله پژوهشی

اثر نوع و غلظت محلول غذایی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک تـــوت‌فرنگـــی در کشت هیدروپونیک

سیما افراشته[۱]، فاطمه ناظوری[۱*]، حمیدرضا روستا[۲] و الهه زمانی بهرام آبادی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۳۱)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نوع محلول غذایی (مورگان، دو برابر مورگان، نیم مورگان، هوگلند، نیم هوگلند) بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیـک و مورفولوژیک گیاه تـــوت‌فرنگـــی رقم پاروس در کشت هیدروپونیک (۷۵ درصد پرلیت + ۲۵ درصد کوکوپیت) آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط گلخانه انجام شد. نتایج نشان دادند که نوع محلول غذایی آثار متفاوتی بر ویژگی‌های رشـدی بوتـه و کیفیت میوه تـــوت‌فرنگـــی داشت، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین تعداد برگ در بوته (۷/۱۶ عدد)، ارتفاع اندام هوایی (۲۸/۶۲ سانتی‌متـر)، وزن تازه (۱۱/۷ گرم) و خشک (۲/۶۶ گرم) در بوته اندام هوایی مربوط به تیمار نیم هوگلند بود. ولی بیش‌ترین وزن تازه (۱۵/۱۵ گرم) و خشک (۱/۴ گرم) در بوته ریشه به‌ترتیب در تیمارهای دو برابر مورگان و مورگان مشاهده شدند. میوه گیاهان تیمار شده با محلول غذایی مورگـان بیش‌ترین میزان ویتامین ث (۸۳/۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره) و مواد جامد محلول (۵/۷ درصد) را دارا بودند، و تیمار نیم مورگـان بیش‌ترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون (۰/۱۷ درصد) را ایجاد کرد. محلول‌های غذایی بر قطر طوقه، pH، سفتی و رنگ میوه اثر معنـی‌دار نداشتند. بنابراین تیمار نیم هوگلند برای دوره رویشی پیشنهاد می‌شود زیرا از طرفی سبب بهبود شرایط رشدی می‌شود و علاوه بر این، آب و مواد غذایی کم‌تری استفاده می‌شود. اما با تیمارهای مورگان و نیم مورگان میوه‌هایی با کیفیت بیش‌تر به‌دست آمد. از آنجا که با محلـول غذایی مورگان، میزان ویتامین ث (به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی) و مواد جامد محلول (به‌عنوان عامل ایجاد طعم) بیش‌تری تولید شـدند، این محلول غذایی برای دوره زایشی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید کل، مواد جامد محلول، مورگان ، ویتامین ث، هوگلند

مقدمه

تـــوت‌فرنگـــی گیاهـــی علفـــی، چنـــد ســـاله بـــا ســـاقه‌هـــای رونـــده، متعلـــق بـــه تیـــره گـــل‌ســـرخیان (Rosaceae) و رقـــم‌هـــای موجـــود آن از جنـــس فراگاریـــا (*Fragaria*) و گونـــه آناناســـا (*Fragaria ananassa*) هســـتند. میـوه تـــوت‌فرنگـــی حـاوی مقادیـر زیـادی آنتـی‌اکسـیدان، فیبـر و ویتامین ث است. در سال‌های اخیـر تـــوت‌فرنگـــی از جملـه میـوه‌های پـر اهمیـت اقتصـادی و غذایـی در ایـران

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: f.nazoori@vru.ac.ir

مطرح بوده که برخی از ارقام آن در استان‌های مختلف کشور پرورش داده می‌شوند. بسته به شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر، رقم و ویژگی‌های زایشی و رویشی آن و نیز هدف تولید (تازه‌خوری یا فرآوری)، پرورش توت‌فرنگی در هر منطقه می‌تواند به‌صورت گلخانه‌ای و یا در هوای آزاد و مزرعه‌ای انجام گیرد (۳۰).

در گذشته روش عمده کشت توت‌فرنگی روش خاکی بود. امروزه به‌دلیل افزایش تقاضا، برای تولید محصول بیش‌تر و با کیفیت بیش‌تر و خارج از فصل، پرورش‌دهندگان به تولید توت‌فرنگی در گلخانه و کشت بدون خاک روی آورده‌اند. از مزایای این روش کشت می‌توان به امکان کنترل دقیق آبیاری، مواد غذایی و شرایط محیطی اشاره کرد (۱۷). ضمن اینکه کاشت گیاهان در یک محیط غیرخاکی امکان پرورش گیاهان بیش‌تری را در یک فضای محدود فراهم می‌کند، به‌طوری که در این روش میزان سطح مورد نیاز تا ۷۵ درصد کم‌تر از سیستم خاکی است (۱۱). در کشت‌های گلخانه‌ای به‌ویژه در رابطه با محیط‌های آب‌کشت، عناصر غذایی و ترکیب و نسبت آن‌ها نقش مهمی در رشد رویشی و زایشی گیاهان دارند (۲ و ۲۰). محیط کشت مناسب موجب رشد و افزایش گل و میوه می‌شوند؛ بنابراین باید در انتخاب یا ساخت محلول غذایی دقت کافی به عمل آید. هر گونه تغییر نامناسب در غلظت و نوع ترکیب غذایی مورد استفاده برای توت‌فرنگی می‌تواند میزان بازارپسندی آن را کاهش داده و زمینه فساد زودهنگام را فراهم آورد. فرمول‌های غذایی متعددی برای تولید این محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند و بیش‌تر تولیدکنندگان سعی در آزمایش تمامی فرمول‌های غذایی برای هر رقم دارند. در بیش‌تر مواقع از فرمول‌های غذایی پایه مانند هوگلند و مورگان با کمی تغییر در غلظت عناصر غذایی بر حسب دوره رشد استفاده می‌شود. پس باید برای هر رقم و برای هر مرحله رشدی، غلظت عناصر به صورتی در نظر گرفته شود تا عملکرد بیشینه در واحد سطح حاصل شود (۳۰).

گزارش شده است که توت‌فرنگی رقم پاروس به تغییر منبع عناصر در محلول غذایی واکنش نشان می دهد به‌گونه‌ای که تغییر در غلظت منابع تأمین‌کننده پتاسیم (پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات، دی‌پتاسیم فسفات) می‌تواند میزان مواد جامد محلول کل، ویتامین ث، تعداد میوه، میانگین وزن میوه و عملکرد نهایی میوه را تغییر دهد (۱۲). پژوهشگران با بررسی روی توت‌فرنگی رقم کاماروزا و با استفاده از غلظت‌های مختلف محلول غذایی هوگلند به این نتیجه رسیدند که بهبود صفاتی مانند تعداد گل و گل آذین و درصد تشکیل میوه بیش‌تر تحت اثر غلظت کامل محلول هوگلند حاصل می‌شود، درحالی که بهبود وزن، تعداد، و عملکرد میوه در تغذیه با محلول دو-سوم هوگلند حاصل شد. علاوه بر موارد ذکر شده، بهبود ویژگی‌های کیفی میوه مانند میزان ویتامین ث، سفتی بافت میوه و بیشینه مواد جامد محلول میوه در تغذیه با غلظت کامل محلول غذایی هوگلند به‌دست آمد (۲۲). توت‌فرنگی‌های پرورش داده شده در ماسه و تغذیه شده با محلول غذایی هوگلندی که مقدار برخی از عناصر در آن کاهش یافته بود، به کمبود عناصر پرمصرف و کم‌مصرف حساسیت نشان دادند. کمبود نیتروژن، کلسیم و فسفر موجب کاهش سطح برگ، وزن خشک و طول گیاه شد (۶). کمبود مواد غذایی باعث کاهش تعداد برچه، اندازه خوشه و تعداد گل در توت‌فرنگی شد و با افزودن نیتروژن به محیط کشت، تعداد گل افزایش یافت (۳۲). همچنین گزارش شده که تأمین میزان مطلوب مولیبدن (۳-۱ میلی‌گرم در لیتر) سبب بهبود کیفیت میوه توت‌فرنگی، افزایش مقدار ویتامین C و قند میوه شد (۲۵). در بررسی اثر سه غلظت مختلف از عناصر محلول غذایی بر توت‌فرنگی رقم پاروس، بیش‌ترین عملکرد میوه با استفاده از کم‌ترین غلظت عناصر در محلول غذایی به‌دست آمد. میزان کلروفیل، سطح و تعداد برگ با افزایش میزان پتاسیم، کلسیم و نیتروژن افزایش یافتند. بیش‌ترین میزان سفتی و عمر انبارمانی میوه‌ها وقتی حاصل شد که بیش‌ترین غلظت محلول غذایی در دوره رویشی و کم‌ترین غلظت در دوره زایشی مورد استفاده قرار گرفتند (۲۶).

باوجود گستردگی مناطق تحت کشت توت‌فرنگی در ایران

جدول ۱. مواد و غلظت‌های استفاده شده برای تهیه محلول‌های پایه هوگلند و مورگان.

Table 1. Materials and concentrations used to prepare Hoagland and Morgan base solutions.

	هوگلند Hoagland		مورگان Morgan	
Macronutrients درشت‌مغذی‌ها	Stock solution ($g\ L^{-1}$)	Final solution ($mg\ L^{-1}$)	Stock solution ($g\ L^{-1}$)	Final solution ($mg\ L^{-1}$)
KH_2PO_4	136	136	51.37	51.37
KNO_3	101	505	70.73	353.65
$Ca(NO_3).4H_2O$	236.15	1180.7	105.83	529.15
$MgSO_4.7H_2O$	246.48	492.9	83.33	166.66
Micronutrients ریزمغذی‌ها				
H_3BO_4	1.54	1.54	0.575	0.575
$MnCl_2.4H_2O$	0.396	0.396	1.666	1.666
$ZnSO_4.5H_2O$	0.5	0.5	0.142	0.142
$CuSO_4.5H_2O$	0.124	0.124	0.056	0.056
$H_2MoO_4.H_2O$	0.9	0.9	0.128	0.128
Iron آهن				
FeEDTA	10	10	3.33	3.333

و تنوع ارقام تولید شده، در زمینه تغذیه کودی آن‌ها اطلاعات زیادی وجود ندارد. چون شرایط نوری، رطوبت و دمای منطقه بر نیاز غذایی و در نتیجه غلظت محلول تأثیرگذار هستند غلظت ثابتی برای تولید یک محصول خاص وجود ندارد، و تعیین غلظت مناسب محلول غذایی برای هر رقم و هر منطقه ضروری است. با اینکه تولید توت‌فرنگی به روش هیدروپونیک در ایران انجام می‌شود اما عملکرد در واحد سطح آن کم‌تر از کشورهای توسعه‌یافته است. با عنایت به اینکه برخی عوامل مانند غلظت و نوع محلول غذایی از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار بر کمّیت و کیفیت محصول به شمار می‌آیند، از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی اثر دو نوع محلول غذایی با غلظت‌های مختلف بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک توت‌فرنگی رقم پاروس در سیستم هیدروپونیک و در زمان‌های مختلف کشت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌های غذایی بر ویژگی‌های رشد و مرفوفیزیولوژیک گیاه توت‌فرنگی رقم پاروس در کشت بستر (۷۵ درصد حجمی پرلیت + ۲۵ درصد حجمی کوکوپیت) هیدروپونیک، این آزمایش در ماه‌های دی تا اسفند سال ۱۳۹۷ در گلخانه کشاورزی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل دو بوته توت‌فرنگی بود. در پایان اسفندماه برای بررسی ویژگی‌های میوه، از هر بوته شش میوه کاملاً رسیده برداشت و مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا نشاهای توت‌فرنگی ریشه‌دار، در سینی کشت همراه با بستر تهیه و در هر گلدان (با ارتفاع ۲۲ و قطر دهانه ۲۵ سانتی‌متر) دو نشاء کشت شد. پس از استقرار گیاهان در بستر کشت (یک هفته)، تیمارهای محلول غذایی (مورگان، دو برابر مورگان، نیم مورگان، هوگلند، نیم هوگلند) به‌صورت روزی دوبار (هر بار ۲۰۰ میلی‌لیتر به هر گلدان) داده شد (۲۶). تهیه استوک محلول‌های پایه هوگلند و مورگان بر اساس جدول (۱) انجام شد (۲۳). از استوک‌های نیترات پتاسیم و نیترات کلسیم ۵ میلی‌لیتر، از استوک سولفات منیزیم ۲ میلی‌لیتر، و از استوک‌های پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات، استوک عناصر میکرو و استوک آهن ۱ میلی‌لیتر برداشته و با آب به حجم یک لیتر رسانده شد تا غلظت نهایی به‌دست آید (۲۳). برای تهیه محلول‌های دو برابر مورگان، نیم مورگان و نیم هوگلند همین غلظت‌ها دو برابر یا نیم شدند. از آنجا که محلول پایه مورگان نسبت به پایه هوگلند غلظت‌های کم‌تری از عناصر را دارد، محلول دو برابر مورگان آزمایش شد اما دو برابر هوگلند مورد آزمایش قرار نگرفت. پس از گذشت سه ماه از کشت، ویژگی‌های گیاهان مورد بررسی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های رشد رویشی: وزن تازه و خشک اندام هوایی و ریشه با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱، قطر طوقه با استفاده از کولیس و ارتفاع گیاهان با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شده و تعداد برگ‌ها شمرده شد.

رنگ میوه: شاخص‌های رنگ شامل درخشندگی (L^*)، قرمز-سبز (a^*) و آبی-زرد (b^*) با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Konica Minolta CR 400, Japan) اندازه‌گیری شدند. برای محاسبه شاخص کروما و زاویه هیو از فرمول‌های زیر استفاده شد (۳):

$$\text{Chroma} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [۱]$$

$$\text{hue} = \tan^{-1}\frac{b^*}{a^*} \quad [۲]$$

سفتی میوه: سفتی بافت میوه‌ها با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج (LU0805637, Taiwan) با پروب ۱۱ میلی‌متری اندازه‌گیری شده و بر حسب kgf/cm^2 بیان شد (۱۵).

واکنش (pH) و اسیدیته قابل تیتراسیون[1] (TA): برای عصاره‌گیری، ۱۰ گرم میوه در ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر له شده و از صافی عبور داده شد. pH عصاره با استفاده از دستگاه pHمتر (مدل Germany inolab720, WTW82362) سنجیده شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر عصاره، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳ قطره فنل فتالئین در یک ارلن ریخته و با سود ۰/۱ نرمال تیتر شدند تا رنگ صورتی ظاهر شود. مقدار سود مصرفی برحسب میلی‌لیتر یادداشت شد و سپس میزان اسید کل بر حسب مقدار اسید سیتریک (اسید غالب توت‌فرنگی) محاسبه و به شکل درصد بیان شد (۳۱):

اسید کل = [مصرفی سود × سود نرمالیته ×
(۶۴ سیتریک اسید) [میلی اکی والان اسید غالب
(حجم نمونه × ۱۰۰۰)/ [۳]

ویتامین ث: مقدار ۱۰ میلی‌لیتر عصاره، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد در یک ارلن ریخته و با محلولی حاوی ۱/۶ گرم در لیتر ید و ۱۶ گرم در لیتر یدور پتاسیم، تیتر شدند تا تغییر رنگ ظاهر شود. حجم ید و یدور پتاسیم مصرف شده یادداشت شده و میزان ویتامین ث توسط فرمول زیر بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه محاسبه شد (۳۰):

میلی‌گرم ویتامین ث در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه =
(۰/۸۸ × حجم ید و یدور پتاسیم) / ۲ × ۱۰۰ [۴]

مواد جامد محلول کل (Total soluble solids, TSS): این فاکتور به وسیله دستگاه قندسنج دیجیتال (مدل PAL-1 Atago, Japon) در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا دستگاه توسط آب مقطر واسنجی شده و سپس چند قطره از عصاره میوه روی منشور دستگاه ریخته و مقدار مواد جامد محلول بر حسب درصد مشخص شد (۳۱).

محاسبات آماری: تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

ویژگی‌های رویشی گیاه

نتایج نشان دادند که محلول‌های غذایی مختلف اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر میزان وزن تازه و خشک ریشه و اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی داشتند (جدول ۲). بیش‌ترین وزن تازه اندام هوایی در تیمار محلول غذایی نیم هوگلند مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کم‌ترین مقدار این صفت در تیمار دو برابر مورگان مشاهده شد ولی وزن تازه ریشه رفتاری برعکس حالت ذکر شده برای وزن تازه اندام‌های هوایی نشان داد و بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر وزن تازه ریشه به‌ترتیب در تیمارهای دو برابر مورگان و نیم هوگلند مشاهده شد (جدول ۳). در ارتباط با وزن خشک اندام هوایی، تیمار نیم هوگلند بیش‌ترین مقدار را دارا بوده و کم‌ترین وزن خشک در تیمار دو برابر مورگان مشاهده شد. ولی وزن خشک ریشه در تیمارهای نیم مورگان و مورگان کامل، بیش‌ترین مقدار را داشته و تیمار دو برابر مورگان کم‌ترین وزن خشک ریشه را دارا بود نیز در سطح احتمال ۵ درصد تحت

1. Titrable acidity

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر محلول‌های غذایی مختلف بر ویژگی‌های رشدی گیاه تـوت‌فرنگـی.

Table 2. Variance analysis of the effect of different nutrient solutions on growth characteristics of strawberry plants.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares						
		وزن تازه ریشه در بوته Root fresh weight per plant	وزن تازه اندام هوایی در بوته Shoot fresh weight per plant	وزن خشک ریشه در بوته Root dry weight per plant	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight per plant	تعداد برگ در بوته Leaf number	ارتفاع اندام هوایی Shoot height	قطر طوقه Crown diameter
تیمار Treatment	4	38.36*	86.68*	0.180*	1.190*	2.52*	34.59*	0.07ns
خطای آزمایشی Error	10	0.75	0.55	0.005	0.009	0.43	7.44	0.58
ضریب تغییرات Coefficient of variation	–	9.44	8.90	6.830	5.810	11.48	10.98	6.88

* و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و اثر غیرمعنی‌داری هستند.

* and ns mean significant effect at 5% probability level and non-significant effect, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر محلول‌های غذایی مختلف بر ویژگی‌های رشدی گیاه توت‌فرنگی.

Table 3. Mean comparisons of the effect of different nutrient solutions on the growth characteristics of strawberry plants.

محلول‌های غذایی Nutrient solutions	وزن تازه ریشه (گرم در بوته) Root fresh weight (g per plant)	وزن تازه اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot fresh weight (g per plant)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Root dry weight (g per plant)	وزن خشک اندام هوایی (گرم در بوته) Shoot dry weight (g per plant)	تعداد برگ در بوته Leaf number per plant	ارتفاع اندام هوایی (سانتی‌متر) Shoot height (cm)	قطر طوقه (سانتی‌متر) Crown diameter (cm)
مورگان Morgan	9.23b	6.7c	1.40a	1.33c	5.66b	21.45b	10.98a
دو برابر مورگان Double-Morgan	15.15a	4.7d	0.75c	0.99d	4.66b	21.92b	10.95a
نیم مورگان Half-Morgan	8.60bc	9.8b	1.25a	1.87b	5.83b	28.12a	11.36a
هوگلند Hoagland	7.14cd	8.5b	1.10b	1.69b	5.33b	24.04ab	11.08a
نیم هوگلند Half-Hoagland	5.85d	11.7a	1.06b	2.66a	7.16a	28.69a	11.10a

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم غیرمعنی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

In each column, means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

تـأثیر محلـول‌هـای غـذایی مختلـف قـرار گرفـت (جـدول ۲). بیش‌ترین تعداد برگ در تیمار نیم هوگلند مشاهده شد ولی بین سایر تیمارها اخـتلاف معنـی‌داری وجـود نداشـت (جـدول ۳). ارتفاع اندام هوایی در تیمارهـای نـیم مورگـان، هوگلنـد و نـیم هوگلند تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و دو تیمـار دیگـر (مورگان و دو برابر مورگان) کـم‌تـرین ارتفـاع انـدام هـوایی را نشـان دادنـد (جـدول ۲). قطـر طوقـه گیاهـان تحـت تـأثیر محلول‌های غذایی قرار نگرفت (جداول ۲ و ۳).

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر محلول‌های غذایی مختلف بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک میوه تـــوت‌فرنگـــی.

Table 4. Variance analysis of the effect of different nutrient solutions on morphophysiological characteristics of strawberry fruit.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares							
		سفتی Firmness	واکنش pH	اسید کل Total acid	مواد جامد محلول Soluble solids	ویتامین ث Vitamin C	زاویه هیو Hue angle	شاخص کروما Chroma indicant	شاخص درخشندگی Lightness indicant
تیمار Treatment	4	0.019^{ns}	0.010^{ns}	0.0220*	3.760*	915.12*	15.04^{ns}	0.005^{ns}	13.99^{ns}
خطای آزمایش Error	10	0.013	0.017	0.0006	0.296	167.19	17.15	0.003	16.52
ضریب تغییرات Coefficient of variation	–	8.460	3.710	6.0600	12.120	24.18	12.42	13.880	13.34

* و ns به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و اثر غیرمعنی‌داری هستند.

* and ns mean significant effect at 5% probability level and non-significant effect, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر محلول‌های غذایی مختلف بر ویژگی‌های میوه توت‌فرنگی.

Table 5. Mean comparisons of the effect of different nutrient solutions on strawberry fruit characteristics.

محلول‌های غذایی Nutrient solutions	سفتی (kgf/cm^2) Firmness (kgf/cm^2)	واکنش pH	اسید کل (٪) Total acid (%)	مواد جامد محلول (٪) Soluble solids (%)	ویتامین ث (mg/100ml) Vitamin C (mg/100ml)	زاویه هیو Hue angle	شاخص کروما Chroma indicant	شاخص درخشندگی Lightness indicant
مورگان Morgan	1.42a	3.56a	0.15a	5.70a	83.40a	30.45a	0.41a	30.58a
دو برابر مورگان Double-Morgan	1.21a	3.63a	0.10c	0.03c	51.03b	32.30a	0.47a	31.99a
نیم مورگان Half-Morgan	1.37a	3.52a	0.17a	4.33b	49.08b	35.27a	0.43a	29.66a
هوگلند Hoagland	1.39a	3.60a	0.11bc	3.86bc	37.93b	32.75a	0.36a	27.29a
نیم هوگلند Half-Hoagland	1.39a	3.48a	0.12bc	5.5a	45.85b	35.90a	0.43a	32.83a

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم غیرمعنی‌دار بودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

In each column, means with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

ویژگی‌های میوه

برخی ویژگی‌های میوه همچون سفتی، pH و رنگ تحت تـأثیر نوع محلول غذایی قرار نگرفتند، اما محلول‌های غذایی بر اسـید کل، میزان مواد جامد محلول و میزان ویتامین ث میوه در سـطح احتمال ۵ درصد مؤثر بودند (جدول‌هـای ۴ و ۵). بـیش‌تـرین و کم‌ترین درصد اسیدیته قابل تیتراسیون به‌ترتیب در گیاهان تیمار شده با محلـول‌هـای غـذایی نـیم مورگـان و دو برابـر مورگـان مشاهده شدند (جدول ۵). محلول غـذایی مورگـان بـیش‌تـرین مواد جامد محلول را ایجاد کردند و کم‌تـرین مقـدار آن نیـز در گیاهان تیمار شده با محلول غذایی دو برابر مورگان مشاهده شد

(جدول ۵). تیمار مورگان بیش‌ترین مقدار ویتامین ث را ایجاد کرد و کم‌ترین مقدار آن نیز در گیاهان تیمار شده با محلول غذایی هوگلند ایجاد شد (جدول ۵).

بحث

ویژگی‌های رشدی گیاه

نتایج نشان دادند که نوع محلول غذایی آثار متفاوتی بر ویژگی‌های رشدی گیاه و ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی داشت. میزان کامل و دو برابر محلول‌های غذایی سبب کاهش برخی از ویژگی‌های رشدی اندام هوایی شد. بنابراین تیمار نیم هوگلند برای دوره رویشی پیشنهاد می‌شود، زیرا از طرفی سبب بهبود ویژگی‌های رشدی می‌شود و علاوه بر این، آب و مواد غذایی کم‌تری استفاده می‌شوند، که از نظر اقتصادی مفید است. عملکرد و کیفیت محصولات گیاهی تحت تأثیر ژنتیک و عوامل محیطی هستند و از بین عوامل محیطی، تغذیه گیاه نقش اساسی را در این زمینه دارد (۱۳). افزایش مقدار برخی یون‌ها از طریق ایجاد تنش شوری در محیط ریشه، کاهش فتوسنتز و کاهش وزن گیاه را در پی دارد (۳۰). همچنین غلظت‌های زیاد و نامناسب محلول‌های غذایی می‌توانند از طریق ایجاد سمّیت، سبب کاهش رشد گیاهان شوند (۳۳).

در پژوهشی گزارش شده که با افزایش سطوح پتاسیم از عملکرد و وزن تازه و خشک اندام هوایی توت‌فرنگی رقم گاویتا کاسته شد و غلظت ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم، به‌عنوان غلظت مناسب برای افزایش عملکرد پیشنهاد شد (۱۴). برهم‌کنش عناصر و نسبت آنها به یکدیگر بیش از اثر هر عنصر به‌تنهایی بر رشد و عملکرد گیاه مؤثر هستند (۱ و ۲۷)، به‌گونه‌ای که افزایش عناصر غذایی در محیط کشت توت‌فرنگی تنها تا سطح معینی اثر مثبت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه و میوه دارد. گزارش شده که غلظت‌های بهینه فسفر، نیتروژن و پتاسیم می‌توانند سبب بهبود ویژگی‌های رشدی از جمله وزن تازه و خشک اندام هوایی گیاه توت‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک شوند (۱۹). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، ۶۸ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات، ۲۵۲/۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم و ۵۹۰/۳ میلی‌گرم در لیتر نیترات کلسیم به‌عنوان منابع فسفر، پتاسیم، کلسیم و نیتروژن برای دوره رویشی پیشنهاد می‌شوند که از محلول غذایی نیم‌هوگلند تأمین شدند. از آنجا که مولیبدن جذب نیترات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴)، غلظت ۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر مولیبدیک اسید غلظت بهینه بود. در پژوهش دیگری روی توت‌فرنگی، بیش‌ترین سطح برگ در غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم در سه رقم کاماروزا، سلوا و پاروس به‌دست آمد، درحالی که بیش‌ترین وزن تازه اندام هوایی در غلظت ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم برای رقم کاماروزا و پاروس و در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم برای رقم سلوا حاصل شد (۳۰). در پژوهشی روی کاهو، ساماراکن و همکاران (۲۴) گزارش کردند که افزایش غلظت محلول غذایی سبب افزایش سرعت جذب پتاسیم و نیتروژن (نیتراتی یا آمونیومی) و افزایش مقدار آن‌ها در بافت‌های برگ می‌شود. در مقابل، کلسیم، منیزیم و فسفر کم‌تر جذب شده و در درون محلول غذایی باقی می‌مانند که این امر منجر به عدم توازن عناصر در برگ می‌شود، زیرا مقدار برخی از عناصر در برگ افزایش می‌یابد درحالی که مقدار برخی دیگر در برگ تغییر زیادی نمی‌کند. این حالت زمانی رخ می‌دهد که همه عناصر به‌صورت یک‌دفعه و در ابتدای تهیه محلول غذایی در اختیار گیاه قرار گیرند و محلول غذایی زود تعویض شود. اما زمانی که عناصر به‌تدریج و با استفاده از محلولی با غلظت کم‌تر از غلظت محلول اصلی در اختیار گیاه قرار گیرند، تجمع نیتروژن در گیاه کم‌تر مشاهده خواهد شد (۲۸). در گوجه‌فرنگی گزارش شده است که تغییر میزان نیتروژن محلول‌های غذایی، بر ترکیب عناصر برگ تأثیر دارد و افزایش آمونیوم در محلول غذایی سبب کاهش کلسیم و پتاسیم برگ و افزایش نیتروژن و سدیم برگ می‌شود (۹).

در پژوهش حاضر، رشد رویشی اندام هوایی در غلظت کم‌تر و رشد رویشی ریشه در غلظت بیش‌تر محلول‌های غذایی

به‌دست آمد، که نشان می‌دهد که غلظت کم‌تر برای فتوسنتز و ساخت عوامل رشد مناسب‌تر بود. آهن روی، مس و منگنز در فتوسنتز و رشد گیاه نقش اساسی به عهده دارند (۲۷). از بین تیمارهای اعمال شده، ۵ میلی‌گرم در لیتر کلات آهن و ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر سولفات روی، ۰/۰۶۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات مس و ۰/۱۹۸ میلی‌گرم در لیتر کلرید منگنز که از محلول نیم‌هوگلند تأمین شدند، برای رسیدن به فتوسنتز بهینه پیشنهاد می‌شوند. منیزیم تنها جزء معدنی مولکول کلروفیل است و در ساخت کلروفیل و بنابراین میزان فتوسنتز و ساخت هیدروکربن‌ها در گیاهان نقش اساسی دارد (۲۳). میزان ۲۴۶/۴۵ میلی‌گرم در لیتر سولفات منیزیم موجود در محلول غذایی نیم‌هوگلند به‌عنوان بهترین غلظت از بین غلظت‌های استفاده شده در این پژوهش به‌دست آمد.

ویژگی‌های کیفی میوه

کلسیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر بر کیفیت میوه‌ها اثر دارد. در این پژوهش، اگرچه مقدار کلسیم محلول غذایی در تیمارهای مختلف متفاوت بود اما نوع و غلظت محلول‌های غذایی بر سفتی میوه اثر معنی‌دار نداشتند، زیرا مشخص شده که تغییر میزان کلسیم خاک یا محلول غذایی بر سفتی برخی میوه‌ها مانند سیب و کیوی اثر واضحی ندارد، و کلسیم وقتی تأثیرگذار است که به‌طور مستقیم بر میوه اثر داده شود، که در این صورت می‌تواند سفتی و عمر انبارمانی میوه را زیاد کند (۷، ۱۶). در پژوهش حاضر، محلول‌های غذایی بر رنگ میوه اثر معنی‌دار نداشتند. عدم اثر غلظت عناصر در محلول‌های غذایی بر رنگ و میزان آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی رقم تویونوکا نیز گزارش شده است، گرچه تغییر غلظت عناصر در محلول غذایی بر رنگ سایر ارقام مورد بررسی اثر داشت (۳۴). در این بررسی، گیاهان تیمار شده با محلول غذایی مورگان بیش‌ترین میزان ویتامین ث و مواد جامد محلول را دارا بودند و همچنین تیمار نیم مورگان بیش‌ترین درصد اسیدیته قابل تیتراسیون را ایجاد کرد. بهبود ویژگی‌های کیفی میوه در تیمارهای مورگان و نیم مورگان نشان می‌دهد که عناصری مانند بور، کلسیم، منیزیم، نیتروژن و پتاسیم که در دوره میوه‌دهی بیش‌تر توسط گیاهان مصرف می‌شوند، در این تیمارها غلظت مناسب‌تری داشتند. غلظت مناسب بور برای رشد لوله گرده و تشکیل میوه ضروری است. بسیاری از ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی متأثر از غلظت پتاسیم گیاه و پتاسیم میوه است. بهبود ویژگی‌های کیفی میوه که متأثر از غلظت پتاسیم محلول‌های غذایی است می‌تواند به‌سبب نقش پتاسیم در متابولیسم گیاه و فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها باشد. پتاسیم در کنار عناصر دیگر مانند نیتروژن و کلسیم مهم‌ترین نقش را در کیفیت میوه‌ها ایفا می‌کند (۱۸).

افزایش مقدار مواد جامد محلول با بهبود طعم میوه مرتبط است. گزارش شده که درصد مواد جامد محلول در توت‌فرنگی با افزایش نسبت نیتروژن افزایش می‌یابد زیرا بین غلظت قند و مقدار نیتروژن میوه‌ها ارتباط وجود دارد (۱۰). علاوه بر این، گفته می‌شود که با افزایش غلظت عناصر در محیط کشت و افزایش سطح شوری، به‌دلیل کاهش در جذب آب و غلیظ شدن کربوهیدرات موجود در میوه، مواد جامد محلول افزایش می‌یابد (۸). از آنجا که بیش‌ترین میزان ویتامین ث به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی، و بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول به‌عنوان عامل ایجاد طعم مطلوب مرتبط با محلول مورگان بودند، بر اساس نتایج پژوهش حاضر، ۰/۵۷۵ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک، ۵۱/۳۷ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات، ۳۵۳/۶۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات پتاسیم، ۵۲۹/۱۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات کلسیم و ۱۶۶/۶۶ میلی‌گرم در لیتر سولفات منیزیم به‌عنوان منابع بور، فسفر، پتاسیم، کلسیم، نیتروژن و منیزیم برای دوره زایشی پیشنهاد می‌شوند که از محلول غذایی مورگان تأمین شدند. در پژوهشی دیگر، کاهش غلظت عناصر غذایی پرمصرف در کشت هیدروپونیک، درصد مواد جامد محلول را در میوه توت‌فرنگی کاهش داد (۲۱). در توت‌فرنگی رقم کاماروزا بهبود صفاتی مانند تعداد گل و گل‌آذین و درصد تشکیل میوه بیش‌تر تحت تأثیر غلظت کامل محلول هوگلند ایجاد شد. ولی بهبود وزن، تعداد، و عملکرد

میوه در تغذیه با محلول دو سوم هوگلند ایجاد شد. علاوه بر موارد ذکر شده، بهبود ویژگی‌های کیفی میوه مانند میزان ویتامین ث، سفتی بافت میوه و بیشترین مواد جامد محلول میوه در تغذیه با غلظت کامل محلول غذایی هوگلند به‌دست آمد (۲۲). در پژوهشی دیگر روی کشت توت‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک با محلول غذایی مورگان، پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که ارقام کردستان و کوین الیزا به‌ترتیب بیش‌ترین شاخص طعم و اسیدیته قابل تیتراسیون و رقم آروماس بیش‌ترین ویتامین ث را داشتند. همچنین میوه رقم پاروس تیمار شده با محلول غذایی مورگان دارای بیش‌ترین مقادیر اسیدیته قابل تیتراسیون و بیش‌ترین مواد جامد محلول بود (۵). در بسیاری از محصولات، تغذیه با غلظت‌های زیاد از آهن، منگنز، روی و مس موجب بهبود ویژگی‌های میوه می‌شوند. در گوجه‌فرنگی، غلظت‌های معادل هوگلند از منگنز و روی نسبت به غلظت معادل نیم‌هوگلند موجب بیش‌ترین عملکرد میوه تازه و درصد ماده خشک میوه شدند (۲۹). بر اساس نتایج پژوهش حاضر، مقدار ۱/۶۶۶ میلی‌گرم در لیتر از کلرید منگنز، ۰/۱۴۲ میلی‌گرم در لیتر از سولفات روی، ۰/۰۵۶ میلی‌گرم در لیتر از سولفات مس و ۳/۳۳ میلی‌گرم در لیتر از کلات آهن به عنوان منابع منگنز، روی، مس و آهن که مربوط به محلول غذایی مورگان بودند، برای مرحله زایشی توت‌فرنگی رقم پاروس پیشنهاد می‌شوند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیش‌ترین تعداد برگ، ارتفاع اندام هوایی، وزن تازه و وزن خشک اندام هوایی در تیمار نیم هوگلند به‌دست آمدند، و میوه‌ها در تیمار با محلول غذایی مورگان بیش‌ترین میزان ویتامین ث و مواد جامد محلول را داشتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده و با توجه به این موضوع که نیازهای گیاه بسته به مرحله نموی آن می‌توانند تغییر کنند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نوع و غلظت محلول غذایی باید برای هر مرحله نموی گیاه بهینه شود. غلظت‌های نیمه محلول‌های غذایی مانند هوگلند برای مرحله رویشی کشت هیدروپونیک توت‌فرنگی رقم پاروس پیشنهاد می‌شوند زیرا از این طریق آب و مواد غذایی کم‌تری مصرف می‌شود. از طرفی، غلظت‌های کامل محلول‌های غذایی مانند مورگان برای دوره زایشی پیشنهاد می‌شوند، زیرا از این طریق میوه‌هایی با قند و ویتامین ث بیش‌تر حاصل می‌شوند.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi, M., Souri, M.K., 2019. Nutrient uptake, proline content and antioxidant enzymes activity of pepper (*Capsicum annuum* L.) under higher electrical conductivity of nutrient solution created by nitrate or chloride salts of potassium and calcium. *Acta Scientiarum Polonorum-HORTORUM CULTUS* 18(5): 113–122.
2. Ahmadi, M., 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.
3. Azarakhsh, N.A., Osman, H.M., Ghazali, C.P., Tan, N.M., Adzahan, N.M., 2014. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology* 88: 1–7.
4. Beigi Herchegani, S., Golchin, A., 2011. The effect of different levels of molybdenum in nutrient solution on yield and nitrate concentration in green cucumber in hydroponic culture medium. In: First National Congress of New Agricultural Sciences and Technologies, Zanjan.
5. Bozorgpour, F., Asadi-Gharneh, H.A., 2017. Evaluation of biochemical properties and mineral elements of five strawberry cultivars in soilless culture system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 8(2): 39–48.
6. Castro, G., Rodriguez-Delfin, A., Hoyos, M., 2005. Marginal mineral nutrition of strawberry (*Fragaria ananassa*) plants grown hydroponically. *Acta Horticulturae* 697: 321–327.
7. Conway, W.S., Sams, C.E., Hickey, K.D., 2002. Pre- and post-harvest calcium treatment of apple fruit and its effect on quality. *Acta Horticulture* 594: 413–419.
8. Counversa, G., Santamaria, P., Carofiglia, O., Gonnella, M., Parent, A., 2003. Response of cherry tomato to the electrical conductivity of the nutrient solution. *Acta Horticulturae* 609: 159–164.

9. Delshad, M., Babalar, M., Kashi, A.K., 2000. Effect of NH_4/NH_4+NO_3 ratio of nutrient solutions on greenhouse tomato cultivars in hydroponic systems. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 31(3): 613–6625.
10. Demi□ral, M., 2017. Effect of salt stress on concentration of nitrogen and phosphorus in root and leaf of strawberry plant. *Eurasian Journal of Soil Science* 6(4): 357–364.
11. Dilmaghani, M.R., Hemmaty, S., 2011. Effect of different substrates on nutrients content, yield and quality of strawberry cv. Selva in soilless culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 2(3):1–8.
12. Ebrahimi, R., Souri, M.K., Ebrahimi, F., 2011. Effect of different concentrations of nutrient solution potassium on the properties of strawberry fruit in the hydroponic system. In: The First Specialized Conference on Agricultural Development of The Northwestern Provinces of The Country. October 18–19, pp. 139–141.
13. El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Abd El-Samad, E.H., Riad, G.S., 2010. Growth, yield and fruit quality of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) as affected by potassium fertilization. *Journal of American Science* 6(12): 722–729.
14. Ganjehi, B., Golchin, A., 2012. The effect of different levels of N, K and Mg on yield and growth indices of strawberry in hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 2(4): 71–81.
15. Guerreiro, A.C., Gago, C.M.L., Faleiro, M.L., Miguel, M.G.C., Antunes, M.D.C., 2015. The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 110: 51–60.
16. Hopkirk, G., Harker, F.R., Harman, J.E., 1990. Calcium and the firmness of kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 18(4): 215–219.
17. Khan, F., 2018. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences* 2(2): 59–66.
18. Mardanluo, S., Souri, M.K. Ahmadi, M., 2018. Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition* 41(11): 1405–1413.
19. Mashayekhi, P., Tatari, M., 2017. Effect of different concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium on some quantitative and qualitative characteristics of strawberry cv. Selva in hydroponic culture. *Iranian Journal of Soil Research* 30(4): 391–402.
20. Mohammadipour, N., Souri, M.K., 2019. Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta Agrobotanica* 72(1), https://doi.org/10.5586/aa.1759.
21. Portela, A., Isabelita, P., Roberta, M.N., Rombaldi, C.V., 2012. Effect of nutrient concentration on growth, yield and quality of strawberries in hydroponic system. *Horticultura Brasileira* 30: 266–273.
22. Pourmombeini, S., Mortazavi, S.M.H., Moallemi, N., Mozaffari, A., Moezzi, A.A., 2016. Effects of planting date and nutrition solution concentration on yield and quality properties of strawberry fruit CV Camarosa grown in Ahvaz condition. *Plant Production* 4(4): 13–24.
23. Roosta, H.R., 2016. Plant Nutrition in Hydroponics. Vali-e-Asr University of Rafsanjan, 578 pp.
24. Samarakoon, U.C., Weerasinghe, P.A., 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.
25. Sharma, R.M., Yamdagni, R., 2000. Modern Strawberry Cultivation. First Edition, Kalyani Publishers, Ludhiana, New Delhi, Noida, Delhi, 172 pp.
26. Shirko, R., Nazarideljou, M.J., Mozafari, A.K., Ghaderi, N., 2018. Photosynthetic reaction, mineral uptake, and fruit quality of strawberry affected by different levels of macronutrients. *Plant Nutrition* 41: 1807–1820.
27. Souri, M.K. and Hatamian, M. (2019). Aminochelates in plant nutrition; a review. *Journal of Plant Nutrition* 42(1): 67–78.
28. Souri, M.K., Yaghoubi Sooraki, F., 2019. Benefits of organic fertilizers spray on growth quality of chili pepper seedlings under cool temperature. *Journal of of Plant Nutrition* 42(6): 650–656.
29. Tavasoli, A., Ghanbari, A., Ahmadian, A., 2010. Effect of manganese and zinc nutrition on fruit yield and nutrient concentrations in greenhouse tomatoes and in hydroponic cultivation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1: 57–63.
30. Tohidloo, G., Souri M.K., Eskandarpour, S., 2018. Growth and fruit biochemical characteristics of three strawberry genotypes under different potassium concentrations of nutrient solution. *Open Agriculture* 3: 356–362.
31. Turkmen, I., Eski, A., 2011. Brix degree and Sorbitol/xylitol level of authentic pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Food Chemistry* 5(1): 1–3.
32. Tworkoski, T.J., Benassi, T.E., Takeda, F., 2001. The effect of nitrogen on stolon and ramet growth in four genotypes of *Fragaria chiloensis* L. *Scientia Horticulturae* 88: 97–106.

33. van Delden, S.H., Nazarideljou, M.J., Marcelis, F.M., 2020. Nutrient solutions for *Arabidopsis thaliana*: a study on nutrient solution composition in hydroponics systems. *Plant Methods* 16(72): 1–14.
34. Yoshida, Y., Goto, T., Hirai, M., Masuda, M., 2002. Anthocyanin accumulation in strawberry fruits as affected by nitrogen nutrition. *Acta Horticulture* 567: 357–360.

Effect of Nutrient Solution Type and Concentration on Physiological and Morphological Characteristics of Strawberry in Hydroponic Culture

S. Afrashteh[1], F. Nazoori[1*], H.R. Roosta[2] and E. Zamani Bahramabadi[1]

(Received: 23 June 2021; Accepted: 22 August 2021)

Abstract

In order to investigate the effect of nutrient solution type and concentration on physiological and morphological characteristics of strawberry cultivar 'Parus' in hydroponic culture (75% volumetric perlite + 25% volumetric cocopeat), an experiment using a completely randomized design with three replications was conducted. The growth media included Full-Strength Morgan (FSM), Double Strength Morgan (DSM), Half-Strength Morgan (HSM), Full-Strength Hoagland (FSH), and Half-Strength Hoagland (HSH). The results showed that nutrient solution type had significant effects on plant growth characteristics and quality of strawberry fruit, so that the highest number of leaves (7.16 per plant), shoot height (28.62 cm), fresh weight (11.70 g per plant) and dry weight (2.66 g per plant) of the shoot were related to the HSH treatment. But, the highest fresh weight (15.15 g per plant) and dry weight (1.40 g per plant) of roots were obtained in DSM and FSM treatments, respectively. Fruits of plants treated with FSM nutrient solution had the highest amount of vitamin C (83.4 mg/100 ml of extract) and total soluble solids (5.7%), while HSM produced the highest titrable acidity (0.17%). Nutrient solutions had no significant effect on crown diameter, and pH, firmness and color of the fruits. Therefore, HSH treatment is recommended for vegetative phase because it improves the growing conditions with less water and nutrients used. With FSM and HSM treatments, fruits with higher quality were obtained. Also because MFS nutrient solution produced more vitamin C (as a powerful antioxidant) and soluble solids (as a flavoring agent), this nutrient solution is recommended for the reproductive growth phase.

Keywords: Total acid, Soluble solids, Morgan, Vitamin C, Hoagland.

Background and Objective: Strawberry is one of the most economically and nutritionally important fruits in the world, and some of its cultivars are grown in greenhouses or farms. In greenhouse crops, especially in hydroponic cultures, nutrient solutions have a significant impact on plant growth, development and quality (5). For each cultivar and for each growth stage, the optimal concentration of the nutrient solution must be determined to achieve maximum performance per unit area (2). In order to investigate the effect of nutrient solution type and concentration on physiological and morphological characteristics of strawberry cultivar 'Parus' in hydroponic culture, an experiment with a completely randomized design and three replications was performed.

1- Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
2- Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran
* Corresponding Author, Email: f.nazoori@vru.ac.ir

Methods: Strawberry seedlings were prepared and planted as 2 seedlings in each pot (75% volumetric perlite + 25% volumetric cocopeat). After establishment of the plants in the growth media (one week), nutrient solution treatments Full-Strength Morgan (FSM), Double-Strength Morgan (DSM), Half-Strength Morgan (HSM), Full-Strength Hoagland (FSH), and Half-Strength Hoagland (HSH) (4) were given twice a day (200 ml per pot) and the characteristics of the plants and fruits were examined after three months of cultivation. Fresh and dry weights of shoots and roots, crown diameter, and plant height were measured using scales with an accuracy of 0.001, caliper, and ruler, respectively; and the number of leaves was counted. Color indices of fruit including lightness (L*), red-green (a*) and blue-yellow (b*) were measured using a colorimeter. Chroma and hue angle were estimated by these indices. Fruit firmness was measured by a firmness meter with an 11 mm probe and expressed in kgf/cm^2. For extraction, 10 g of fruit was crushed in 90 ml of distilled water and passed through a strainer. The pH was measured by a pH-meter and titratable acidity was estimated through titration with phenolphthalein and expressed as percentage of citric acid. Vitamin C content was estimated through titration with a solution containing 1.6 g L^{-1} iodine and 16 g L^{-1} potassium iodine and expressed as mg in 100 ml of extract. Total soluble solids content was measured by a refractometer. Data were analyzed by SAS software for analysis of variance. The means were compared with Duncan test at 5% probability level.

Results: The type and concentration of nutrient solutions had different effects on plant growth characteristics and quality of strawberry fruit, so that the highest number of leaves (7.16 per plant), shoot height (28.62 cm), fresh weight (11.70 g per plant) and dry weight (2.66 g per plant) of the shoot were related to the HSH treatment. But, the highest fresh weight (15.15 g per plant) and dry weight (1.40 g per plant) of roots were obtained in DSM and FSM treatments, respectively. Fruits of plants treated with FSM nutrient solution had the highest amount of vitamin C (83.4 mg/100 ml of extract) and total soluble solids (5.7%), and HSM treatment produced the highest titratable acidity (0.17%). Nutrient solutions had no significant effect on crown diameter, and pH, firmness and color of fruit.

Discussion: Adjusting the concentration of nutrient solutions at different stages of plant development allows breeders to avoid excess water consumption in greenhouse. Herein, lower nutrient concentrations, namely HSH, provided higher vegetative growth of aerial parts. It is reported that high amounts of some ions lead to a decrease in photosynthesis and plant weight by creating salinity stress in the root environment. Also, high and inappropriate concentrations of nutrients can reduce plant growth by causing toxicity (3). Morgan solution at full strength resulted in the highest amount of vitamin C and total soluble solids, while HSM treatment produced the highest titratable acidity. Improvement of fruit quality characteristics in these treatments was probably due to the appropriate concentration of some elements such as boron, calcium, magnesium, phosphorus, nitrogen and potassium, which are mostly consumed by plants during the fruiting period. Usually, with increasing the concentration of elements in the culture medium, the content of soluble solids and concentration of carbohydrates in the fruit increase due to the reduction in water uptake (1). Based on the results, HSH and FSM solutions are recommended for the vegetative and generative phases, respectively.

References:

1. Counversa, G., Santamaria, P., Carofiglia, O., Gonnella, M., Parent, A., 2003. Response of cherry tomato to the electrical conductivity of the nutrient solution. *Acta Horticulturae* 609: 159–164.
2. Khan, F., 2018. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences* 2(2): 59–66
3. Tohidloo, G., Souri M.K., Eskandarpour, S., 2018. Growth and fruit biochemical characteristics of three strawberry genotypes under different potassium concentrations of nutrient solution. *Open Agriculture* 3: 356–362.
4. Roosta, H.R., 2016. Plant Nutrition in Hydroponics. Vali-e-Asr University of Rafsanjan, 578 pp.
5. Tavasoli, A., Ghanbari, A., Ahmadian, A., 2010. Effect of manganese and zinc nutrition on fruit yield and nutrient concentrations in greenhouse tomatoes and in hydroponic cultivation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 1: 57–63.