

اثر شدت نور و محلول پاشی برگ‌گی کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم پاروس

سوسن شریفی^۱ و حسن ساری‌خانی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۳۰)

چکیده

نقش کلسیم در رشد، باردهی و حفظ کیفیت توت‌فرنگی به‌خوبی شناخته شده است. در این پژوهش اثر محلول پاشی کلرید کلسیم به‌همراه NAA در شرایط سایه بر رشد، عملکرد و کیفیت توت‌فرنگی رقم پاروس بررسی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور شدت نور (نور معمولی و شرایط سایه) و فاکتور کلسیم و اکسین (شاهد، کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد، NAA با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ترکیبی کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد به همراه ۲۵ میلی‌گرم در لیتر NAA) انجام شد. تیمارهای محلول پاشی در زمان ۱۰ روز پس از تشکیل میوه انجام شد. نتایج نشان داد محلول پاشی کلرید کلسیم و NAA در شرایط سایه باعث افزایش رشد رویشی بوته شد. تیمار کلرید کلسیم در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط نور و سایه سبب افزایش قطر و عملکرد میوه شد. بیشترین سفتی میوه (۳۴۲/۰ نیوتون بر سانتی‌متر مربع) در تیمار کلرید کلسیم در شرایط نور و سایه مشاهده شد. تیمار NAA در شرایط سایه باعث افزایش غلظت آنتوسیانین شد. تیمار توأم کلرید کلسیم با NAA در شرایط نور باعث افزایش میزان فنول کل (۱/۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۷۲/۱۲ درصد) شد. تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه و نور در مقایسه با شاهد در شرایط نور سبب افزایش حدود ۵۰ درصدی کلسیم میوه شد. همچنین تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه سبب افزایش ۱۲ درصدی کلسیم دمبرگ نسبت به شاهد در شرایط سایه شد. تیمار توأم کلرید کلسیم و NAA در مقایسه با شاهد در شرایط نور سبب افزایش کلسیم برگ شد. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد کلرید کلسیم به‌تنهایی هم در شرایط نور و هم در سایه، می‌تواند سبب افزایش ویژگی‌های کیفی و کمی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس شود. همچنین کاربرد NAA نیز می‌تواند در برخی شرایط سبب جذب بیشتر کلسیم توسط برگ شود.

واژه‌های کلیدی: جذب، طول دمبرگ، کلرید کلسیم، اکسین، سایه

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sarikhani@basu.ac.ir

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.) محصول تجاری مهمی بوده که سطح زیر کشت و مصرف آن در جهان در حال افزایش است. در طول ۲۰ سال گذشته، تولیدکنندگان توت‌فرنگی و پژوهشگران با استفاده از روش‌های نوآورانه ارقام جدید را توسعه و فصل برداشت محصول را گسترش داده‌اند (۲۸). بر اساس آمار سازمان غذا و کشاورزی در سال ۲۰۱۷، بیش از ۹/۲۲ میلیون تن توت‌فرنگی در دنیا تولید می‌شود. در ایران نیز ۵۵۶۲۱ تن توت‌فرنگی از سطحی معادل ۳۹۴۹ هکتار به‌دست می‌آید (۱۴) که بخش اصلی آن به‌صورت مزرعه‌ای در استان کردستان تولید می‌شود. این میوه یکی از مهم‌ترین میوه‌های ریز مناطق معتدله است که به‌دلیل عطر و طعم و محتویات سرشار از ویتامین به‌خوبی شناخته شده و جایگاه مهمی در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر پیدا کرده است (۴).

نقش کلسیم در رشد، باردهی و حفظ کیفیت توت‌فرنگی به‌خوبی شناخته شده است. کلسیم به‌وسیله جریان تعرق به‌سمت انتهای ساقه حرکت می‌کند و به‌همین دلیل کمبود آن بیشتر در برگ‌ها و میوه‌های جوان در مقایسه با برگ‌های پیرتر دیده می‌شود (۲۵). میوه توت‌فرنگی دارای کمبود کلسیم پوشش متراکمی از فندقه‌ها را در بخشی یا در تمام میوه توسعه می‌دهد که دارای بافت سخت بوده و مزه اسیدی دارد (۱۶). کمبود کلسیم در سنتز آنتوسیانین توت‌فرنگی دخالت می‌کند که در نتیجه آن آلبینسم توسعه یافته و میوه‌ها دچار نابسامانی می‌شوند (۶). کلسیم یک کاتیون دوظرفیتی به‌نسبت بزرگ است که به‌طور عمده توسط نوک ریشه جذب می‌شود و از طریق آوندهای چوبی با جریان تعرق به‌طور غیرفعال منتقل می‌شود (۲۵) و علاوه بر نقش ساختاری در دیواره یاخته، در ساخت و فعالیت بعضی آنزیم‌ها نقش دارد (۲۱ و ۳۴).

یکی از دشواری‌های کشت و کار توت‌فرنگی، هوای ابری طولانی‌مدت در ابتدای فصل رشد است که می‌تواند روی جذب و انتقال کلسیم مؤثر باشد. علاوه بر این، کشت توت‌فرنگی در مناطق شمالی کشور، کشت در گلخانه و استفاده از سایه‌بان نیز،

به‌دلیل کاهش شدت نور، می‌تواند شرایط مشابهی را ایجاد کند. بررسی‌ها نشان داده است که شدت نور و ایجاد شرایط سایه می‌تواند روی انتقال کلسیم از ریشه مؤثر باشد. گزارش شده است در بوته‌های توت‌فرنگی که در معرض ۴۰ درصد سایه در مقابل تیمار شاهد با شدت نور حدود ۱۰۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه قرار داشتند کاهش قابل توجهی در مقدار کلسیم و پتاسیم آنها دیده شد (۱۲).

به‌طور کلی تأمین کم ولی پیوسته کلسیم برای رشد و توسعه میوه ضروری است و آسیب ناشی از نوک‌سوختگی برگ گیاه را به حداقل می‌رساند. مشکل کمبود کلسیم می‌تواند با استفاده از کاربرد کلرید کلسیم برطرف شود (۲۵). از جمله روش‌های معمول برای حفظ استحکام و کیفیت میوه‌ها در طول رسیدن و ذخیره‌سازی و همچنین افزایش غلظت کلسیم میوه، محلول‌پاشی قبل از برداشت کلسیم روی برگ و میوه است (۳۳). همچنین با توجه به اثر دیر هنگام عنصر کلسیم از طریق جذب ریشه‌ای، بهترین راه استفاده بهینه از این عنصر، محلول‌پاشی آن روی سطح برگ، شاخه و سایر اندام‌های گیاه است که در نتیجه این مواد سریع‌تر در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (۲۵).

جذب کم کلسیم و انتقال کم آن در میوه منجر به اختلالاتی می‌شود. بنابراین محلول‌پاشی کلسیم برای بهبود و حفظ کیفیت میوه ضروری است و کلرید کلسیم در غلظت‌های ۰/۵ تا ۱/۵ درصد برای این موضوع مورد استفاده قرار گرفته است (۱ و ۳۳). اکسین‌ها در گیاهان در فرایندهای متعددی مانند رشد سلولی، تکامل میوه، افزایش تشکیل و اندازه میوه، افزایش رسیدگی میوه، تحریک رشد مریستم‌های ثانویه و تولید کامبیوم، تغییر در انتقال مواد پرورده گیاهی و همچنین جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاه نقش دارند. مشخص شده است که ترکیبات اکسینی مانند نفتالین استیک اسید می‌توانند روی انتقال کلسیم مؤثر باشند. با اینکه گزارش‌های اندکی از اثرات کاربرد توأم نفتالین استیک اسید و کلرید کلسیم روی کیفیت میوه‌ها وجود دارد، اما مشخص شده است کاربرد اکسین در انتقال و تخصیص یون کلسیم بین اندام‌های مختلف گیاه نقش دارند

دریا انجام شد. در سال اول نشاهای توت فرنگی رقم پاروس با اندازه یکسان در محل خزانه اصلی مزرعه گروه علوم باغبانی تهیه و در بستر کاشت با فاصله ۳۰ سانتی متر روی ردیف و ۸۰ سانتی متر بین دو ردیف کشت شد. از مالچ پلی اتیلینی شفاف برای جلوگیری از رشد علف‌های هرز و همچنین کاهش تبخیر از سطح خاک استفاده شد و پس از کشت بوته‌ها و کشیدن مالچ، لایه نازکی از خاک روی مالچ اتیلینی ریخته شد. آبیاری بوته‌ها از طریق سیستم آبیاری قطره‌ای با نوارهای آبیاری زیر مالچ پلی اتیلینی انجام شد. برای ایجاد یکنواختی ساقه‌های رونده تولید شده حذف شدند.

این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل شدت نور در دو سطح شامل نور معمولی (محدوده شدت نوری در دوره آزمایش بین ۱۱۰۰ تا ۲۱۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه در ساعت ۲ بعدازظهر) و شرایط نیمه آفتابی (سایه) با شدت نور بین ۴۹۰ تا ۹۵۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه در ساعت ۲ بعدازظهر و فاکتور دوم تیمار کلسیم و اکسین در چهار سطح شامل شاهد (آب مقطر)، کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد، نفتالین استیک اسید با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر و تیمار ترکیبی کلرید کلسیم ۰/۷۵ درصد به همراه نفتالین استیک اسید با غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر بود. سایه‌اندازی توسط نصب توری سایبان سبز رنگ ۵۰ درصد طی دوره رشد انجام شد. تمامی محلول‌پاشی‌ها در دو مرحله و با فاصله ده روز انجام شد.

پس از به گل رفتن بوته‌ها، اعمال تیمارها شروع شد و مرحله اول محلول‌پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید در دو روز متوالی حدود ۱۰ روز پس از تشکیل میوه در گل اول انجام شد و مرحله دوم ۱۰ روز پس از آن اعمال شد. برای افزایش راندمان جذب عناصر غذایی، محلول‌پاشی در عصرها هنگام خنک شدن هوا و با استفاده از محلول‌پاش دستی انجام شد. قبل از محلول‌پاشی پی‌اچ محلول‌ها (با استفاده از سود ۰/۱ نرمال و اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال) در محدوده بین ۵/۵ تا ۶/۵

(۱۵). برای مثال گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با نفتالین استیک اسید (با غلظت ۰/۰۲ درصد) و کلرید کلسیم (۰/۵ و ۱ درصد)، به‌طور واضح مقدار تجمع کلسیم بیشتری را در مقایسه با میوه‌های تیمار شده با کلرید کلسیم به‌تنهایی داشتند (۱). ژو (۳۹) گزارش کرد که انتقال کلسیم از سطح میوه سیب به داخل گوشت میوه از طریق کاربرد ایندول استیک اسید و نفتالین استیک اسید بهبود یافته و کاربرد ایندول استیک اسید حرکت کلسیم از درخت به سمت میوه را بهبود بخشید. واحدان و همکاران (۳۷) بیان کردند تیمار نفتالین استیک اسید در غلظت‌های ۲۰ تا ۶۰ میلی گرم در لیتر به همراه کلرید کلسیم سبب افزایش محتوای پتاسیم برگ در انبه شد، درحالی که محتوای کلسیم در برگ‌ها در حال نوسان گزارش شد. نفتالین استیک اسید ممکن است باعث توسعه بافت آوند چوبی شود که این موضوع می‌تواند به جذب و انتقال کلسیم کمک کند و در نتیجه باعث کاهش ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی می‌شود. بنابراین نفتالین استیک اسید نقش قابل توجهی در تنظیم و انتقال کلسیم دارد (۱).

با توجه به اثرات نامطلوب شرایط نیمه‌سایه ناشی از روزهای ابری در ابتدای فصل رشد بر رشد و نمو میوه و بوته توت فرنگی، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم به همراه نفتالین استیک اسید قبل از برداشت در شرایط سایه بر رشد بوته، عملکرد و کیفیت میوه توت فرنگی رقم پاروس انجام شد و همچنین بررسی اثر نفتالین استیک اسید روی تحرک، میزان جذب و تجمع کلسیم در برگ و میوه توت فرنگی و نقش کلسیم در رشد و عملکرد آن صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال متوالی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی سینا با مختصات جغرافیایی ۳۴/۷۹۹۶۸۷ درجه عرض شمالی و ۴۸/۴۸۱۶۲۸ درجه طول شرقی و با ارتفاع ۱۸۳۲ متر از سطح

تنظیم شد و برای کاهش کشش سطحی آب، از توئین ۸۰ به میزان سه قطره در لیتر استفاده شد. محلول پاشی بوته به صورت کامل انجام گرفت.

میوه‌ها در مرحله بلوغ تجاری بر اساس شاخص رنگ سطح میوه، همراه با دم میوه و کاسبرگ در صبح زود برداشت و به آزمایشگاه منتقل شده و پس از اندازه‌گیری وزن (با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، طول و قطر (با کولیس ورنیه با دقت ۰/۱ میلی‌متر)، سفتی بافت میوه (توسط دستگاه سفتی سنج واگنر، مدل اف دی کا ۳۲) و همچنین عملکرد بوته، صفات بیوشیمیایی آنها شامل مواد جامد محلول (با دستگاه رفاکترومتر مدل N1، آتاگو، ژاپن)، پی‌اچ آب میوه (با استفاده از پی‌اچ متر مدل ۸۲۷، ساخت شرکت متروهوم سوئیس) و اسیدیته قابل تیتراسیون (به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به پی‌اچ ۸/۲ و محاسبه بر مبنای اسید سیتریک)، محتوای فنول کل (با استفاده از معرف فولین سیوکالتو به روش سینگلتن و رسی ۳۵) با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان امریکا) و مقایسه با منحنی استاندارد اسید گالیک، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (با استفاده از دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل و به روش برند-ویلیامز و همکاران ۹) با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان امریکا) و میزان آنتوسیانین کل (با استفاده از روش راپیساردا و همکاران ۳۱) اندازه‌گیری شد.

میزان رشد بوته در پایان زمان میوه‌دهی (در اواسط تیرماه) با اندازه‌گیری طول بوته، سطح برگ با استفاده از نرم‌افزار Image-J (نسخه ۱/۶)، طول دمبرگ با خط‌کش مدرج معمولی با دقت یک میلی‌متر از محل خروج دمبرگ از طوقه تا پهنک برگ و قطر دمبرگ نیز توسط کولیس با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری عنصر کلسیم میوه، از هر واحد آزمایشی ۳ تا ۲ میوه انتخاب شده و در آون و دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۷۲ ساعت خشک شد و سپس آسیاب شد. تهیه عصاره به روش هضم تر (۲) انجام شد. به این منظور یک گرم از پودر نمونه گیاهی وزن و در لوله آزمایش ریخته شد، سپس

۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵٪) به آن افزوده شد و پس از آن درب لوله‌ها را با فویل بسته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد و سپس یک ساعت هم در دمای جوش قرار داده شد تا رنگ نمونه‌ها کاملاً شفاف شود، پس از خنک شدن ۲/۶ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به آنها اضافه شد و مجدداً یک ساعت در داخل بن‌ماری قرار داده شد. پس از درآوردن از بن‌ماری و خنک شدن سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و در بالن ژورژه با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. برای اندازه‌گیری کلسیم نمونه‌ها نیز از دستگاه ICP (مدل GBC integra xl، ساخت کشور استرالیا) استفاده شد و سپس غلظت کلسیم برحسب گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک بیان شد.

برای اندازه‌گیری میزان کلسیم برگ و دمبرگ، پس از آخرین محلول‌پاشی از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی تعدادی برگ کاملاً توسعه یافته چیده شد و پس از خشک شدن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، خرد شد. ادامه کار همانند روش اندازه‌گیری کلسیم و پتاسیم در میوه بود. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) تجزیه و تحلیل شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

اثر شدت نور، محلول‌پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید و برهم‌کنش آنها روی طول دمبرگ و طول بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر شدت نور روی قطر دمبرگ و سطح برگ نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر محلول‌پاشی روی قطر دمبرگ و سطح برگ معنی‌دار نشد ولی برهم‌کنش محلول‌پاشی و شدت نور روی قطر دمبرگ در سطح یک درصد معنی‌دار و بر سطح برگ غیرمعنی‌دار شد (جدول ۱).

در شرایط نور معمولی کاربرد توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید سبب کاهش طول دمبرگ نسبت به تیمار بدون

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید روی برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد بوته توت‌فرنگی رقم پاروس در شرایط سایه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		طول دمبرگ	قطر دمبرگ	سطح برگ	طول بوته	قطر میوه	وزن میوه
بلوک	۲	۲/۱۶	۰/۰۰۳	۱۰۰۳۴۸/۵۰	۴/۲۹	۰/۳۲	۵/۴۴
شدت نور	۱	۴۳/۸۷**	۰/۰۱۴**	۲۹۱۳۲۳۹/۲۷**	۱۰/۲۷**	۰/۱۴*	۰/۳۰ ^{ns}
محلول‌پاشی	۳	۳/۳۲**	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۴۸۸۵۰/۰۳ ^{ns}	۱۳/۸۵**	۰/۶۱**	۱/۲۸ ^{ns}
برهم‌کنش محلول‌پاشی و شدت نور	۷	۱۰/۶۲**	۰/۰۰۲**	۵۲۸۱۹۴/۳۱ ^{ns}	۷/۴۳**	۰/۳۱**	۰/۷۳ ^{ns}
خطای آزمایشی	۱۴	۰/۴۰	۰/۰۰۰۱	۲۸۲۹۰۷/۱۹	۰/۲۵	۰/۰۱۷	۰/۴۰
ضریب تغییر (درصد)	-	۴/۲۷	۴/۰۰	۲۶/۱۱	۲/۱۵	۴/۷۷	۶/۵۳

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد است.

جدول ۲. اثر محلول‌پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید روی برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد بوته توت‌فرنگی رقم پاروس در شرایط سایه

تیمار	طول دمبرگ	قطر دمبرگ	طول بوته	قطر میوه	عملکرد کل بوته گرم در بوته
نور × شاهد	۱۴/۵۹ ^b	۰/۳۰ ^e	۲۱/۰ ^f	۲/۵۸ ^c	۶۲/۷۹ ^d
نور × CaCl ₂	۱۴/۳۶ ^b	۰/۳۲ ^{de}	۲۲/۴ ^{bc}	۳/۳۶ ^a	۱۰۲/۳۳ ^a
نور × NAA	۱۳/۹۲ ^b	۰/۳۳ ^{cd}	۲۳/۷ ^{cd}	۲/۸۶ ^b	۸۰/۲۸ ^{bc}
نور × (NAA+CaCl ₂)	۱۱/۶۳ ^c	۰/۳۱ ^{de}	۲۱/۸ ^{ef}	۲/۶۲ ^c	۸۵/۵۱ ^b
سایه × شاهد	۱۶/۹۱ ^a	۰/۳۸ ^a	۲۲/۳ ^e	۲/۵۷ ^c	۵۷/۶۵ ^d
سایه × CaCl ₂	۱۶/۵۶ ^a	۰/۳۷ ^{ab}	۲۵/۶ ^a	۳/۰۱ ^b	۸۱/۳۰ ^{bc}
سایه × NAA	۱۴/۵۳ ^b	۰/۳۶ ^{ab}	۲۴/۷ ^b	۲/۹۰ ^b	۷۵/۷۶ ^c
سایه × (NAA+CaCl ₂)	۱۷/۳۱ ^a	۰/۳۵ ^{bc}	۲۳/۴ ^d	۲/۳۱ ^d	۷۹/۶۸ ^{bc}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن است. CaCl₂: کلرید کلسیم (۰/۷۵ درصد)، NAA: نفتالین استیک‌اسید (۲۵ میلی‌گرم در لیتر)

بیشترین قطر دمبرگ (۰/۳۸ سانتی‌متر) در تیمار شاهد در شرایط سایه مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه نداشت. کاربرد توأم نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم در شرایط سایه سبب کاهش قطر دمبرگ شد. در شرایط نور، کمترین قطر دمبرگ (۰/۳۰ سانتی‌متر) در شاهد مشاهده شد که با تیمارهای کلرید کلسیم به‌تنهایی و توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور معمولی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بیشترین طول بوته (۲۵/۶ سانتی‌متر) در تیمار

محلول‌پاشی در شرایط نور شد (۱۱/۶۳ سانتی‌متر در مقابل ۱۴/۵۹ سانتی‌متر) و بین تیمارهای کلرید کلسیم و تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور معمولی با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط سایه، طول دمبرگ افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کلرید کلسیم به‌تنهایی و تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه بر طول دمبرگ مشاهده نشد. اما تیمار نفتالین استیک‌اسید به‌تنهایی در شرایط سایه سبب کاهش طول دمبرگ در مقایسه با تیمار شاهد در شرایط سایه (۱۵/۵۳ سانتی‌متر در مقابل ۱۶/۹۱ سانتی‌متر) شد (جدول ۱).

بیان کردند که سایه‌دهی طولانی‌مدت موجب افزایش رشد بوته می‌شود که نتایج پژوهش حاضر با آن مطابقت داشت. گزارش شده است که محلول‌پاشی نفتالین استیک‌اسید سطح اکسین را در گیاه بالا برده و باعث افزایش تقسیم سلولی و حجیم شدن سلول‌ها می‌شود و از این طریق منجر به افزایش رشد رویشی در بوته می‌شود (۱ و ۳۲). اما در پژوهش حاضر اثر شاخصی از افزایش رشد تحت تأثیر نفتالین استیک‌اسید مشاهده نشد. طبق نتایج به‌دست آمده کلرید کلسیم نیز باعث افزایش رشد رویشی شد که این با نتایج به‌دست آمده از پژوهش عباسی و همکاران (۱) مطابقت داشت. آنها دریافتند که محلول‌پاشی ۵/۰ درصد کلرید کلسیم باعث افزایش ارتفاع در گیاهان گوجه‌فرنگی نسبت به گیاهان شاهد شد.

طول، قطر و وزن میوه و عملکرد کل میوه

اثر شدت نور در سطح پنج درصد بر قطر میوه معنی‌دار شد. اثر محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بر طول میوه و در سطح یک درصد بر قطر میوه معنی‌دار شد. برهم‌کنش محلول‌پاشی و شدت نور بر طول میوه اثری نداشت اما در سطح یک درصد بر قطر میوه معنی‌دار شد. اثر شدت نور، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آنها بر وزن میوه معنی‌دار نشد. اما اثر شدت نور، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آنها در سطح یک درصد بر عملکرد بوته معنی‌دار شد (جدول ۱).

بیشترین قطر میوه با میانگین ۳/۳۶ سانتی‌متر در تیمار کلرید کلسیم در شرایط نور مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت. پس از این تیمار، تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه قرار داشت که با تیمارهای نفتالین استیک‌اسید و ترکیب توأم آن با کلرید کلسیم در شرایط سایه و تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین قطر میوه (۲/۳۱ سانتی‌متر) در تیمار شاهد در شرایط سایه مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد میوه (۱۰۲/۳۳ گرم) در تیمار

کلرید کلسیم در شرایط سایه مشاهده شد. پس از آن تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه قرار داشت که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه داشت. در شرایط نور، کمترین طول بوته (۲۱/۰ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور نداشت اما با تیمار کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۲).

شدت‌های پایین نور سبب ایجاد شرایط تاریک‌رویی در گیاهان می‌شوند که در هر گیاهی شدت نور آستانه برای تحریک تاریک‌رویی متفاوت است. در پژوهش حاضر در تیمار سایه، اثری از تاریک‌رویی در هیچ‌کدام از گیاهان مشاهده نشد. بالاترین شدت نور در شرایط معمولی حدود ۲۳۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود درحالی که در شرایط شاهد کمترین شدت نور به ۶۵۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه رسید. توت‌فرنگی گیاهی است که نیاز به نور مستقیم و به‌نسبت شدید دارد اما در شدت نور بین ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه به اشباع نوری می‌رسد (۱۰ و ۱۸). در این پژوهش شرایط استفاده از سایه‌بان سبب کاهش نور شد اما به‌نظر می‌رسد که شدت نور به حدی کاهش یافت که سبب جلوگیری از اثرات مخرب شدت بالای نور شد. بررسی‌های هیده و همکاران (۱۹) نشان داد میزان رشد دمبرگ یک شاخص رشدی برای توت‌فرنگی است و اغلب به‌عنوان شاخصی از قدرت رویشی گیاه استفاده می‌شود که این رشد در پاسخ به عوامل محیطی و با توجه به قدرت نمو گیاه است. طبق نتایج به‌دست آمده نشان داده شد که بیشترین رشد رویشی در شرایط سایه حاصل شد.

بوته‌هایی که در شرایط نیمه‌سایه قرار گرفتند به‌دلیل آماس سلولی بالاتر پتانسیل رشد رویشی بیشتری دارند. به‌نظر می‌رسد در این پژوهش نیز سایه‌دهی باعث کاهش تبخیر از سطح گیاه شده و به‌همین دلیل نیز رشد افزایش یافته است. چوبی و همکاران (۱۲) با بررسی اثر سایه روی توت‌فرنگی

صفات کیفی میوه (سفتی بافت، مواد جامد محلول، پی‌اچ و اسیدیته قابل تیتراسیون)

اثر شدت نور در سطح یک درصد بر مواد جامد محلول، پی‌اچ و اسیدیته قابل تیتراسیون معنی‌دار شد اما بر سفتی میوه معنی‌دار نشد. اثر محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر سفتی، پی‌اچ و اسیدیته قابل تیتراسیون معنی‌دار شد اما بر مواد جامد محلول معنی‌دار نشد. برهم‌کنش محلول‌پاشی و شدت نور در سطح پنج درصد بر سفتی، و در سطح یک درصد بر اسیدیته قابل تیتراسیون معنی‌دار شد اما بر مواد جامد محلول و پی‌اچ معنی‌دار نشد (جدول ۳).

برهم‌کنش تیمارها نشان داد که بیشترین سفتی میوه (۳۴۲/۰ نیوتن بر سانتی‌متر مربع) مربوط به تیمار کلرید کلسیم در شرایط نور بود که اختلاف زیادی با تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه و تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه نداشت. کمترین سفتی بافت میوه (۲۴۰/۷ نیوتن بر سانتی‌متر مربع) در تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه مشاهده شد که با تیمار شاهد در شرایط سایه، نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور و شاهد در شرایط نور اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون (۰/۱۹ درصد) در تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه مشاهده شد پس از آن تیمار شاهد در شرایط سایه، تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه، تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه، شاهد در شرایط نور و تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور قرار گرفت. کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون (۰/۰۹ درصد) در تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور مشاهده شد که با تیمار کلرید کلسیم در شرایط نور اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

در این پژوهش کلرید کلسیم بهتر از سایر تیمارها توانست در حفظ سفتی بافت مؤثر واقع شود. افزایش میزان سفتی در اثر استفاده از کلرید کلسیم به دلیل نقشی است که عنصر کلسیم در ساختار دیواره سلولی دارد زیرا باعث استحکام دیواره سلولی شده و تورژسانس سلولی را حفظ کرده در نتیجه باعث سفتی

کلرید کلسیم در شرایط نور مشاهده شد و پس از آن در ترکیب تیمار توأم نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم در شرایط نور مشاهده شد که با تیمارهای کلرید کلسیم و ترکیب توأم آن با نفتالین استیک‌اسید در شرایط سایه و تیمار نفتالین استیک‌اسید در شرایط نور اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد (۵۷/۶۵ گرم) در تیمار شاهد در شرایط سایه مشاهده شد که با تیمار شاهد در شرایط نور (۶۲/۷۹ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

در این پژوهش کلرید کلسیم تأثیر مثبتی روی عملکرد داشته در حالی که بیشترین عملکرد از تیمار کلرید کلسیم به دست آمد که با تیمارهای دیگر و شاهد تفاوت معنی‌دار داشت. این نتایج با نتایج کاظمی (۲۳) و همچنین پیوست و همکاران (۳۰) مبنی بر افزایش عملکرد پس از تیمار کلسیم همخوانی دارد. در پژوهش حاضر با توجه به سن کم گیاهان و همچنین یکنواخت‌سازی گیاهان، میوه زیادی حاصل نشد یکی از دلایل تأثیر متفاوت تیمارها، ممکن است به میزان عملکرد بوته‌ها ارتباط داشته باشد که بررسی آن ضروری است.

شرایط سایه در این پژوهش باعث کاهش عملکرد شده و بیشترین عملکرد در شرایط نور به دست آمد. شرایط سایه، موجب کاهش شدت نور در سطح گیاه شده و میزان فتوسنتز برگ‌های توت‌فرنگی و تولید میوه را کاهش داده و احتمالاً از این طریق باعث کاهش عملکرد کل بوته شده است. که با نتایج چویی و همکاران (۱۲) مبنی بر کاهش عملکرد در شرایط سایه در توت‌فرنگی همخوانی دارد. کاهش اساسی در عملکرد گیاهان تحت تنش‌های محیطی نظیر سایه‌اندازی مورد انتظار بود و پیش‌بینی می‌شد که به دلیل کاهش مقدار نور عبوری از سایه‌انداز گیاهان و کاهش میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده توسط گیاه، ماده خشک کمتری نیز تولید شود همچنین میزان فتوسنتز برگ‌های جوان رشد کرده در زیر نور کامل روز بیشتر از برگ‌های است که در معرض انواع سطوح سایه قرار می‌گیرند (۱۷).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید روی صفات کیفی میوه توت فرنگی رقم پاروس در شرایط سایه

منابع تغییر	درجه آزادی	میگکن مربعات				
		سفتی بافت میوه	مواد جامد محلول	پی اچ	اسیدیته قابل تیتراسیون	آنتوسیانین کل
بلوک	۲	۱۳۸۰/۳*	۰/۸۶	۰/۰۰۸۹۵	۰/۰۰۲۰	۱۷/۶۱
شدت نور	۱	۲/۰۴۲ ^{ns}	۱۲/۴۷**	۰/۰۱۸۵۵**	۰/۰۱۱۱۷**	۵۸/۹۶**
محلول پاشی	۳	۱۲۱۳۵/۳۸**	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۰۲۶۳۸**	۰/۰۰۰۰۹*	۳۷/۳۸**
برهم کنش محلول پاشی و شدت نور	۷	۱۰۰۵/۱۵*	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۰۰۲۶ ^{ns}	۰/۰۰۲۶**	۲۰/۹۹**
خطای آزمایشی	۱۴	۲۰۳/۳۴	۰/۱۲	۰/۰۰۰۹۶	۰/۰۰۰۰۲	۱/۶۹
ضریب تغییر (درصد)	-	۴/۹۹	۵/۱۱	۰/۹۳	۱۰/۲۶	۸/۳۱

ns * و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار، معنی دار در سطح پنج درصد و معنی دار در سطح یک درصد است.

جدول ۴. اثر محلول پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید روی صفات کیفی میوه توت فرنگی رقم پاروس در شرایط سایه

تیمار	سفتی (نیوتن بر سانتی متر مربع)	آنتوسیانین کل			
		(درصد)	(میلی گرم در گرم وزن تازه)	(میلی گرم گالیک اسید در گرم وزن تازه)	فعالیت آنتی اکسیدان (درصد بازدارندگی)
نور x شاهد	۲۶۹/۷ ^{bc}	۰/۱۵ ^b	۰/۳۸ ^c	۰/۹۵ ^{bc}	۴۱/۹ ^{bc}
CaCl ₂ x نور	۳۴۲/۰ ^a	۰/۱۰ ^c	۰/۴۱ ^c	۰/۵۶ ^c	۱۷/۲۳ ^c
NAA x نور	۲۴۶/۰ ^c	۰/۰۹ ^c	۰/۵۳ ^b	۱/۰۵ ^{ab}	۳۳/۰۶ ^{bc}
نور x (NAA+CaCl ₂)	۲۸۶/۳ ^b	۰/۱۵ ^b	۰/۳۹ ^c	۱/۱۳ ^a	۷۲/۱۲ ^a
سایه x شاهد	۲۴۱/۰ ^c	۰/۱۷ ^b	۰/۴۹ ^b	۰/۹۲ ^c	۳۶/۶۴ ^{bc}
سایه x CaCl ₂	۳۳۹/۷ ^a	۰/۱۵ ^b	۰/۴۶ ^{bc}	۰/۶۰ ^c	۱۹/۴۱ ^c
سایه x NAA	۲۴۰/۷ ^c	۰/۱۹ ^a	۰/۶۱ ^a	۰/۷۲ ^d	۵۲/۶۳ ^{ab}
سایه x (NAA+CaCl ₂)	۳۲۰/۳ ^a	۰/۱۶ ^b	۰/۵۳ ^b	۰/۷۶ ^d	۳۸/۵۱ ^{bc}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده ناشن اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است. CaCl₂=کلرید کلسیم (۷۵ درصد)، NAA=نفتالین استیک اسید (۲۵ میلی گرم در لیتر)

دیگر تیمارها اختلاف معنی دار داشت و کمترین آنتوسیانین کل (۰/۳۸ میلی گرم در گرم وزن تازه) در شاهد در شرایط نور مشاهده شد که اختلاف معنی داری با تیمار کلرید کلسیم در شرایط نور، ترکیب توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید در شرایط نور و تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه نداشت (جدول ۴). در شرایط نور فنول کل افزایش یافت. با اینکه در شرایط نور تیمارهای محلول پاشی اثرات متفاوتی بر محتوای فنول داشتند. تیمارهای محلول پاشی در شرایط سایه در مقایسه با تیمار شاهد سبب کاهش محتوای فنول کل شد. بالاترین میزان فنول کل (۱/۱۲ میلی گرم در گرم وزن تازه) مربوط به تیمار توأم کلرید کلسیم با نفتالین استیک اسید در شرایط نور به دست آمد که اختلاف معنی دار با تیمار نفتالین استیک اسید در شرایط نور نداشت. تیمار نفتالین استیک اسید و تیمار توأم نفتالین استیک اسید و کلرید کلسیم در شرایط سایه با هم اختلاف معنی داری نداشتند اما با تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید در شرایط نور اختلاف معنی داری داشتند. کمترین میزان فنول کل (۰/۵۶ و ۰/۶۰ میلی گرم در گرم وزن تازه) به ترتیب مربوط به تیمارهای کلرید کلسیم در شرایط نور و کلرید کلسیم در شرایط سایه مشاهده شد (جدول ۶).

بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی (۷۲/۱۲ درصد) در تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید در شرایط نور به دست آمد که اختلاف معنی داری با تیمار نفتالین استیک اسید در شرایط سایه نداشت و کمترین فعالیت آنتی اکسیدانی به ترتیب در تیمار کلسیم کلرید در شرایط نور (۱۷/۲۳ درصد) و تیمار کلسیم کلرید در شرایط سایه (۱۹/۴۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۶).

توت فرنگی میوه ای غنی از آنتوسیانین ها و سایر ترکیبات فنولی است (۱۶). آنتوسیانین ها از طریق فنیل پروپانویید از فنیل آلانین و مسیر فلاونوئیدی سنتز می شوند. مقادیر آنتوسیانین و ترکیبات فنولی در میوه ها تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و زیست محیطی قرار می گیرند. عوامل داخلی و خارجی تأثیر گذار در بیوسنتز آنها از جمله غلظت قندها، نور، هورمون ها و وضعیت

بافت میوه می شود. که این نتایج با گزارش پژوهشگرها بارکر و پیل بـم (۷) و هرناندز و همکاران (۲۰) روی توت فرنگی مطابقت داشت.

نتایج این پژوهش در شرایط نور برخلاف نتایج واحدان و همکاران (۳۷) بود که گزارش کردند تیمار ۴۰ و ۶۰ میلی گرم در لیتر نفتالین استیک اسید و ۲ درصد کلرید کلسیم باعث افزایش استحکام در انبه می شود اما در شرایط سایه مطابقت داشت. فیگوارا و همکاران (۱۵) نیز گزارش کردند اثرات کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید با هم در بهبود سفتی بافت میوه توت فرنگی به طور قابل توجهی معنی دار نشد که نتایج پژوهش حاضر با آن مطابقت داشت. در این پژوهش کاهش سفتی بافت میوه در اثر محلول پاشی نفتالین استیک اسید با نتایج پژوهش اوزکان و همکاران (۲۹) که بیان کردند استفاده از نفتالین استیک اسید سبب کاهش سفتی در میوه سیب شده است مطابقت دارد.

در این پژوهش بیشترین اسیدیت میوه در شرایط سایه به دست آمد که با نتایج نراقی و همکاران (۲۷) مطابقت نداشت آنها گزارش کردند افزایش سایه اندازی از ۱۵ به ۶۰ درصد، اسیدیت میوه گوجه فرنگی را کاهش داد. همچنین چویی و همکاران (۱۲) گزارش کردند اسیدیت کل در میوه های توت فرنگی تحت شرایط ۷۰ درصد سایه به مقدار کمی کاهش می یابد.

آنتوسیانین، فنول کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی

اثر شدت نور بر میزان آنتوسیانین کل و فنول کل در سطح یک درصد معنی دار شد اما بر فعالیت آنتی اکسیدانی معنی دار نشد. اثر محلول پاشی بر آنتوسیانین کل، فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح یک درصد معنی دار شد. برهم کنش محلول پاشی و شدت نور بر آنتوسیانین کل و فنول کل در سطح یک درصد و بر فعالیت آنتی اکسیدانی در سطح پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳).

بیشترین آنتوسیانین کل (۰/۶۱ میلی گرم در گرم وزن تازه) در تیمار نفتالین استیک اسید در شرایط سایه مشاهده شد که با

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر محلول پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید روی برخی از عناصر میوه، برگ و دمبرگ توت فرنگی رقم پاروس در شرایط سایه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کلسیم برگ	کلسیم میوه	کلسیم دمبرگ
بلوک	۲	۰/۰۶۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۳
شدت نور	۱	۰/۰۶۷**	۰/۰۳۴**	۰/۰۰۷ ^{ns}
محلول پاشی	۳	۰/۰۷۹**	۰/۰۲۰**	۰/۱۲۱**
برهم کنش محلول پاشی و شدت نور	۷	۰/۰۷۱**	۰/۰۱۸**	۰/۰۷۷**
خطای آزمایشی	۱۴(۱۳) ^z	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
ضریب تغییر (درصد)	-	۵/۳۰	۶/۶۰	۴/۷۸

ns و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی دار و معنی دار در سطح یک درصد است. z: درجه آزادی برای صفت کلسیم میوه برابر ۱۳ است.

جدول ۶. میانگین اثر محلول پاشی کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید روی غلظت کلسیم در برگ، میوه و دمبرگ توت فرنگی رقم پاروس در شرایط سایه

تیمار	کلسیم برگ	کلسیم میوه	کلسیم دمبرگ
	(درصد)		
نور × شاهد	۱/۵۱ ^{cd}	۰/۳۹ ^c	۱/۴۴ ^{bc}
نور × CaCl ₂	۱/۴۰ ^d	۰/۵۹ ^a	۱/۵۳ ^b
نور × NAA	۱/۵۳ ^{cd}	۰/۵۱ ^b	۱/۳۸ ^c
نور × (NAA+CaCl ₂)	۱/۸۷ ^a	۰/۴۱ ^c	۱/۴۵ ^{bc}
سایه × شاهد	۱/۶۴ ^{bc}	۰/۵۶ ^{ab}	۱/۵۱ ^b
سایه × CaCl ₂	۱/۷۶ ^{ab}	۰/۶۰ ^a	۱/۷۰ ^a
سایه × NAA	۱/۶۱ ^{bc}	۰/۵۲ ^b	۱/۲۵ ^d
سایه × (NAA+CaCl ₂)	۱/۷۳ ^{ab}	۰/۵۰ ^b	۱/۲۰ ^d

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن

است. CaCl₂: کلرید کلسیم (۰/۷۵ درصد)، NAA: نفتالین استیک اسید (۲۵ میلی گرم در لیتر)

نداشت. آنها نشان دادند تفاوت معنی داری در محتوای آنتوسیانین بین میوه‌هایی که در شرایط سایه رشد کرده‌اند با میوه‌های شاهد وجود دارد و محتوای آنتوسیانین میوه‌های توت فرنگی تحت تیمار سایه به حداقل رسید.

بالا بودن میزان فنول کل در شرایط نور معمولی در تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک اسید به دست آمد که با پژوهش دوکولزیان و کلیور (۱۳) که گزارش کردند فنول میوه

مواد غذایی است (۲۲). نتایج این پژوهش مخالف نتایج زو و همکاران (۳۸) بود که نشان داده شد محلول پاشی برگ‌گی کلرید کلسیم روی توت فرنگی تجمع آنتوسیانین‌ها را در میوه افزایش داده این ممکن است به دلیل فعال کردن ژن‌های مسیر فلاونوئیدها باشد که توسط کلسیم تحریک می‌شوند. برهم کنش تیمارها نشان داد که بیشترین آنتوسیانین در شرایط سایه به دست آمده که این موضوع با نتایج چویی و همکاران (۱۲) مطابقت

کلسیم وجود نداشت. حداکثر کلسیم میوه (۶۰٪ درصد) مربوط به تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه و نور بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد در شرایط سایه نداشت. در شرایط نور کمترین مقدار کلسیم میوه در تیمار شاهد مشاهده شد که با تیمار توأم نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط سایه بین تیمارهای شاهد، نفتالین استیک‌اسید و تیمار توأم نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین کلسیم دمبرگ (۱۷۰٪ درصد) تحت تأثیر تیمار کلرید کلسیم در شرایط سایه قرار گرفت و با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد پس از آن تیمار کلرید کلسیم در شرایط نور قرار گرفت که با تیمار شاهد در شرایط سایه، تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید و شاهد در شرایط نور اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط نور کمترین مقدار کلسیم دمبرگ در تیمار نفتالین استیک‌اسید مشاهده شد که با تیمار نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم اختلاف معنی‌داری نشان نداد. اما بیشتر از تیمارهای در شرایط سایه بود. در شرایط سایه، کمترین مقدار کلسیم ساقه در تیمار نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار نفتالین استیک‌اسید نداشت (جدول ۶).

همانطور که مشخص است غلظت کلسیم در برگ بیشتر از دمبرگ و میوه است. افزایش کلسیم در برگ نسبت به میوه به دلیل تفاوت زیاد تعرق بین میوه‌ها و برگ‌ها است. همچنین بیشتر بودن کلسیم برگ می‌تواند به سطح برگ زیاد و جذب بیشتر از سطح برگ پس از کاربرد کلرید کلسیم ارتباط داشته باشد. جریان شیر خام در آوند چوبی بیشتر به سمت برگ‌های تعرق‌کننده هدایت می‌شود که این مسئله منجر به افزایش چندین برابری غلظت کلسیم برگ نسبت به میوه می‌شود. همچنین حرکت کلسیم در گیاه با جریان تعرق همراه بوده و به نقاطی می‌رود که تعرق بیشتر است. از آنجا که در میوه تعرق کمتری صورت می‌گیرد، جریان شیر خام حاوی کلسیم نیز به طرف میوه کاهش پیدا می‌کند. از سویی، حرکت کلسیم در آوند آبکش به‌کندی صورت می‌گیرد و به همین دلیل کلسیم

در نور کامل خورشید بالا بوده مطابقت داشت. گزارش شده در کاهو کاهش در محتوای فنول کل همراه با کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی است که از مشتقات ترکیبات فنولی است (۵).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی دیگر از معیارهای مهم برای ارزیابی کیفیت ارقام است که در این پژوهش حداکثر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار توأم نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم در شرایط نور به‌دست آمد. چوبی و همکاران (۱۲) گزارش کردند فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت‌فرنگی تحت تیمار ۴۰ و ۷۰ درصد سایه کاهش قابل توجه یافت. همچنین گزارش کردند هنگامی که محتوای فنول کل میوه‌ها مقایسه شد، میوه‌های رشد کرده تحت شرایط سایه تقریباً ۱۸ درصد کمتر از میوه‌های شاهد فنول داشتند. استگناری و همکاران (۳۶) بیان کردند در کاهو فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط سایه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. می‌توان گفت نفتالین استیک‌اسید اثر به تعویق انداختن رسیدگی را در میوه توت‌فرنگی با تأثیر روی ترکیبات فنولی که شامل آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدها است بر جای می‌گذارد (۸).

غلظت عنصر غذایی کلسیم

شدت نور روی غلظت کلسیم میوه و برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد اما اثری بر غلظت کلسیم ساقه نداشت. محلول‌پاشی بر غلظت کلسیم برگ، میوه و ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. برهم‌کنش محلول‌پاشی و شدت نور بر غلظت کلسیم برگ، میوه و دمبرگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

بیشترین کلسیم برگ (۱/۸۷ درصد) در تیمار نفتالین استیک‌اسید همراه کلرید کلسیم در شرایط نور مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کلرید کلسیم در شرایط سایه و تیمار نفتالین استیک‌اسید همراه با کلرید کلسیم در شرایط سایه نداشت. در شرایط سایه اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و نفتالین استیک‌اسید وجود نداشت. همچنین در شرایط نور نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد، نفتالین استیک‌اسید و کلرید

برگ به راحتی نمی‌تواند به میوه انتقال یابد (۲۶).

محلول‌پاشی با کلرید کلسیم بر بوته‌های توت‌فرنگی سبب افزایش میزان کلسیم بافت برگ و میوه در شرایط سایه شد و همچنین در شرایط نور سبب افزایش غلظت کلسیم میوه شد اما غلظت کلسیم برگ را کاهش داد. نتایج این تحقیق با نتایج سینگ و همکاران (۳۴) که گزارش کردند کاربرد قبل از برداشت کلرید کلسیم باعث افزایش قابل توجهی کلسیم در برگ و میوه توت‌فرنگی رقم چندلر می‌شود و غلظت کلسیم برگ توت‌فرنگی با کاربرد محلول‌پاشی کلرید کلسیم افزایش می‌یابد، مطابقت داشت.

همچنین موافق نتایج عبدالملکی و همکاران (۳) بود. آنها بیان کردند مقدار کلسیم در برگ‌ها به‌طور مداوم همراه با افزایش سطح کلسیم افزایش می‌یابد و کمترین مقدار کلسیم در برگ‌های گیاهان شاهد مشاهده شد. همچنین با نتایج چئور و همکاران (۱۱) که معتقد بودند محلول‌پاشی کلرید کلسیم در گیاهان توت‌فرنگی باعث افزایش محتوای کلسیم میوه می‌شود مطابقت داشت. با نتایج مدنی و همکاران (۲۴) روی خریزه درختی و شیرری و همکاران (۳۳) روی کیوی مطابقت داشت که گزارش کردند محلول‌پاشی کلرید کلسیم باعث افزایش محتوای کلسیم میوه می‌شود.

در پژوهش حاضر غلظت کلسیم برگ در شرایط نور تحت تأثیر تیمار ترکیبی نفتالین استیک‌اسید و کلرید کلسیم قرار گرفت و بیشترین مقدار کلسیم برگ (۱/۸۷ درصد) در این تیمار در شرایط نور مشاهده شد. اما در شرایط سایه، اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. نفتالین استیک‌اسید به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد به‌تنهایی در شرایط نور و سایه تأثیری بر جذب کلسیم در برگ، میوه و دمبرگ توت‌فرنگی نداشت که این با نتایج برخی پژوهشگران که گزارش کردند کاربرد اکسین به‌همراه کلسیم روی درختان سیب، باعث افزایش انتقال کلسیم به میوه می‌شود و همچنین با کاربرد غلظت بالای اکسین روی سطح میوه، انتقال کلسیم بیش از اندازه انجام شده و می‌تواند کیفیت میوه را کاهش دهد مطابقت نداشت (۳۹). گزارش شده

استفاده از کلرید کلسیم با نفتالین استیک‌اسید باعث افزایش غلظت کلسیم در میوه‌های سیب می‌شود (۳۲) که در پژوهش حاضر نتایج متفاوتی مشاهده شد.

در شرایط آب‌وهوایی محل اجرای پژوهش حاضر، در تیمار نور معمولی شدت نور بسیار بالا بود و این موضوع در برخی از زمان‌ها می‌تواند سبب ایجاد شرایط تنش نوری و بسته شدن روزنه‌ها و پس از آن کاهش رشد و همچنین کاهش تعرق از سطح برگ شود. در این شرایط جذب و انتقال کلسیم می‌تواند کاهش یابد. اما استفاده از سایبان در شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک به‌شرط عدم کاهش بیش از اندازه نور می‌تواند منجر به تحریک رشد و افزایش تعرق از سطح برگ شود و از این طریق سبب افزایش جذب و انتقال کلسیم شود که این موضوع نیاز به بررسی بیشتر دارد.

محلول‌پاشی کلرید کلسیم با نفتالین استیک‌اسید در گیاهان گوجه‌فرنگی و سیب باعث حرکت بهتر کلسیم می‌شود (۱) و (۳۲). نفتالین استیک‌اسید ممکن است باعث توسعه بافت‌های آوند چوبی شود و در جذب و انتقال کلسیم مفید باشد. مشاهده شده که محتوای کلسیم برگ در گیاه گوجه‌فرنگی افزایش قابل توجهی نسبت به گیاهان شاهد داشته و جذب کلسیم بالاتری در گیاهان تیمار شده با کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید رخ داده است. در پژوهش حاضر نیز در تیمار توأم کلرید کلسیم و نفتالین استیک‌اسید، محتوای کلسیم برگ افزایش یافت. افزایش محتوای کلسیم ممکن است به‌خاطر نفتالین استیک‌اسید باشد چون مکان‌های تبادل کاتیونی را برای تجمع کلسیم افزایش می‌دهد (۲۶). بنابراین نفتالین استیک‌اسید نقش مهمی در تنظیم و حمل‌ونقل کلسیم دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که شرایط نور و سایه بر رشد و ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی مؤثر است. به‌طوری که در شرایط سایه رشد رویشی و سطح برگ افزایش یافت. علاوه بر این با توجه به اینکه شدت نور بررسی شده در شرایط سایه

رشدی مؤثر بود، اما در خصوص مؤثر بودن آن برای افزایش جذب کلسیم در شرایط سایه نیاز به بررسی‌های بیشتری وجود دارد. همچنین با توجه به بهبود محتوای کلسیم برگ توسط تیمار نفتالین استیک اسید، پیشنهاد می‌شود کاربرد زودتر کلرید کلسیم به همراه نفتالین استیک اسید در شرایط سایه بر جذب و انتقال کلسیم در برگ و میوه مورد بررسی قرار گیرد.

حدود ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود، سبب رشد به صورت تاریک‌رویی نشد. کاربرد کلرید کلسیم سبب بهبود جذب کلسیم شد و غلظت کلسیم در برگ و میوه افزایش یافت و سبب افزایش سفتی بافت میوه شد. بنابراین تغذیه کلسیم برای بهبود سفتی بافت میوه و همچنین کیفیت میوه قابل توصیه است. اگرچه کاربرد نفتالین استیک اسید بر برخی صفات

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, N. A., L. Zafar, H. A. Khan and A. A. Qureshi. 2013. Effects of naphthalene acetic acid and calcium chloride application on nutrient uptake, growth, yield and postharvest performance of tomato fruit. *Pakistan Journal of Botany* 45(5): 1581-1587.
2. Abdel-shafy, H., W. Hegemann and A. Teiner. 1994. Accumulation of metals by vascular plants. *Environmental Management and Health* 5: 21-24.
3. Abdolmaleki, M., M. Khosh-Khui, S. Eshghi and A. Ramezani. 2015. Improvement in vase life of cut rose cv. Dolce Vita by preharvest foliar application of calcium chloride and salicylic acid. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 2(1): 55-66.
4. Akhatou, L. and A. Fernandez. 2014. Influence of cultivar and culture system on nutritional and organoleptic quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(5): 866-875.
5. Altunkaya, A. and V. Gokmen. 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry* 107(3): 1173-1179.
6. Alzamora, S. M., D. Salvatori, M. S. Topia, A. Lopez-Malo, J. Welte-chanes. and F. Fito. 2005. Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering* 67(1): 205-214.
7. Barker, A.V. and D. J. Pilbeam. 2015. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press.
8. Bottcher, C., R. A. Kyzers, P. K. Boss and C. Davies. 2011. Sequestration of auxin by the indole-3-acetic acid-amido synthetase GH3-1 in grape berry (*Vitis vinifera* L.) and the proposed role of auxin conjugation during ripening. *Journal of Experimental Botany* 61(13): 3615-3625.
9. Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier and C. L. W. T. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28(1): 25-30.
10. Carlen, C., A. M. Potel and A. Ancay. 2009. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperatures. *Acta Horticulturae* 838: 73-76.
11. Cheour, F., C. Willemot, J. Arul, Y. Desjardins, J. Makhlof, P. M. Charest and A. Gosselina. 1990. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115(5): 789-792.
12. Choi, H. G., B. Y. Moon, N. J. Kang, J. K. Kwon, K. Bekhzod, K. S. Park and S. Y. Lee. 2014. Yield loss and quality degradation of strawberry fruits cultivated under the deficient insolation conditions by shading. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 55(4): 263-270.
13. Dokoozlian, N. K. and W. M. Kliewer. 2006. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121(5): 869-874.
14. Fao. 2019. Food and Agriculture Organization of United Nation. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Access date: 29 August, 2019.
15. Figueroa, C. R., M. C. Opazo, P. Vera, O. Arriagada, M. Diaz and M. A. Moya-Leon. 2012. Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit. *Food Chemistry* 132(4): 2014-2022.
16. Floegel, A., D. O. Kim, S. J. Chung, W. O. Song, M. L. Fernandez, R. S. Bruno, S. I. Koo and O. K. Chun. 2010. Development and validation of an algorithm to establish a total antioxidant capacity database of the US diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 61(6): 600-623.
17. Gregoriou, K., K. Pontikis and S. Vemmos. 2007. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 45: 172-181.
18. Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishing.

19. Heide, O. M., J. A. Stavang and A. Sonstebj. 2013. Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries-a review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 88(1): 1-18.
20. Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, V. Del Valle, D. Velez and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110(2): 428-435.
21. Irfan, P. K., V. Vanjakshi, M. N. Keshava Prakash, R. Ravi and V. B. Kudachikar. 2013. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life. *Postharvest Biology and Technology* 82: 70-75.
22. Jaakola, L. 2013. New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. *Trends in Plant Science* 18(9): 477-483.
23. Kazemi, M. 2014. Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. Pajaro. *Trakia Journal of Sciences* 1: 21-26.
24. Madani, B., M. T. M. Mohamed, A. R. Biggs, J. Kadir, Y. Awang, A. Tayebimeigooni and T. R. Shojaei. 2014. Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya. *Crop Protection* 55: 55-60.
25. Marshner, H. 1990. Mineral Nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK.
26. Mengal, K. E. and A. Kirkby. 2001. Principles of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
27. Naraghi, M., M. Lotfi and M. delight. 2010. The effect of different shading levels on physiological and agricultural characteristics of tomato plants. 2. Yield and fruit quality. *Acta Horticulturae* 323: 349-354.
28. Neri, D., G. Baruzzi, F. Massetani and W. Faedi. 2012. Strawberry production in forced and protected culture in Europe as a response to climate change. *Canadian Journal of Plant Sciences* 92(6): 1021-1036.
29. Ozkan, Y., E. Altuntas, B. Ozturk, K. Yildiz and O. Saracoglu. 2012. The effect of NAA (1-naphthalene acetic acid) and AVG (aminoethoxyvinylglycine) on physical, chemical, colour and mechanical properties of Braeburn apple. *International Journal of Food Engineering* 8(3): 17.
30. Peyvast, G., J. A. Olfati, P. Ramezani-Kharazi and S. Kamari-Shahmaleki. 2009. Uptake of calcium nitrate and potassium phosphate from foliar fertilization by tomato. *Journal of Horticulture and Forestry* 1(1): 7-13.
31. Rapisarda, P., F. Fanella and E. Maccarone. 2000. Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48(22): 49-52.
32. Rehman, M. U., G. H. Rather, Y. Gull, M. M. Mir and I. Umar. 2017. Effect of 1-naphthaleneacetic acid and calcium chloride on preharvest drop and quality of Red Delicious apples. *Canadian Journal of Plant Science* 97(5) 902-905.
33. Shiri, M. A., M. Ghasemnezhad, J. Fatahi Moghadam and R. Ebrahimi. 2016. Effect of CaCl₂ sprays at different fruit development stages on postharvest keeping quality of Hayward Kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation* 40(4): 624-635.
34. Singh, R., S. K. Tyagi and R. R. Sharma. 2007. Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 112(2): 215-220.
35. Singleton, V. L. and J. A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158.
36. Stagnari, F., A. Galieni and M. Pisante. 2015. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. *Scientia Horticulturae* 192: 70-79.
37. Wahdan, M. T., S. E. Habib, M. A. Bassal and E. M. Qaoud. 2011. Effect of some chemicals on growth, fruiting, yield and fruit quality of Succary Abiad mango cv. *Journal of American Science* 7(2): 651-658.
38. Xu, W., H. Peng, T. Yang, B. Whitaker, L. Huang, J. Sun and P. Chen. 2014. Effect of calcium on strawberry fruit flavonoid pathway gene expression and anthocyanin accumulation. *Plant Physiology and Biochemistry* 82: 289-298.
39. Zhou, W. 2003. Study on characteristics of calcium uptake by young fruit of apple (*Malus pumila*) and its regulation by hormone. *Chinese Agricultural Sciences* 61:102-106.

Effect of Light Intensity and Foliar Application of Calcium Chloride and Naphthalene Acetic Acid on Growth and Yield of Strawberry cv. Paros

S. Sharifi¹ and H. Sarikhani^{2*}

(Received: October 31-2018; Accepted: October 22-2019)

Abstract

The role of calcium in the growth, fruiting and preservation of the quality of strawberries, has been well known. In this research, effect of calcium chloride along with naphthalene acetic acid (NAA) under shade conditions on growth, yield and quality of Paros strawberry was investigated. The experiment was a factorial with two factors of light intensity (normal light and shade condition) and calcium chloride and NAA treatment (control, 0.75% calcium chloride, 25 mg/L NAA, and 0.75% calcium chloride + 25 mg/L NAA). The results showed that spraying NAA and calcium chloride under shade conditions increased plant growth when compared with light conditions. Under normal light conditions, calcium chloride treatment increased the fruit diameter and yield in comparison with control treatment under light and shade conditions. The highest fruit firmness (342.0 N/cm²) was observed in the treatment of calcium chloride under light and shade conditions. NAA treatment under shade conditions resulted in higher anthocyanin. The treatment of calcium chloride + NAA in normal light condition showed higher total phenol (1.12 mg/g FW) and antioxidant activity (72.12%). Calcium chloride treatment increased the amount of calcium in the fruits by nearly 50%. Moreover, calcium chloride treatment in shade condition led to a 12% increase in calcium content of petiole, in comparison to those of control in shade condition. Calcium chloride along with NAA treatment increased leaf calcium compared to control treatment in light conditions. From the present results, it can be concluded that treatment of plant by calcium chloride alone in both light and shade conditions can increase the qualitative and quantitative characteristics of fruits of Paros cultivar of strawberry. Similarly, in some conditions, the use of NAA can, increase the absorption of calcium by the leaves.

Keywords: Absorption, Petiol length, calcium chloride, Auxin, shade

1, 2. MSc. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: sarikhani@basu.ac.ir