نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۹۹ تا ۱۱۱

اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر برخی خواص کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون در شرایط کشت بدون خاک

فرزاد خلیلی گورانی[۱] و حمید حسن پور[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۲)

چکیده

یکی از دلایل پایین بودن کمیت و کیفیت میوه‌ی توت‌فرنگی، عدم تعادل عناصر غذایی در محلول غذایی یا به عبارت دیگر تغذیه نامطلوب گیاه می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم (۲:۱، ۴:۱، ۶:۱ و ۸:۱) (به‌ترتیب تیمارهای T1، T2، T3 و T4) بر برخی صفات کمی و کیفی گیاه توت‌فرنگی رقم آلبیون در شرایط بدون خاک انجام گرفت. نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری بر عملکرد، آسکوربیک اسید و درصد مواد جامد محلول میوه نداشتند. با این وجود بالاترین میزان عملکرد مربوط به نسبت ۴:۱ بود. صفات کیفی از جمله آنتوسیانین کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل، فلاونوئید کل، کلروفیل کل و درصد کلسیم، منیزیم و پتاسیم برگ و آنزیم‌های آنتی اکسیدانی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند. بالاترین محتوی فنل کل (۹۲۵ میلی‌گرم اسید گالیگ بر ۱۰۰ گرم وزن تر)، فلاونوئید کل (۱۶۳ میلی‌گرم کاتچین بر ۱۰۰ گرم وزن تر) در میوه‌های حاصل از ۴:۱ شاهده شد، درحالی‌که میوه‌های حاصل از نسبت۸:۱ بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸۹ درصد) را نشان دادند. بالاترین فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز در تیمارهای T3 و T4 (به‌ترتیب ۲/۸۸ و ۲/۷۸ واحد بر گرم وزن تر)، آسکوربات پراکسیداز در تیمار T4 (۲/۱۱ واحد بر گرم وزن تر) و کاتالاز در تیمار T4 (۲/۲۳ واحد بر گرم وزن تر) مشاهد شد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که در میان تیمارهای استفاده شده نسبت ۴:۱ پتاسیم به منیزیم برای محلول عذایی توت فرنگی مطلوب بوده و همچنین به‌دلیل پایین بودن میزان عناصر غذایی در این نسبت شوری کمتری در محیط کشت اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، کلروفیل، مواد جامد محلول

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ha.hassanpour@urmia.ac.ir

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria×ananassa* Dutch. گیاهی علفی، نهان‌دانه و از خانواده Rosaceae می‌باشد. این محصول باغبانی منبع وسیعی از انواع ترکیبات غذایی از جمله قندها، ویتامین‌ها و مواد معدنی و همچنین ترکیبات فعال زیستی از جمله آسکوربیک اسید، کاروتنوئیدها و ترکیبات فنولیک می‌باشد که اکثر آنها آنتی‌اکسیدان طبیعی بوده و در سلامتی انسان نقش مهمی را ایفا می‌کنند (۱۶). رقم آلبیون یک رقم روز خنثی است و در تمام طول فصل رشد به‌صورت مداوم گلدهی دارد و به‌صورت میانگین هر شش هفته یکبار امکان برداشت میوه‌های آن وجود دارد، عامل محدودکننده رشد آن دمای بالا (بیشتر از ۲۶ درجه سانتی‌گراد) و دمای پایین (زیر ۱۴ درجه سانتی‌گراد) است (۷). با وجود این که در گذشته روش اصلی کشت توت‌فرنگی روش کشت خاکی بود، ولی امروزه به‌دلیل افزایش تقاضا برای تولید محصول بیشتر و با کیفیت بالاتر و خارج از فصل، پرورش‌دهندگان به سمت تولید توت‌فرنگی در گلخانه و کشت بدون خاک یا هیدروپونیک روی آورده‌اند (۱۵). در این سیستم کشت، عناصر غذایی تأثیر بسزایی در رشد، نمو و کیفیت گیاهان دارند و هر عنصر اثر خود را به سرعت نمایان می‌کند. بنابراین باید در انتخاب یا تهیه محلول غذایی دقت کافی مبذول شود (۲۷). کشت هیدروپونیک امکان کنترل تغذیه گیاه را از طریق تنظیم غلظت محلول غذایی، برای پرورش‌دهندگان فراهم می‌کند (۴).

پتاسیم فراوان ترین کاتیون دو ظرفیتی موجود در سیتوزول سلول‌های گیاهی است و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش اساسی دارد (۱۶). این ماده در توازن pH، کنترل پتانسیل الکتریکی غشاء، تنظیم فشار اسمزی سلول و حرکات سلولی نقش دارد. همچنین در فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، متابولیسم سلولی و فتوسنتز نقش دارد. بنابراین رشد گیاه به مقادیر زیادی به یون‌های K^+ نیاز دارد (۲۵). منیزیم (Mg) نیز یک ماده‌ی مغذی اساسی برای رشد و نمو گیاهان است. حدود ۷۵٪ از منیزیم برگ در سنتز پروتئین و ۲۵-۲۰٪ از کل منیزیم در رنگدانه های کلروفیل است و به‌طور عمده به عنوان یک کوفاکتور در فعالیت یک سری از آنزیم‌های درگیر در مرحله‌ی تثبیت کربن فتوسنتز نقش دارد (۱۳). یکی از دلایل کاهش سطح عملکرد، کمبود یا عدم تعادل بین عناصر غذایی است. تقابل بین عناصر غذایی زمانی رخ می‌دهد که یک عنصر بر جذب، توزیع و نقش عناصر غذایی دیگر تأثیرگذار باشد. تقابل بین عناصر غذایی در گیاهان از دو نوع آنتاگونیستی و سینرژیکی است که روی بهره‌وری استفاده از آن‌ها تأثیر می‌گذارد (۲۹).

در مطالعه‌ی فرزانه و همکاران (۹) روی تأثیر نسبت‌های مختلف نیتروژن و پتاسیم بر خواص گیاه توت‌فرنگی مشخص شد که نسبت‌های مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری روی عملکرد گیاه نداشتند. همچنین در مطالعه‌ای که گنجی و گلچین (۱۱) روی گیاه توت‌فرنگی رقم گاویتا انجام دادند مشخص شد که سطوح مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر خواص کمی داشتند و با افزایش مقدار پتاسیم، خواص کمی میوه کاهش یافت. در بررسی تأثیر سطوح مختلف پتاسیم (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام) روی خواص کیفی گیاه توت‌فرنگی مشخص شد که نسبت‌های مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر درصد TSS میوه نداشت. ولی بین تیمارهای مختلف تفاوت وجود داشت به‌طوری‌که بالاترین میزان TSS و آسکوربیک اسید از تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم به‌دست آمد (۷). در مطالعه‌ای که پریسیادو رانگل و همکاران (۲۸) روی توت‌فرنگی انجام دادند مشخص شد که سطوح مختلف پتاسیم (۵، ۷، ۹ و ۱۱ مول بر لیتر) تأثیر معنی‌داری روی میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه داشتند. به‌طوری‌که بالاترین میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب از سطوح ۷ و ۹ مول در لیتر پتاسیم به‌دست آمدند. نتایج مطالعات قالیچه و هکاران (۱۰) روی تأثیر پتاسیم بر محتوای فنل کل و قدرت مهار رادیکال‌های آزاد در انجیر نشان داد که پتاسیم باعث افزایش معنی‌داری در فنل کل و مهار رادیکال آزاد DPPH شد. جذب منیزیم توسط گیاه به شدت تحت تأثیر فراهمی سایر کاتیون ها از جمله آمونیوم،

سدیم، کلسیم و پتاسیم قرار می‌گیرد که در میان آن‌ها پتاسیم به بیشترین میزان جذب می‌شود و برای تولید میوه با کیفیت بالا ضروری است (۸). غلظت بالای پتاسیم در ریزوسفر ریشه‌ی گیاه می‌تواند انتقال دهنده‌های منیزیم را بلوکه کند (۳۳). جذب عناصری از قبیل پتاسیم، کلسیم و منیزیم فقط به غلظت آن‌ها در خاک بستگی ندارد بلکه به نسبت آن‌ها با سایر عناصر نیز بستگی دارد. بنابراین استفاده بیش از حد از یک عنصر ممکن است باعث ظهور علایم کمبود عناصر دیگر در گیاه شود که در این میان پتاسیم، کلسیم و منیزیم در طی جذب رقابت بسیار شدیدی با هم دارند (۲۴). بنابراین هدف از انجام این مطالعه ارزیابی عکس‌العمل رقم آلبیون گیاه توت‌فرنگی به نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم در محلول غذایی می‌باشد.

مواد و روش ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه انجام گرفت. شرایط دمایی داخل گلخانه در طول روز ۲۴ و در طول شب ۱۸ درجه سیلسیوس تنظیم شد و رطوبت نسبی داخل گلخانه ۶۵-۴۰ درصد و شدت نور نیز در حدود ۳۰۰۰-۲۵۰۰ لوکس بود. نشاءهای توت‌فرنگی رقم آلبیون تهیه شده از مجتمع گلخانه ای صدیق نیا، پس از رفع نیاز سرمایی در داخل سردخانه‌ای با دمای ۴-۳ درجه سیلیسوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد به مدت ۲۴۰ ساعت و هرس برگ‌های پیر، در گلدان‌های حاوی ۵۰ درصد پرلیت و ۵۰ درصد پیت‌ماس کشت شدند. از محلول غذایی یامازاکی (۳۹) جهت تغذیه و تهیه تیمارها استفاده شد. چهار نوع محلول غذایی که نسبت پتاسیم به منیزیم آن‌ها متفاوت بود (T1 ۲:۱، T2 ۴:۱ T3 ۶:۱، T4: ۸:۱)، به‌عنوان تیمار انتخاب شدند. در مرحله میوه‌دهی، میوه‌هایی که بیش از ۷۰ درصد رنگ گرفته بودند برداشت و جهت ارزیابی صفات مورد مطالعه، استفاده شدند. عملکرد، آسکوربیک اسید، مواد جامد محلول، کلروفیل کل، فنل کل، فلانوئید کل، آنتوسیانین کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و عناصر کلسیم، پتاسیم و منیزیم برگ از صفات مورد مطالعه بودند.

عملکرد

جهت ارزیابی عملکرد، در یک بازه‌ی زمانی ۳۰ روزه، وزن کل میوه‌های برداشت شده از هر بوته به‌عنوان عملکرد یک ماهه‌ی آن بوته ثبت شد.

محتوی آسکوربیک اسید و مواد جامد محلول (TSS)

محتوی آسکوربیک اسید عصاره میوه بر اساس کاهش رنگ ۶، ۲- دی کلروفنل ایندوفنل (DCPIP) توسط آسکوربیک اسید اندازه‌گیری شد (۳). در این روش مقدار یک گرم از بافت گوشت و پوست میوه با ۳ میلی‌لیتر متافسفریک اسید ۱ درصد مخلوط شد. پس از گذشت نیم ساعت، مخلوط بالا در دمای ۴ درجه سیلسیوس و ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول رویی ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و به آن مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر DCPIP اضافه شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و محتوی آسکوربیک اسید بر اساس میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر بیان شد. برای اندازه‌گیری TSS نیز از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده شد.

کلروفیل

جهت اندازه‌گیری محتوی کلروفیل برگ، مقدار ۰/۱ گرم از برگ تازه را در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و به خوبی له شد. ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به هر نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. سپس به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) مقدار جذب قرائت شد و محتوی کلروفیل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد (۲).

$$\text{Chlorophyll a} = (11.75 * A662) - (2.35 * 645)$$
$$\text{Chlorophyll a} = (11.75 * A662) - (2.35 * 645)$$
$$\text{Chlorophyll T} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

محتوی فنل کل

برای اندازه‌گیری محتوی فنل کل، به ۳۰ میکرولیتر از عصاره، ۱۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین‌سیوکالتو ۱۰ درصد و ۱۸۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت ۶ دقیقه ۹۶۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه شد و حجم نهایی به ۱۲۰۰ میکرولیتر رسانده شد (۱۴). ویال‌ها به مدت ۱/۵ الی ۲ ساعت در محل تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) قرائت شد. در نهایت محتوی فنل کل بر حسب میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم معادل گالیگ اسید بیان شد (۶).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش دی پی پی اچ (DPPH) استفاده شد. برای اندازه‌گیری توانایی عصاره‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آماده شده را با ۱۹۰۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و سپس نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شده و بر اساس معادله زیر درصد بازدارندگی محاسبه شد (۲۱).

درصد مهار رادیکال DPPH=$(A_{Blank}- A_{Sample} / A_{Blank}) \times 100$

فلاونوئید کل

برای ارزیابی فلاونوئید کل از روش شین و همکاران (۳۴) با کمی تغییر استفاده شد. ابتدا ۵۰۰ میکرولیتر عصاره تهیه شده را با ۱۵۰ میکرولیتر نیتریت سدیم ۵ درصد مخلوط کرده و بعد از ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به آن اضافه شد و بعد از طی ۵ دقیقه، ۱ میلی‌لیتر سود ۱ مولار اضافه شد و در نهایت حجم محلول به ۵ میلی‌لیتر رسانده شد و توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت شد. محتوی فلاونوئید کل بر حسب میلی‌گرم کاتچین بر ۱۰۰ گرم وزن‌تر بیان شد.

آنتوسیانین کل

برای سنجش آنتوسیانین کل از روش اختلاف جذب در pH های مختلف استفاده شد. از دو بافر کلرید پتاسیم ۰/۰۲۵ میلی مولار با pH=۱ و بافر استات سدیم ۰/۴ میلی مولار با pH=۵/۴ استفاده شد. سپس جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر با استفاده از هر دو بافر قرائت شد. و در نهایت میزان آنتوسیانین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر معادل سیانیدین تری گلوکوزاید محاسبه شد (۳۷).

استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری عناصر برگ

برای تهیه عصاره ۰/۳ گرم از نمونه خشک برگ را در هاون پودر کرده و در بوته چینی ریخته و جهت حذف ترکیبات آلی در کوره‌ی با دمای ۵۵۰ درجه سیلسیوس به مدت ۵ ساعت برای تبدیل شدن به خاکستر سفید قرار داده شد. خاکستر حاصل با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ مولار هضم و به‌وسیله کاغذ سافی فیلتر شده و به فالکون ۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد. در ادامه با کمک آب مقطر، محتوای فالکون به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محتوی پتاسیم برگ به وسیله‌ی دستگاه شعله سنج یا Flame photometer مدل ۴۰۵ اندازه‌گیری شد. با مکش عصاره به داخل دستگاه میزان پتاسیم آن توسط دستگاه نشان داده شد (۲۰). محتوی کلسیم و منیزیم برگ به روش تیتراسیون با EDTA ۰/۰۱ مولار اندازه‌گیری شد. ابتدا عصاره‌ی از قبل تهیه شده را به بالن ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال و ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۳ میلی‌لیتر بافر آمونیاکی و مقداری معرف EBT به آن اضافه شد تا محلول صورتی روشن به‌دست آید. سپس مقداری EDTA ۰/۰۱ مولار به محلول اضافه شد تا رنگ محلول به رنگ آبی یا ارغوانی تبدیل شود. مقدار EDTA مصرفی یادداشت و با استفاده از فرمول زیر میزان کلسیم و منیزیم به‌دست آمد (۱۲).

$$\%Ca=\frac{\text{حجم کل عصاره}\times 20\times(\text{شاهد Ca} - \text{EDTACa})\times N}{\text{وزن گیاه}\times 1000\times\text{حجم تیتر شده}}$$

$$\%Mg=\frac{\text{حجم کل عصاره}\times 12\times(\text{EDTA(Ca+Mg)} - \text{EDTA Ca})\times N}{\text{وزن گیاه}\times 1000\times\text{حجم عصاره تیتر شده}}$$

ارزیابی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های مورد نظر در حدود ۰/۵ گرم از میوه‌های تازه وزن شده و به آن ۲ میلی‌لیتر بافر استخراج (Tris-HCL) ۰/۵ درصد و پلی وینیل پیرولیدون (PVP) ۰/۰۵ درصد و pH=۸) اضافه شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه بر روی یخ کاملا خرد شده و یک عصاره‌ی کاملاً همگن از آنها به‌دست می‌آوریم (۳۵). عصاره به‌دست آمده، بعد از سانتریفیوژ شدن جهت بررسی فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز (۱۷)، آسکوربات پراکسیداز (۲۲) و کاتالاز (۱) با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Dynamica (HALODB-20) مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه آماری

پژوهش حاضر در قالب طرح آماری کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت و نتایج به‌دست آمده به کمک نرم افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییر نسبت پتاسیم به منیزیم در محلول غذایی تاثیر معنی‌داری روی عملکرد، اسید آسکوربیک و مواد جامد محلول میوه‌های توت فرنگی نداشت (جدول ۱). با این وجود با افزایش نسبت پتاسیم به منیزیم از ۴:۱ به ۸:۱ و یا کاهش آن از ۴:۱ به ۲:۱ در محلول غذایی، عملکرد کاهش می‌یابد، ولی این تغییر معنی‌دار نمی‌باشد (جدول ۲).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین، بالاترین میزان عملکرد در تیمار T2 (۸۴/۶ گرم) مشاهد شد که با دیگر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت، پایین ترین میزان عملکرد نیز در تیمار T4 (۵۳/۹ گرم) مشاهده شد (جدول ۲). در آزمایشات گنجی و گلچین (۱۱) روی گیاه توت‌فرنگی که در آن از سطوح مختلف پتاسیم (۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر)، منیزیم (۱۲، ۲۴، ۴۸ میلی‌گرم در لیتر) و نیتروژن (۱۱۰، ۲۲۰، ۳۳۰ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شده بود، مشخص شد که بالاترین میزان عملکرد مربوط به ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم بود و با افزایش سطح پتاسیم عملکرد کاهش یافت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. همچنین ماجر (۱۸) گزارش داد که کاهش دسترسی گیاه به منیزیم که یکی از دلایل آن فراوانی سایر کاتیون‌ها می‌باشد، می‌تواند منجر به کاهش عملکرد در انگور و سایر ریزمیوه‌ها شود.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر محتوی آسکوربیک اسید میوه نداشتند (جدول ۱). با این وجود نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین محتوی آسکوربیک اسید مربوط به تیمار T3 (۴۰/۶۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) می‌باشد و بعد از این تیمار نیز تیمارهای T2، T1 و T4 قرار داشتند (جدول ۲). در مطالعه‌ی اثر سطوح مختلف پتاسیم (۱/۵، ۲/۶، ۳، ۴/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر) مشخص شد که با افزایش سطح پتاسیم تا ۳ میلی‌اکی‌والان محتوی آسکوربیک اسید میوه روند افزایشی داشت، ولی از ۳ میلی‌اکی‌والان به بعد محتوی این صفت کاهش یافت (۳۱). همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر محتوی مواد جامد محلول (TSS) میوه نیز نداشتند (جدول ۱). البته بالاترین مواد جامد محلول مربوط به تیمار T2 (۵/۵ بریکس) بود و با افزایش نسبت پتاسیم به منیزیم از مواد جامد محلول میوه‌ها کاسته شد، به‌طوری‌که پایین‌ترین محتوی TSS در تیمار T4 (۴/۶۲ بریکس) مشاهده شد (جدول ۲). در بررسی تأثیر سطوح مختلف پتاسیم (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام) روی خواص کیفی گیاه توت‌فرنگی مشخص شد که نسبت‌های مختلف پتاسیم تأثیر معنی‌داری روی TSS میوه نداشتند. ولی بین تیمارهای مختلف

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مورد مطالعه بر برخی صفات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد کل	آسکوربیک اسید	مواد جامد محلول
تیمار	۳	۰/۰۱۴^{ns}	۲۵/۶^{ns}	۰/۸۲^{ns}
خطا	۱۲	۰/۰۵۱	۲۳/۴	۰/۹۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۲/۷	۱۳/۱	۱۵/۴

ns، عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد

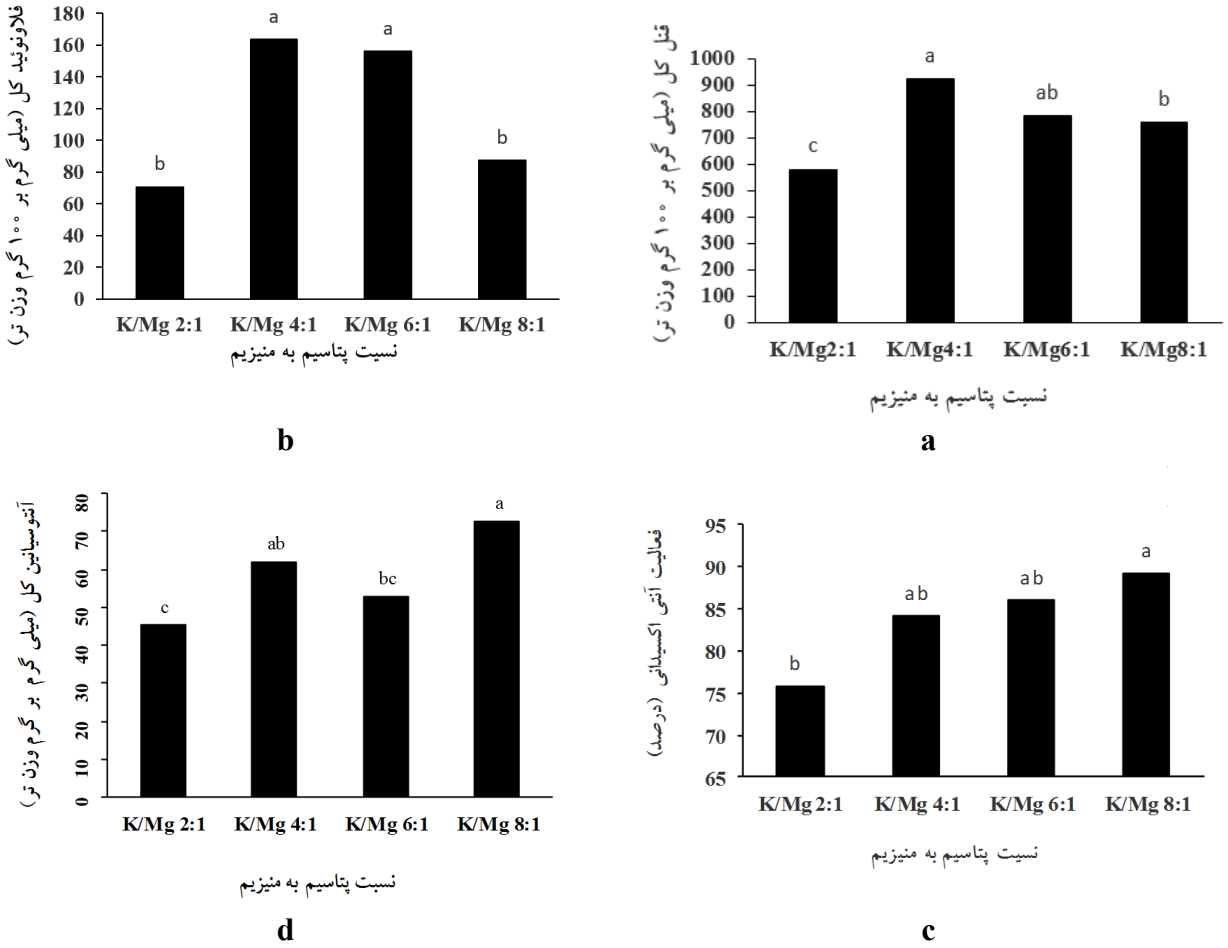
جدول ۲. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر صفات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون

تیمار	عملکرد کل (گرم در بوته)	آسکوربیک اسید (میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر)	مواد جامد محلول (بریکس)
T_1	۶۵/۳^a	۳۵/۳^a	۴/۷۵^a
T_2	۸۴/۶^a	۳۶/۷^a	۵/۵۰^a
T_3	۶۱/۹^a	۴۰/۶^a	۵/۲۵^a
T_4	۵۳/۹^a	۳۵/۳^a	۴/۶۲^a

تیمارهای T1: نسبت پتاسیم به منیزیوم(۲:۱) ، T2: نسبت پتاسیم به منیزیوم(۴:۱)، T3: نسبت پتاسیم به منیزیوم(۶:۱)، T4: نسبت پتاسیم به منیزیوم(۸:۱). در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

تفاوت وجود داشت به‌طوری‌که بالاترین TSS از تیمار ۳۰۰ پی‌پی‌ام پتاسیم به‌دست آمد (۷). در مطالعه حاضر نیز مطابق مطالعه فوق نسبت‌های مختلف تأثیر معنی‌داری بر محتوی TSS نداشتند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمارهای مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوی فنل کل می‌باشد (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، نسبت به تیمار T_2، محتوی فنل کل تیمار T1 و T4 به‌ترتیب ۳۷/۱ و ۱۸/۱ درصد کاهش یافت. میوه‌های حاصل از تیمار T3 نسبت به T2 محتوی فنل کل کمتری نشان دادند ولی این تغییر معنی‌دار نبود. بالاترین محتوی فنل کل در میوه‌های حاصل از تیمار T2 (۹۲۵/۲۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل a۱). همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که محتوی فلاونوئید کل نیز به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۳). محتوی فلاونوئید کل تیمار T1 و تیمار T4 نسبت به تیمار T2 به‌ترتیب ۵۶/۸ و ۴۶/۵ درصد کاهش یافت. به‌طوری‌که بالاترین محتوی فلاونوئید کل در تیمار T2 (۱۶۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل b۱). نتایج حاصل نشان داد که با افزایش نسبت پتاسیم به منیزیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت و میوه‌های حاصل از تیمار T4 (۸۹/۲ درصد) بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نشان دادند. بین تیمار T1 و تیمار T4 تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت. ولی هیچ یک از تیمارها نسبت به تیمار T2 تأثیر معنی‌داری بر میزان این صفت نداشتند (شکل c۱). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، آنتوسیانین کل به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت (جدول ۳). به‌طوری‌که با افزایش نسبت پتاسیم به



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر محتوی فنل کل (a)، فلاونوئید کل (b)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (c) و آنتوسیانین کل (d) میوه‌های توت‌فرنگی رقم آلبیون. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مورد مطالعه بر صفات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		فنل کل	فلاونوئید کل	فعالیت آنتی اکسیدانی	آنتوسیانین کل
تیمار	۳	۷۹۴۴۱**	۸۹۲۸**	۱۲۹*	۵۵۵**
خطا	۱۲	۵۰۲۴	۷۰۴	۴۷/۸	۴۶/۱
ضریب تغییرات (درصد)	–	۹/۳۰	۲۲/۲	۸/۲۴	۱۱/۷

*، ** به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

منیزیم محتوی آنتوسیانین کل میوه‌ها افزایش یافت. بالاترین میزان آنتوسیانین کل نیز مربوط به تیمار T4 (۷۲/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود و بعد از این تیمار نیز به‌ترتیب تیمارهای T2، T3 و T1 قرار داشتند (شکل d۱).

ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها انتشار وسیعی در گیاهان مختلف دارند و فعالیت بیولوژیک این ترکیبات همچون آنتی-اکسیدانی، آنتی‌باکتریایی آنها در بسیاری از مطالعات گزارش شده است. ترکیبات فنلی با داشتن خواص آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌رادیکالی، نقش حیاتی در نگهداری محصولات غذایی و حفظ سلامتی انسان ایفا می کنند (۳۲). در مطالعه‌ای که پریسیادو رانگل و همکاران (۲۸) روی توت‌فرنگی انجام دادند، مشخص شد که سطوح مختلف پتاسیم (۵، ۷، ۹ و ۱۱ مول بر لیتر) تأثیر معنی‌داری روی محتوی فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه دارند. به‌طوری‌که بالاترین محتوی فنل کل، فلاونویید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب از سطوح ۷، ۷ و ۹ مول در لیتر پتاسیم به‌دست آمدند. در پژوهشی دیگر مشاهده شد که سطوح مختلف پتاسیم (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) تأثیر معنی‌داری روی خواص کیفی میوه‌ی توت‌فرنگی داشتند. به‌طوری‌که با افزایش سطح پتاسیم میزان آنتوسیانین کل میوه افزایش یافته و در ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به بالاترین مقدار خود می‌رسد (۷). نتایج مطالعات قالیچه و هکاران (۱۰) روی تأثیر پتاسیم بر قدرت مهار رادیکال‌های آزاد در انجیر (*Ficus carica* L.) نشان داد که پتاسیم باعث افزایش معنی‌داری در مهار رادیکال آزاد DPPH شد. دلیل افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اثر افزایش نسبت پتاسیم می‌تواند به دلیل اثر پتاسیم بر میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و گایاکول پراکسیداز باشد، همچنین پتاسیم با باز و بسته کردن روزنه‌ها و ورود CO_2 به گیاه می‌تواند باعث کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و درنتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه شود (۳۶).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، کلروفیل کل برگ به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۴). به این صورت که در مقایسه با تیمار T2 کلروفیل کل برگ تیمار T3، ۲۷/۷ درصد و تیمار T4، ۳۴/۳ درصد کاهش داشتند. بالاترین میزان کلروفیل کل مربوط به تیمار T2 (۵/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (شکل ۲). در مطالعه‌ای که روی سه رقم گوجه‌فرنگی (*Solanium lycopersicum* L.) با سه نسبت مختلف پتاسیم به منیزیم (۴:۰، ۴:۱ و ۸:۱) انجام شده بود، مشخص شد که در مقایسه با نسبت ۴:۱ محتوای کلروفیل کل برگ گوجه‌فرنگی در نسبت ۴:۰ به ۶۹/۷ درصد کاهش یافت (۱۶).

با توجه به اینکه منیزیم اتم مرکزی در ساختار مولکول کلروفیل می‌باشد، دلیل کاهش محتوی کلروفیل برگ، غلظت بالای پتاسیم در محلول غذایی می‌باشد که باعث کاهش جذب منیزیم و در نتیجه کاهش محتوی کلروفیل برگ می‌شود.

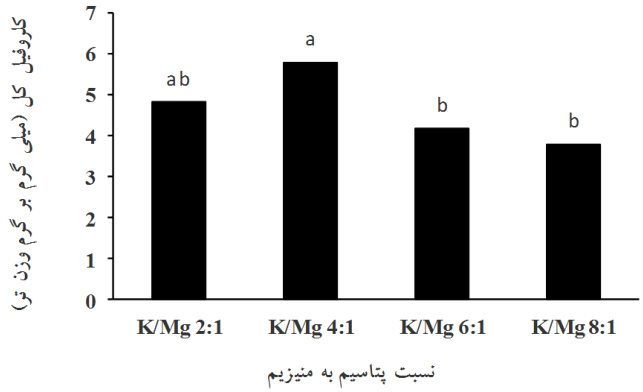
محتوی عناصر برگ نیز بر اساس نتایج تجزیه واریانس به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۴). با افزایش نسبت پتاسیم به منیزیم در محلول غذایی همانند آنچه که انتظار می‌رفت محتوی پتاسیم برگ افزایش ولی کلسیم و منیزیم کاهش یافت. تیمار T4 بالاترین محتوی پتاسیم (۲/۶۹ درصد) و T1 بالاترین کلسیم (۱/۱۴ درصد) و منیزیم (۰/۹۶ درصد) برگ را نشان دادند (شکل ۳). پتاسیم در غلظت‌های بالا اثرات آنتاگونیستی روی جذب کلسیم و منیزیم داشت که بستگی به شرایط محیطی و گونه‌ی گیاهی داشت. در مطالعه‌ای که فاگیرا (۸) روی برنج انجام داده بودند، مشخص شد که با افزایش غلظت پتاسیم در محلول غذایی جذب کلسیم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین با کاهش غلظت پتاسیم جذب منیزیم افزایش یافت و در مقابل با افزایش غلظت پتاسیم در محلول غذایی، جذب منیزیم کاهش نشان داد که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت داشت. کاهش جذب کلسیم در نتیجه‌ی افزایش غلظت پتاسیم ممکن است در ارتباط با رقابت بین این دو عنصر به دلیل خواص فیزیولوژیکی مشابه این دو عنصر باشد (۱۹). همچنین اثرات منفی غلظت بالای پتاسیم بر جذب منیزیم ممکن است در نتیجه‌ی رقابت این دو عنصر برای ترکیبات اتصال (که به-صورت متابولیکی تولید می‌شوند) باشد (۲۶).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار تیمارهای مورد مطالعه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

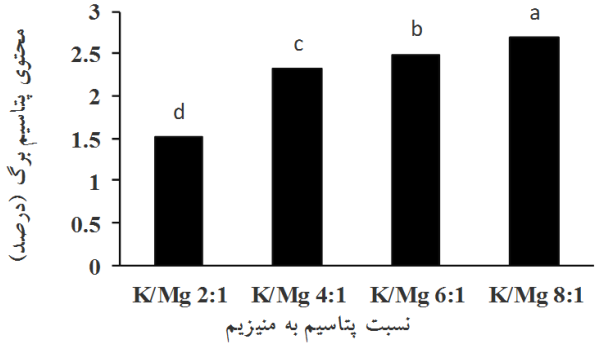
جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مورد مطالعه بر محتوای عناصر و کلروفیل میوه توت‌فرنگی رقم آلبیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کلروفیل کل	پتاسیم برگ	کلسیم برگ	منیزیوم برگ	گایاکول پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز
تیمار	۳	۳/۰۱**	۱/۰۶**	۰/۰۴**	۰/۱۲**	۹/۳۴*	۴/۷۱*	۴/۹۳**
خطا	۱۲	۰/۲۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۲/۶۵	۰/۹۱	۰/۰۸
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۰/۸	۲/۴۸	۳/۲۳	۲/۸۶	۵/۰۹	۷/۸۷	۹/۴۵

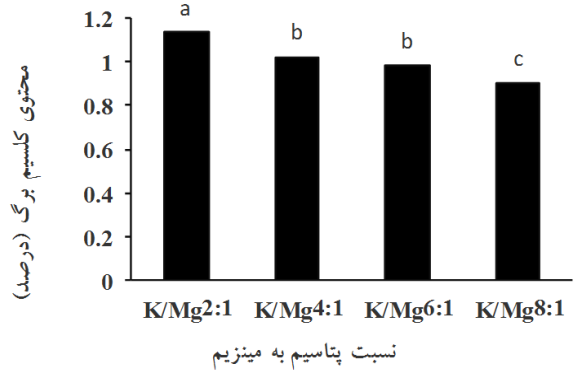
** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال یک و پنج درصد



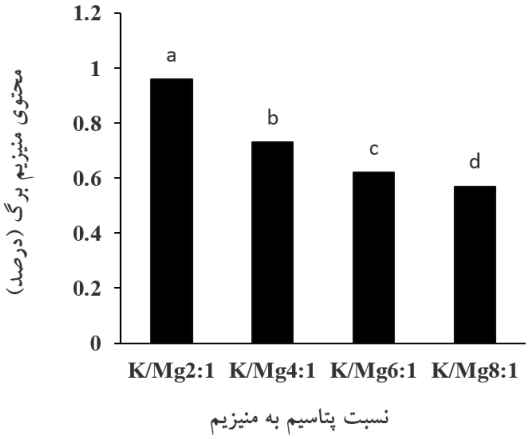
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر محتوای کلروفیل کل برگ‌های توت‌فرنگی رقم آلبیون. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.



a

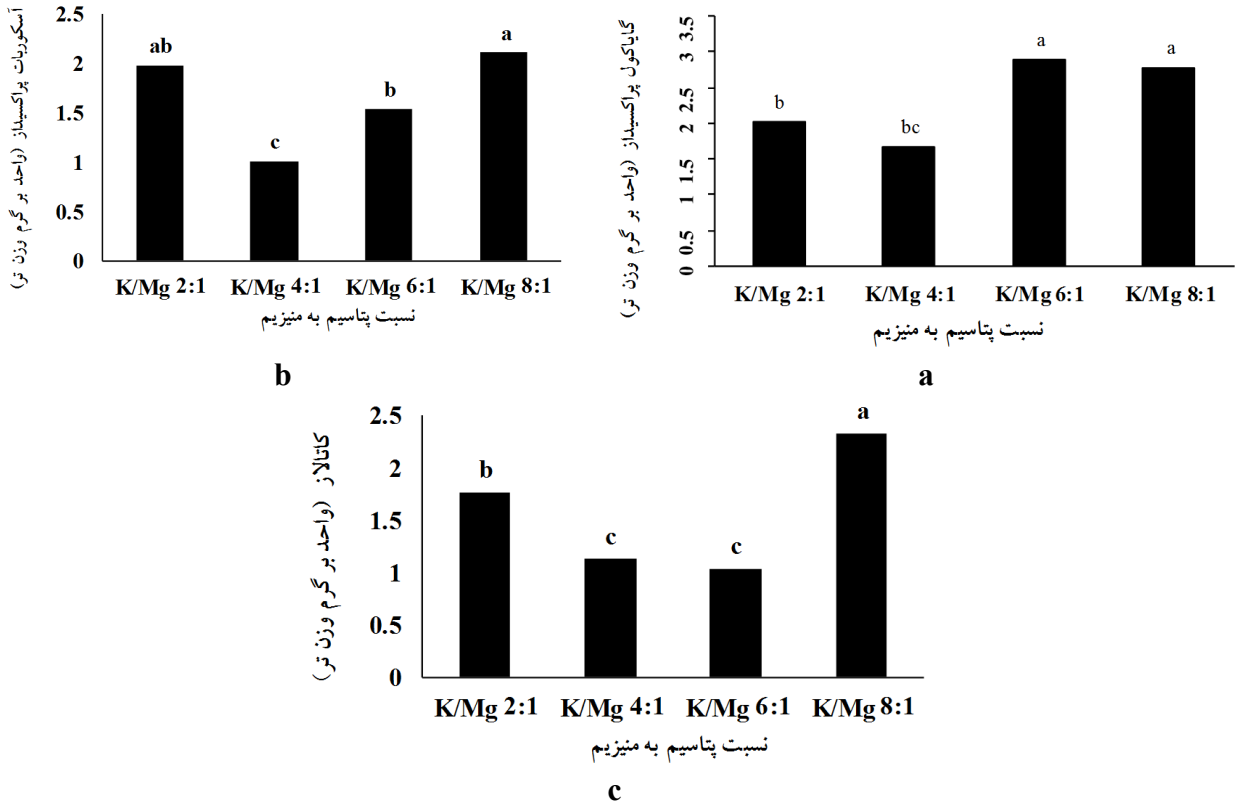


b



c

شکل ۳. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر محتوای پتاسیم (a)، کلسیم (b) و منیزیم (c) برگهای توت‌فرنگی رقم آلبیون. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر محتوای گایاکول پراکسیداز (a)، آسکوربات پراکسیداز (b) و کاتالاز (c) میوه‌های توت‌فرنگی رقم آلبیون. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز بود (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، نسبت به تیمار T2، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمارهای T3 و T4 افزایش یافت. به‌طوری‌که بالاترین فعالیت در تیمارهای T3 و T4 (به‌ترتیب ۲/۸۸ و ۲/۷۸ واحد در گرم وزن تر) و پایین‌ترین فعالیت در تیمار T2 (۱/۶۷ واحد در گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل a۴). همچنین با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بالاترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار T4 (۲/۱۱ واحد در گرم وزن تر) مشاهده شد، درحالی‌که تیمار T2 (۱/۰۱ واحد در گرم وزن تر) پایین‌ترین فعالیت این آنزیم را نشان داد (شکل b۴). فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای که نسبت پتاسیم به منیزیم خیلی کم یا زیاد شده بود، افزایش یافت. به‌طوری‌که در تیمار T4 که نسبت پتاسیم به منیزیم ۸:۱ بود، بالاترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۲۳ واحد در گرم وزن تر) مشاهد شد و پایین‌ترین فعالیت این آنزیم نیز در تیمار T2 (۰/۵۴ واحد در گرم وزن تر) ثبت شد (شکل c۴).

گیاهان مکانیسم‌های متفاوتی برای تنظیم محتوی گونه‌های فعال اکسیژن دارند. یکی از این مکانیسم‌ها حضور آنزیم‌های آنتی‌کسیدانی برای فعال شدن پاسخ‌های دفاعی و حذف رادیکال‌های آزاد از قبیل گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (۳۰). نتایج نشان داده است که همراه با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی از قبیل گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز، سمیت رادیکال‌های آزاد به حداقل می‌رسد و همچنین مقاومت گیاهان به عوامل خارجی بهبود می‌یابد (۲۳). آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز از آنزیم‌های

آنتی‌اکسیدانی مهمی هستند که نقش حیاتی محافظتی به‌عنوان مهارکننده‌ها عمل می‌کنند (۲۳). آنزیم کاتالاز در پراکسی‌زوم، سیتوزول و میتوکندری موجب تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌شود و آنزیم آسکوربات پراکسیداز نیز از آسکوربات به‌عنوان دهنده الکترون در ابتدای سیکل گلوتاتیون آسکوربات استفاده می‌کند (۳۸). بالا بودن این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در نسبت‌های بالای پتاسیم به منیزیم می‌توان به نقش عنصر پتاسیم در فعال کردن آنزیم‌ها مرتبط دانست. نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر با نتایج دینگ و همکاران (۵) مطابقت داشت که آنها گزارش کرده بودند که پتاسیم بالا باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی می شود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت نقش دو عنصر حیاتی پتاسیم و منیزیم در رشد، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی و مشکلاتی که این دو عنصر به خاطر اثرات آنتاگونیستی، برای جذب یکدیگر ایجاد می‌کنند، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم بر خواص کمی و کیفی رقم آلبیون گیاه توت‌فرنگی و یافتن نسبت بهینه‌ی این دو عنصر انجام گرفت. نتایج پژوهش نشان داد که نسبت‌های مختلف پتاسیم به منیزیم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی از جمله مواد جامد محلول و آسکوربیک اسید نداشتند. همچنین تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر میزان صفات بیوشیمیایی از جمله فنل کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، درصد عناصر کلسیم، پتاسیم و منیزیم برگ داشتند. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که ۴:۱ پتاسیم به منیزیم، نسبت مناسبی برای پرورش توت فرنگی رقم آلبیون تحت شرایط هیدروپونیک بوده و همچنین به‌دلیل پایین‌تر بودن سطح عناصر غذایی که منجر به ایجاد شوری کمتری در محیط کشت می‌شود، مناسب‌تر از سایر تیمارها می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1. Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. *Methods in enzymology* 105: 121-126.
2. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
3. Bor, J. Y., H. Y. Chen and G. C. Yen. 2006. Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54: 1680-1686.
4. Caruso, G., G. Villari, G. Melchionna and S. Conti. 2011. Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae* 129: 479-485.
5. Ding Yu-Chuan, D., C. Chun-Rong, L. Wen, W. Yan-Shou, R. Xiao-Li, W. Ping and X. Guo-Hua. 2008. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice reaves. *Pedosphere* 18: 316-327.
6. Du, G., M. Li, F. Ma and D. Liang. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry* 113: 557-562.
7. Ebrahimi, R., M. K. Souri, F. Ebrahimi and M. Ahmadizadeh. 2012. Growth and yield of strawberries under different potassium concentrations of hydroponic system in three substrates. *Science Journal* 16: 1380-1386.
8. Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of plant nutrition* 24: 1269-1290.
9. Farzaneh, N., A. Golchin and K. Hashemi Majd. 2009. The effect of different levels of nitrogen and complement potassium of nutrient solutions on performance and the concentration of nitrogen potassium of tomato leaves. In: 1th National Congress of Hydroponics and Greenhouse Production. Isfahan University of Technology, Iran. Volume 1, pp. 97198. (In Farsi).
10. Gaaliche, B., A. Ladhari, A. Zarrelli and M. B. Mimoun. 2019. Impact of foliar potassium fertilization on biochemical composition and antioxidant activity of fig (*Ficus carica* L.). *Scientia Horticulturae* 253: 111-119.
11. Ganjei, B. and A. Golchin. 2011. 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* 8: 71-80. (In Farsi).
12. Ghazan Shahi, J. 2006. Soil and Plant Analysis. Aizh Publications, Tehran. (In Farsi).
13. Guo, W., H. Nazim, Z. Liang and D. Yang. 2016. Magnesium deficiency in plants: an urgent problem. *The Crop Journal* 4: 83-91.

14. Hassanpour, H. and S. Alizadeh. 2016. Evaluation of phenolic compound, antioxidant activities and antioxidant enzymes of barberry genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae* 200: 125-130.
15. Johnson, J. R., G. J. Hochmuth and D. N. Maynard. 2010. Soilless culture of Greenhouse Vegetables. US Vegetable Researcher and Information Center, California.
16. LI, H. X., Z. J. Chen, Z. H. O. U. Ting, L. I. U. Yan and J. B. Zhou. 2018. High potassium to magnesium ratio affected the growth and magnesium uptake of three tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of integrative agriculture* 17: 2813-2821.
17. Mac-Adam, J. W., C. J. Nelson and R. E. Sharp. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue: I. Spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. *Plant Physiology* 99: 872-878.
18. Májer, J. 2004. Magnesium supply of the vineyards in the Balaton-Highlands. *Acta Hortculturae* 652: 175-182.
19. Mass, E. V. 1969. Calcium uptake by excised maize roots and interactions with alkali cations. *Plant Physiol*ogy 44: 985-989.
20. Mizukoshi, K., T. Nishwaki, N. Ohtake, R. Minagawa, K. Kobayashi, T. Ikarashi and T. Ohyama. 1994. Determination of tungstate concentration in plant materials by HNO3-HCIO4 digestion and colorimetric method using thiocyanate. *Plant Analysis and Methods* 46: 51-56.
21. Nakajima, J. I., I. Tanaka, S. Seo, M. Yamazaki and K. Saito. 2004. LC/PDA/ESI- MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Journal of Biomed Biotechnol* 5: 241-247.
22. Nakano, Y. and K. Asada. 1987. Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant and Cell Physiology* 28: 131-140.
23. Ngan, H. T. M., H. T. Tung, B. V. Lea and D. T. Nhut. 2020. Evaluation of root growth, antioxidant enzyme activity and mineral absorbability of carnation (*Dianthus caryophyllus* "Express golem") plantlets cultured in two culture systems supplemented with iron nanoparticles. *Scientia Horticulturae* 272: 109612.
24. Nguyen, H., S. Maneepong and P. Suraninpong. 2017. Effects of potassium, calcium and magnesium ratios in soil on their uptake and fruit quality of pummelo. *Journal of Agriculture Science* 9: 110-121.
25. Nieves-Cordones, M., F. R. Al Shiblawi and H. Sentenac. 2016. Roles and transport of sodium and potassium in plants. *Metal Ions in Life Sciences* 16: 291-324.
26. Omar, M. A. and T. E. Kobbia. 1966. Some observations on the interelationships of potassium and magnesium. *Soil Science* 101: 437-439.
27. Papadopoulos, I. 1987. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown strawberries. *Fertilizer Research* 13: 269-276.
28. Preciado-Rangel, P., E. Troyo-Diéguez, L. A. Valdez-Aguilar, J. L. García-Hernández and J. G. Luna-Ortega. 2020. Interactive effects of the potassium and nitrogen relationship on yield and quality of strawberry grown under soilless conditions. *Plants* 9: 441.
29. Rietra, R. P., M. Heinen, C. O. Dimkpa and P. S. Bindraban. 2017. Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in soil science and plant analysis* 48: 1895-1920.
30. Sabra, A., F. Daayf and S. Renault. 2012. Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. *Scientia Horticulturae* 135: 23-31.
31. Seyedi, A. Z. A. M., A. Ebadi and M. E. S. A. H. Babalar. 2014. Effect of potassium levels in nutrient solution, harvest season, and plant density on quantity and quality of strawberry fruit (cv. Selva) in hydroponic system conditions. *Iranian Journal of Horticultural Science* 44: 423-429.
32. Shariatifar, N., A. Kamkar, M. R. Shams Ardakani, A. Misaghi, A. H. Jamshidi and G. R. Jahedkhaniki. 2011. Quantitative and qualitative study of phenolic compounds and antioxidant activity of *pulicaria gnaphalodes*. *Ofogh-e-Danesh* 17: 35-41. (In Farsi).
33. Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals* 15: 307-321.
34. Shin, S. W., A. K. Ghimeray and C. H. Park. 2014. Investigation of total phenolic, total flavonoid, antioxidantand allyl isothiocyanate content in the different organs of *wasabi Japonica* grown in an organic system. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines* 3: 38-45.
35. Sudhakar, C., A. Lakshmi and S. Giridarakumar. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science* 161: 613-619.
36. Waraich, E. A., R. Ahmad, M. Y. Saifullah and E. Ashraf. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science* 5: 764-777.
37. Wrolstad, R. E. 1976. Color and Pigment Analysis in Fruit Products. Agriculture Experimental Station, Oregon State University, Corvallis.
38. Wu, Q. S., Y. N. Zou and E. F. Abd-Allah. 2014. Mycorrhizal association and ROS in plants. In: Oxidative Damage to Plants. Academic Press, London. pp. 453-475.
39. Yamazaki, K. 1981. Status and problems of nutrient solution cultivation in Japan. *Tokyo* 35: 12-15.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Different Ratios of Potassium to Magnesium on Some Fruit Yield and Quality Attributes of Hydroponicly-grown Strawberry (*Fragaria×Ananassa* Duch. Cv. Albion)

F. Khalili Gorani[1] and H. Hassanpour[2*]

(Received: February 06-2023; Accepted: April 11-2023)

Abstract

An imbalanced nutrients status in the nutrient solution, i.e. poor nutrition of the plant, is often responsible for the low quantity and quality of strawberry fruit. The present study was conducted to investigate the effect of different ratios of potassium to magnesium (K/Mg) (T1, 2:1, T2, 4:1, T3, 6:1 and T4, 8:1) on fruit yield and quality of strawberry cv. Albion under hydroponic conditions. Different K/Mg treatments did not have a significant effect on fruit yield and quality attributes such as ascorbic acid and total soluble solids. The highest fruit yield was obtained when plants were exposed to a 4:1 ratio (i.e. T2). Fruit quality attributes such as total anthocyanin, total antioxidant, total phenolic, total flavonoids, total chlorophyll, calcium, Mg, and K concentrations in the leaves and antioxidant enzymes activities were significantly affected by the K/Mg treatments. The highest total phenolic (925 mg/100g FW) and total flavonoids (163 mg/100g FW) were observed when plants grown in the presence of a 4:1 ratio (i.e. T2). Whereas, the highest antioxidant activity (89.2%) was detected in plants exposed to the 8:1 ratio (T4). The highest activity of guaiacol peroxidase (2.88 and 2.78 unit/g FW), ascorbate peroxidase (2.11 unit/g FW), and catalase (2.23 unit/g FW) were observed in T3 and T4, T4, and T4 treatments, respectively. It can be concluded that among the tested treatments, the 4:1 ratio of potassium:magnesium is optimal for the strawberry production.

Keywords: Antioxidant activity, Chlorophyll, Nutrition, Phenolic, Soluble solid

1, 2. MSc. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
*: Corresponding Author, Email: ha.hassanpour@urmia.ac.ir