Archive of SID

نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی
دوره دوم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۸، (ص ۱۵-۳۱)

تاثیر کلات آهن بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه

سعید رضائی[۱]، محمد اسماعیل امیری[۲]، عباس بهاری[۳*]، فرهنگ رضوی[٤]، مرتضی سلیمانی اقدم[٥]

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی و اصلاح درختان میوه، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
Rezaei.s@znu.ac.ir
۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
m-amiri@znu.ac.ir
۳- نویسنده مسئول و استادیار پژوهشکده فناوری های نوین زیستی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
bahari@znu.ac.ir
٤- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
razavi.farhang@znu.ac.ir
٥ – استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره). قزوین. ایران
aghdamm@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۳

چکیده

عنصر آهن (Fe) ریز مغذی ضروری گیاهان می‌باشد که در بسیاری از پدیده‌های فیزیولوژیکی نقش اساسی دارد. هدف از این تحقیق محلول‌پاشی کلات آهن، تعیین غلظت بهینه و تاثیر آن بر خصوصیات بیوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم کاماروسا بود. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. بدین منظور، ابتدا در یک پیش آزمایش تاثیر مقادیر مختلف آهن (صفر-۲۰۰-٤۰۰-٦۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰-۱۲۰۰-۱٤۰۰-۱٦۰۰-۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومول بر لیتر) در زمان‌های سه، شش، نه و دوازده روز بعد از محلول‌پاشی در برخی صفات توت‌فرنگی بررسی گردید. سپس غلظت ۱٤۰۰ میکرومول بر لیتر به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفته شد و نمونه‌های حاصل از این غلظت جهت سنجش بقیه صفات انتخاب گردیدند. نتایج نشان داد اثر این غلظت از آهن بر ویتامین ث، مواد جامد محلول (TSS)، سفتی بافت، فنول و فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین، باعث افزایش ۱۰/۰۷ درصدی DPPH، ۱۳/۲درصدی TSS، ۲۱/٤۳ درصدی ویتامین ث و ۲۸/۲ درصدی فعالیت آنزیم PAL در مقایسه با شاهد شد. میزان فنول و فلاونوئید کل میوه‌های تیمار شده با آهن به ترتیب ۳٦/٥٤ و ۳۱/۷٦ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر مشاهده شد. دلایل اصلی تاثیر آهن را می‌توان به افزایش آهن درونی گیاه، کاهش رقابت بین رشد رویشی و زایشی همچنین، کارآیی بهتر فتوسنتز مرتبط دانست. بطور کلی، یافته‌ها نشان داد که استفاده از کلات آهن با غلظت ۱٤۰۰ میکرومول بر لیتر تأثیر بسزایی در بهبود خصوصیات کمی و کیفی میوه‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا داشت.

کلمات کلیدی: آهن، خواص آنتی‌اکسیدانی، PAL، میوه توت‌فرنگی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی (*Fragaria ×ananassa* Duch.) یکی از مهم‌ترین میوه‌های ریز مناطق معتدله است که به دلیل دارا بودن عطر و طعم خاص و ریز مغذی‌های فراوان از ارزش بالایی در تغذیه و سلامت میلیون‌ها انسان برخوردار است (Olsson et al., 2004; Giampieri et al., 2012). توت‌فرنگی ارقام مختلفی دارد که کاماروسا از جمله ارقام کالیفرنیایی زودرس و روز کوتاه به شمار می‌رود که عملکرد بالایی دارد. کیفیت خوراکی میوه در این رقم بسیار مطلوب و دارای بافت نسبتا سفت می‌باشد (Stewart, 2011). با توجه به اهمیت اقتصادی و تغذیه‌ای این محصول، کشت و تولید گلخانه‌ای و فضای آزاد آن طی سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است. طبق آمار فائو در سال ۲۰۱۷ میزان تولید میوه توت‌فرنگی در جهان بیش از نه میلیون تن بوده است که ایران با تولید حدود ۵۵ هزار تن در رتبه بیست و یکم دنیا قرار گرفته است (FAO, 2017).

در کشت گلخانه‌ای توت‌فرنگی عوامل مختلفی نظیر رقم، نوع بستر، دما، رطوبت، شرایط کشت و تغذیه بر سطح عملکرد، رشد و تولید میوه آن تأثیر دارند. تغذیه صحیح گیاه یک عامل پراهمیت در مدیریت موفقیت‌آمیز تولید این محصول بوده که از طریق تدوین برنامه غذایی و کود دهی مناسب قابل‌کنترل است. بنابراین، لازم است طی رشد و نمو گیاه طبق اصول علمی نسبت به توصیه کودی اقدام کرد تا نه تنها رشد و عملکرد مطلوبی به‌دست آید، بلکه کیفیت محصول تولیدی نیز افزایش یابد. آهن از عناصر کم‌مصرف و کم تحرک در گیاهان است و به همین دلیل گیاهان برای اینکه رشد و عملکرد واقعی خود را نشان دهند نیاز بیشتری به آهن دارند. آهن عنصر ریز مغذی بسیار مهمی است که در سنتز کلروفیل‌ها نقش داشته و از طریق افزایش فتوسنتز و سنتز کربوهیدرات‌ها، کیفیت میوه را بهبود می‌بخشد (طباطبایی، ۱۳۹۳). به همین دلیل کمبود آهن از مشکلات اساسی در تولید محصولات کشاورزی است. کمبود آهن نه تنها روی کشاورزی و اقتصاد تولید محصولات تأثیر منفی دارد، بلکه باعث کمبود در بدن انسان می‌شود که یکی از شایع‌ترین مشکلات تغذیه‌ای جهان امروز محسوب می‌شود (Cesco et al., 2002). بنابراین، استفاده از فرم و شکل مناسب این عنصر به‌صورت محلول‌پاشی، روشی موثر و کارآمد برای جبران کمبود آن و رسیدن به حداکثر عملکرد در گیاهان می‌باشد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۸).

نتایج مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی منابع مختلف آهن از جمله کلات‌ها می‌تواند محتوای کلروفیل برگ، آهن فعال و مواد غذایی برگ و میوه توت‌فرنگی را افزایش دهد. در انگور محلول‌پاشی ترکیب Fe-EDTA موجب افزایش عملکرد و بهبود کیفیت شده است (Yogeesha, 2005). همچنین، محلول‌پاشی آهن در مرکبات موجب افزایش معنی‌دار اندازهٔ میوه، محتوای آب میوه، درصد مواد جامد محلول و کاهش درصد سیتریک اسید شد (Pestana et al., 2001). عملکرد و کیفیت میوه‌های توت‌فرنگی از طریق محلول‌پاشی با آهن افزایش یافته است (Amaliotis et al., 2002). کاربرد کلات آهن به صورت تغذیه برگی منجر به افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی گلابی رقم "لکونته " (Hamouda et al., 2015) و سیب (Erdal et al., 2008) شده است. از طرفی کمبود آهن در درختان هلو منجر به دیررس شدن محصول می‌شود که تأخیر در رسیدن میوه به معنی تأخیر در تولید ترکیبات رنگی و بیوشیمیایی مربوط به رسیدن میوه است

www.SID.ir

Archive of SID

(Álvarez-Fernández et al., 2003). طی بررسی دیگری که در مورد تاثیر کمبود آهن بر کیفیت میوه توت‌فرنگی (Pestana et al., 2010) و گلابی (Álvarez-Fernández et al., 2011) انجام شد نقش کمبود آن در کاهش محتوای فنولیکی میوه‌ها مشخص گردید.

با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعات قبل و نظر به اینکه آهن در بسیاری از پدیده‌های فیزیولوژیکی گیاهان نقش اساسی دارد، نیاز به تحقیقات بیشتری در این رابطه بر روی میوه توت‌فرنگی احساس می‌شود. بنابراین، هدف از این پژوهش دستیابی به غلظت بهینه آهن و بررسی تاثیر آن بر بهبود خصوصیات میوه توت‌فرنگی طی مراحل مختلف رشد و نموی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در یکی از گلخانه-های هیدروپونیک شهرک گلخانه‌ای شهر زنجان با مشخصات جغرافیایی ۱۶۰۲ متر ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ۳۹ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۷۱ دقیقه با رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد و میانگین دمای شبانه‌روز ۲۱ درجه سانتی‌گراد در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ بر روی میوه‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا در طول دوره رشد و نمو اجرا شد. بوته‌های توت‌فرنگی کاملا بالغ، سالم و عاری از هر گونه بیماری بودند. برای مبارزه با آفات و بیماری‌های قارچی به ترتیب از سم آبامکتین و اکسی‌کلرورمس استفاده شد و وجین علف‌های هرز و هرس برگ‌های پیر و بیمار به صورت دستی انجام گرفت.

به طور کلی رشد و نمو میوه توت‌فرنگی شامل چهار مرحله مختلف رشدی (رنگ سبز، سفید، صورتی و قرمز) می‌باشد (Vallarino et al., 2015) که جهت انجام آزمایش، بعد از انتخاب میوه‌های هم اندازه و به تعداد مناسب در مرحله اول رشد (رنگ سبز: تقریبا یک هفته بعد از تشکیل میوه)، بقیه گل‌ها و میوه‌ها حذف شدند.

به منظور تیمار میوه‌ها از کلات آهن (Fe-EDTA) با نام تجارتی فتریلون (Fetrilon®) و درجه خلوص ۱٤٪ استفاده گردید. ابتدا در یک پیش آزمایش جهت تعیین غلظت بهینه، محلول‌پاشی تمام غلظت‌های صفر -۲۰۰-٤۰۰-٦۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰-۱۲۰۰-۱٤۰۰-۱٦۰۰-۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومول بر لیتر (µmol/L) بر بوته‌های توت‌فرنگی (در مرحله اول رشد میوه‌ها) در بلوک‌های جداگانه اعمال گردید. محلول‌پاشی در هر گیاه تقریبا به میزان ٤۰ میلی‌لیتر در ساعات عصر انجام شد. سپس در هر نوبت از نمونه‌برداری (سه، شش، نه و دوازده روز بعد از محلول‌پاشی) تاثیر غلظت‌های مختلف از نظر میزان TSS، سفتی بافت و همچنین روند رسیدن نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت بر اساس تاثیر آهن در تسریع رسیدگی میوه توت‌فرنگی (شکل ۱)، نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) و مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده از سنجش TSS (شکل ۲) و سفتی بافت (شکل ۳)، غلظت ۱٤۰۰میکرومول بر لیتر آهن به عنوان غلظت بهینه جهت بررسی دیگر صفات بیوشیمیایی انتخاب شد.

بنابراین با توجه به انتخاب غلظت بهینه، در ادامه آزمایشات فاکتور اول، تیمار آهن با غلظت‌های صفر (شاهد) و ۱٤۰۰ میکرومول بر لیتر (µmol/L) و فاکتور دوم زمان‌های نمونه‌برداری (سه، شش، نه و دوازده روز بعد از محلول‌پاشی) در نظر گرفته شد. در هر نوبت از

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه‌برداری، میوه‌های برداشت شده بعد از قرار دادن در فویل آلومینیومی در ازت مایع منجمد و به فریزر ۸۰- درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه پس از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان منتقل شدند. در این بررسی صفات TSS، سفتی بافت، فنل کل، فلاونوئید کل، اسید آسکوربیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنزیم PAL مورد سنجش قرار گرفتند.

صفات مورد ارزیابی

مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفراکتومتر مدل (ARBO-45 ساخت ژاپن) بر حسب درجه بریکس و سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه پنترومتر دستی مدل (OSK 1618 ساخت ژاپن) بر حسب (kg/cm^2) ارزیابی شد (جلیلی مرندی، ۱۳۸۷). جهت اندازه‌گیری اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از روش بور و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد. پس از قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر، غلظت اسید آسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده از غلظت‌های مختلف اسید آسکوربیک در حضور دی کلرو ایندوفنل (DCIP) محاسبه و برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ($mg\ 100g^{-1}\ FW$) بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم PAL با استفاده از روش زاکر (۱۹۶۸) انجام شد. ابتدا دو گرم از بافت میوه با ده میلی‌لیتر بافر بورات سدیم با pH = ۸.۸ کوبیده شد. سپس محلول تهیه شده در دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره سانتریفیوژ شده، دو سی سی بافر بورات سدیم با ۵۰۰ میکرولیتر محلول فنیل آلانین ۲۰ میلی‌مولار داخل لوله آزمایش ریخته و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. فعالیت آنزیم با اندازه‌گیری میزان جذب محلول در طول موج ۲۹۰ نانومتر تعیین و بر حسب واحد بر میلی‌گرم پروتئین عصاره آنزیم ($U\ mg^{-1}$ protein) گزارش شد.

اندازه‌گیری فنول کل آب میوه‌ها با استفاده از روش فولین- سیوکالتو (Singleton and Rossi, 1965) صورت پذیرفت. میزان جذب نمونه‌ها و استاندارد توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Cecil.series2 ساخت انگلستان) در طول موج ۷۲۰ نانومتر قرائت و در نهایت میزان فنول کل نمونه‌ها با استفاده از ترسیم نمودار استاندارد بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه (mg GAE/100g FW) بیان شد. به منظور ارزیابی فلاونوئید کل، میزان جذب عصاره میوه‌ها در طول موج ۵۰۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. جهت بدست آوردن منحنی کالیبراسیون از کوئرستین (Quercetin) به عنوان استاندارد استفاده شد و منحنی بر اساس میزان جذب در غلظت‌های مشخص رسم گردید (Kaijv et al., 2006). فلاونوئید کل بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ($mg\ 100g^{-1}\ FW$) بیان شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه‌ها نیز از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPHتعیین گردید (Dehghan and Khoshkam, 2012). میزان کاهش جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و سپس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید. در نهایت بعد از اتمام اندازه‌گیری‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار $SPSS_{ver\ 22}$ و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و ترسیم نمودارها و جداول به کمک نرم افزار Excel انجام شد.

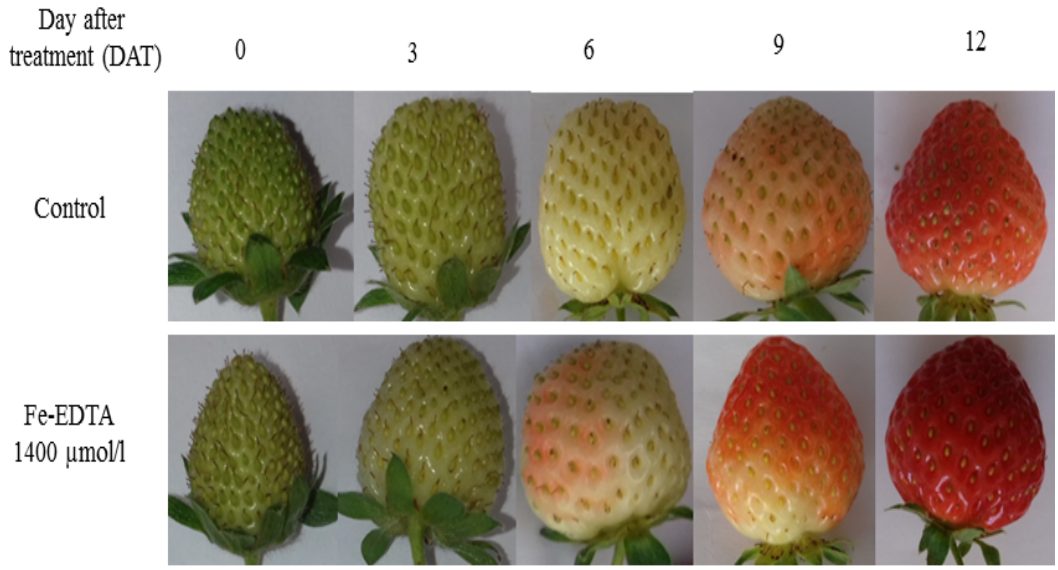
www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

نقش آهن در تسریع رسیدگی

طبق نتایج محلول‌پاشی غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر بوته‌های توت‌فرنگی موجب تسریع رنگ‌گیری و رسیدگی میوه‌ها گردید (شکل ۱). آهن برای تولید پروتئین‌های مهم که پیش نیاز ساخت سبزینه (کلروفیل) هستند، مورد نیاز است و کمبود آن باعث کاهش میزان سبزینه در گیاه می‌شود که این امر موجب کاهش فتوسنتز و رشد گیاهان می‌شود (Marshner, 2011). در مراحل رشد زایشی بخاطر افزایش رقابت بین اندام‌های مختلف برای جذب کربوهیدرات‌ها، فعالیت ریشه‌ها کاهش یافته و به دنبال آن مقدار جذب عناصر به ویژه آهن پایین می‌آید (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۷۶). طبق مطالعات، کاربرد آهن باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات کل و تحریک انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ‌های گیاه به میوه‌ها می‌شود که به این ترتیب به بهبود رشد و نمو میوه کمک می‌کند (Alvarez-Fernandez et al., 2003). افزون بر این، محققان رابطه خطی بین غلظت آهن و عملکرد گیاهان را کشف کرده‌اند؛ به این صورت که با اعمال آهن، میزان کلروفیل، فتوسنتز و رشد رویشی گیاه افزایش می‌یابد و باعث افزایش سطح کربن‌گیری و بیشتر شدن میزان ماده خشک تولیدی گیاه می‌شود (Amaliotis et al., 2002). بنابراین، تسریع رنگ‌گیری و رسیدگی میوه‌ها با محلول‌پاشی آهن را می‌توان به دلیل افزایش فتوسنتز و تغذیه بهتر میوه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین مخازن جذب کربوهیدرات‌ها دانست.



شکل ۱. تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن در تسریع رسیدن میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

Fig 1. The influence of iron concentration (1400 µmol/L) on acceleration of strawberry fruit ripening during developmental stages

www.SID.ir

Archive of SID

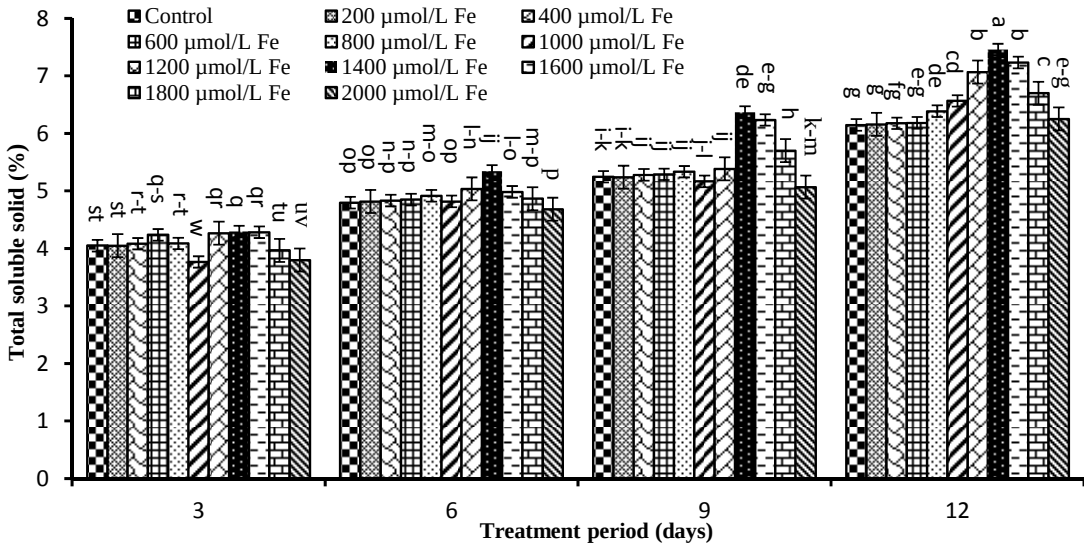
جدول ۱. تجزیه واریانس تاثیر غلظت‌های مختلف آهن بر مواد جامد محلول و سفتی بافت میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

Table 1. The variance analysis of the iron different concentrations effect on total soluble solid and firmness of strawberry fruit during developmental stages.

Mean square			
Firmness	Total soluble solid	df	Source of variance
0/012 ns	0/003 ns	2	Block
0/421**	1/007**	10	Fe-EDTA (A)
27/319**	36/272**	3	sampling frequency (B)
0/12 **	0/147**	30	A × B
0/013	0/013	86	error
2/16	3/66	-	CV(%)

ns، * و ** به ترتیب: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at the 0.05 level and 0.01 level, respectively



شکل ۲. تاثیر غلظت‌های مختلف آهن بر مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 2. The influence of iron different concentrations on total soluble solid of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at P < 0.05 according Duncan's multiple comparisons test

www.SID.ir

Archive of SID

سفتی بافت

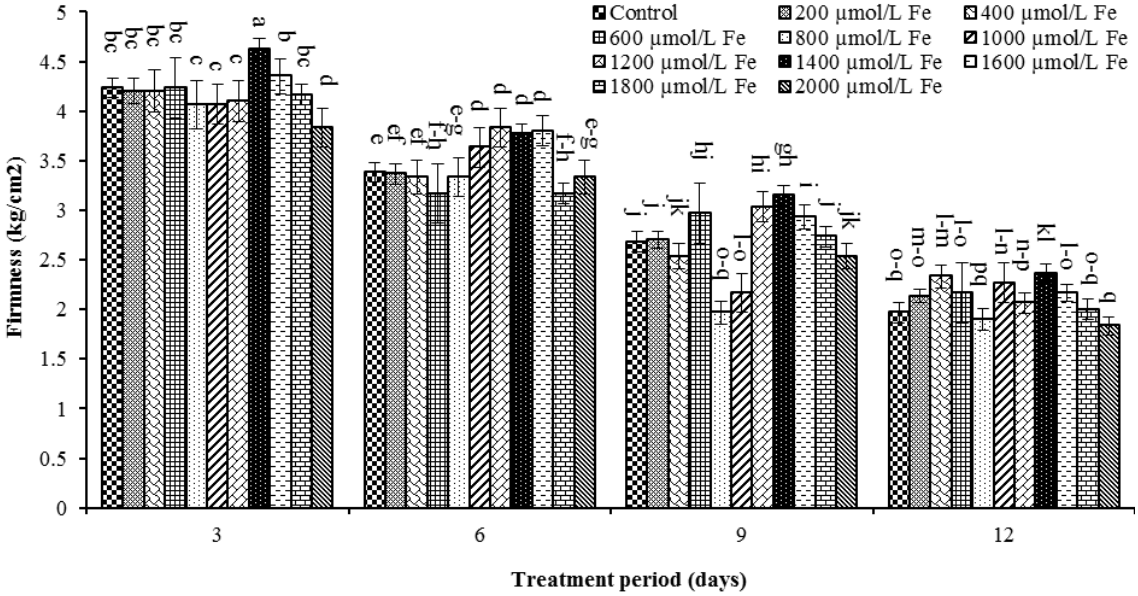
طبق نتایج تجزیه واریانس اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی معنی‌دار شد (جدول ۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، سفتی بافت در اثر کاربرد آهن در همه مراحل بررسی (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم نمونه‌برداری) در مقایسه با یکدیگر و نسبت به نمونه‌های شاهد اختلاف معنـی‌داری داشت. همچنین، در تمام دفعات نمونه‌برداری، تفاوت معنی‌داری از نظر میزان سفتی بافت در نمونه‌های شاهد نسبت به یکدیگر مشاهده شد. در طول دوره بررسی میزان سفتی بافت در میوه‌های تیمار شده با آهن و شاهد روند کاهشی را نشان داد ولی جالب توجه بود که مصرف آهن موجب حفظ سفتی بافت میوه‌ها نسبت به شاهد شد. به عبارت دیگر کاهش سفتی در نمونه‌های آهن کندتر رخ داد. کمترین و بیشترین سفتی بافت به ترتیب در روزهای دوازدهم (میوه‌های شاهد) و سوم (میوه‌های آهن) بررسی مشاهده شد (شکل ۳).

سفتی بافت پارامتر مهمی در تعیین کیفیت برخی از محصولات نظیر ریز میوه‌ها است. کاهش سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در طول دوره رسیدن میوه، به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز، پکتین متیل استراز، تجزیه پکتین‌ها و نرم شدن دیواره سلولی میوه‌ها اتفاق می‌افتد (Wei et al., 2010). نتایج متفاوتی در رابطه با تاثیر آهن در سفتی بافت میوه‌های مختلف گزارش شده است، به طور مثال، کمبود آهن موجب کاهش سفتی میوه‌های شاهد هلو رقم "Carson" از ۵۳ درصد به ۳۵ درصد شد در حالی که در میوه‌های هلو رقم "Baby Gold" تغییری در سفتی میوه‌ها مشاهده نگردید (Álvarez-Fernández et al., 2003). همچنین، کاربرد برگی سولفات آهن میزان سفتی را در میوه هلو افزایش داده است (Yadav *et al.*, 2013).

نرم شدن میوۀ توت‌فرنگی به دلیل فروپاشی دیوارۀ سلولی ناشی از فعالیت آنزیمی، حلالیت پکتین و کاهش مقاومت مکانیکی دیواره‌های یاخته‌ای است که باعث کاهش سفتی میوه می‌شوند. در پژوهش حاضر، کاربرد آهن باعث کاهش سرعت نرم شدن سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در مقایسه با میوه‌های شاهد شد که احتمالا به دلیل کندتر شدن فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز و پکتین متیل استراز باشد که وظیفه هیدرولیز پکتین در دیواره سلولی را انجام می‌دهند (Lurie, 2003).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. تاثیر غلظت‌های مختلف آهن بر مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 2. The influence of iron different concentrations on total soluble solid of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at $P < 0.05$ according Duncan's multiple comparisons test

اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر ویتامین ث میوه توت‌فرنگی طی دوره رشد و نمو معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، اختلاف معنی‌داری در میوه‌های تیمار شده با آهن در تمام نوبت‌های نمونه‌برداری (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم بررسی) نسبت به یکدیگر و در مقایسه با نمونه‌های شاهد از نظر میزان ویتامین ث وجود داشت. همچنین، میزان ویتامین ث در همه دوره‌های بررسی در میوه‌های شاهد نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. با بررسی روند رسیدن میوه‌ها طی آزمایش مشخص گردید میزان ویتامین ث به طور مرتب افزایش یافته است. نکته قابل توجه این است که اختلاف میزان ویتامین ث بین میوه‌های تیمار شده با آهن و شاهد در زمان اول بسیار اندک بود ولی با رشد میوه و تاثیرگذاری آهن این اختلاف در روز نهم نمونه‌برداری به اوج خود رسید (شکل ٤).

ویتامین ث ترکیبی زیست فعال (بیواکتیو) است که خواص آنتی‌اکسیدانی دارد و به طور عمده به عنوان شاخص کیفیت تغذیه‌ای میوهٔ توت‌فرنگی شناخته می‌شود. این ویتامین به مقدار فراوان در میوه توت‌فرنگی یافت می‌شود که به طور پیوسته در طول دوره نمو میوه افزایش می‌یابد. مطابق با نتایج این تحقیق استفاده از Fe-EDDHA به روش مصرف خاکی، به مقدار ۱۰/۵ کیلوگرم در هکتار اثر معنی‌داری در افزایش مقدار ویتامین ث میوه توت‌فرنگی رقم "سلوی" داشت (حسینی و بهادری،

www.SID.ir

Archive of SID

۱۳۹۵). افزایش میزان ویتامین ث در میوه‌های لیمو شیرین (Aboutalebi and Hassanzadeh, 2013)، توت‌فرنگی (Kazemi, 2014) و رازبری (Soubeyrand et al., 2014) در اثر کاربرد آهن گزارش شد. دلیل افزایش میزان اسیدآسکوربیک را می‌توان افزایش فعالیت آنزیم آسکوربیک سنتتاز توسط آهن و در نتیجه بهبود ویتامین ث دانست (Taiz and Zeiger, 2006).

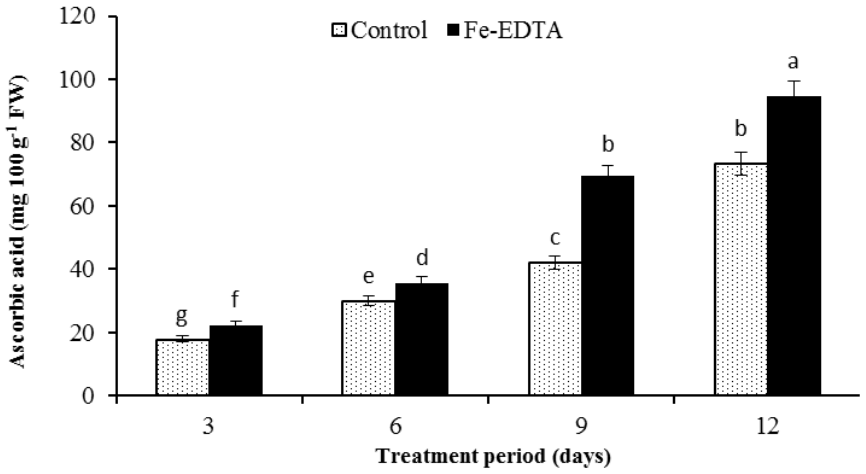
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر صفات میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

Table 1. The variance analysis of the iron concentration (1400 µmol/L) effect on characteristics of strawberry fruit during developmental stages.

Mean square						
Total Antioxidant	Total flavonoid	Total phenol	PAL	Ascorbic acid	df	Source of variance
2/41 ns	3/02 ns	7/67*	2/83ns	5/17 ns	2	Block
161/75**	167/92**	123/95**	696/17**	452/10**	1	Fe-EDTA (A)
861/90**	547/26**	440/39**	4971/97**	4597/73**	3	sampling frequency (B)
39/76*	19/69*	10/64*	211/51**	109/48**	3	A × B
5/27	2/84	1/85	10/08	3/76	14	error
2/92	10/51	5.95	6/38	4.28	-	CV(%)

ns، * و ** به ترتیب: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ درصد و معنی‌دار در سطح ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at the 0.05 level and 0.01 level, respectively



شکل ۴. تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر میزان آسکوربیک اسید میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 4. The influence of iron concentration (1400 µmol/L) on ascorbic acid content of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at $P < 0.05$ according Duncan's multiple comparisons test.

www.SID.ir

Archive of SID

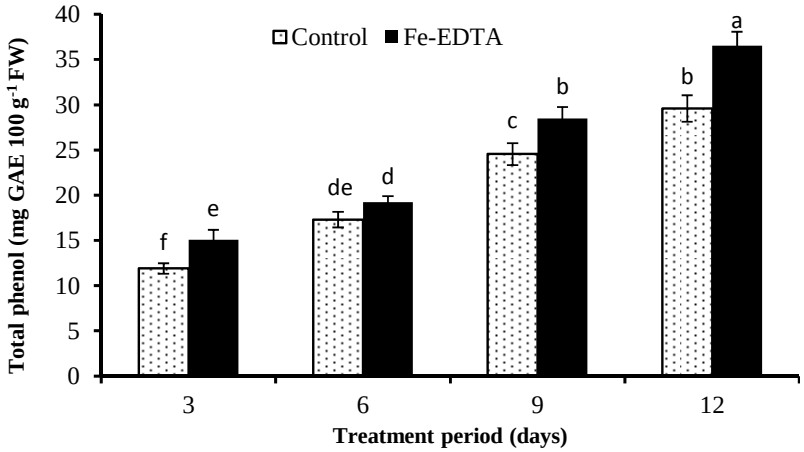
فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL)

یافته‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر میزان فعالیت آنزیم PAL معنی‌دار شد (جدول ۲). بر پایه نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، در میوه‌های تیمار شده با آهن نسبت به یکدیگر بین روزهای سوم و ششم نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری از نظر میزان فعالیت آنزیم PAL مشاهده نشد ولی در روزهای نهم و دوازدهم بررسی، میزان فعالیت آنزیم PAL نمونه‌های تیمار نسبت به یکدیگر و در مقایسه با میوه‌های روزهای سوم و ششم آزمایش به طور معنی-داری افزایش یافت. همچنین، میوه‌های تیمار شده با آهن در روزهای بررسی سوم و ششم تفاوت معنی‌داری از نظر میزان فعالیت آنزیم PAL نسبت به شاهد نداشتند. در میوه-های محلول‌پاشی شده با آهن نسبت به میوه‌های شاهد در روزهای نهم و دوازدهم نمونه‌برداری، میزان فعالیت آنزیم PAL به طور معنی‌داری افزایش یافت. هرچند در نمونه-های شاهد نسبت به یکدیگر از نظر میزان فعالیت PALبین روزهای بررسی سوم و ششم تفاوت معنی‌داری یافت نشد ولی بین نمونه‌های روزهای نهم و دوازدهم آزمایش در مقایسه با یکدیگر و نسبت به شاهد روزهای سوم و ششم اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۵).

آنزیم PAL به عنوان آنزیم کلیدی در متابولیسم متابولیت‌های ثانویه نظیر فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌باشد. ارتباط مستقیم و مثبت این آنزیم با سنتز فنل‌ها و فلاونوئیدها در میوه‌های پرتقال خونی، توت‌فرنگی (Olsson et al., 2004) و بلوبری (Wang et al., 2009) کشف شده است. مشابه با یافته‌های این پژوهش افزایش فعالیت آنزیم PAL، سنتز و تجمع ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد که این ترکیبات با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گیاهان را در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده مقاوم می‌کند (Eraslan et al., 2007). نکته جالب توجه در این پژوهش شبیه بودن روند تغییرات میزان فعالیت آنزیم PAL و سنتز فلاونوئیدها بود. از آنجایی که آهن کوفاکتور یا جز ساختاری بسیاری از آنزیم‌های دخیل در متابولسم سلولی، بیوسنتز، پیوند شدگی و یا تجزیه شدن در مسیرهای مختلف واکنش‌های سلولی (Curie et al., 2008) است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره رسیدن میوه توت‌فرنگی، بویژه در دو مرحله پایانی رشد و نمو میوه، مصرف آهن باعث افزایش چشمگیر میزان فعالیت آنزیم PAL گردید که به دنبال آن تولید و تجمع متابولیت‌هایی نظیر فلاونوئیدها و فنل‌ها نیز تحت تاثیر فعالیت این آنزیم افزایش یافتند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦. تاثیر غلظت ۱٤۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر فنل کل میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 6. The influence of iron concentration (1400 µmol/L) on total phenol content of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at $P < 0.05$ according Duncan's multiple comparisons test.

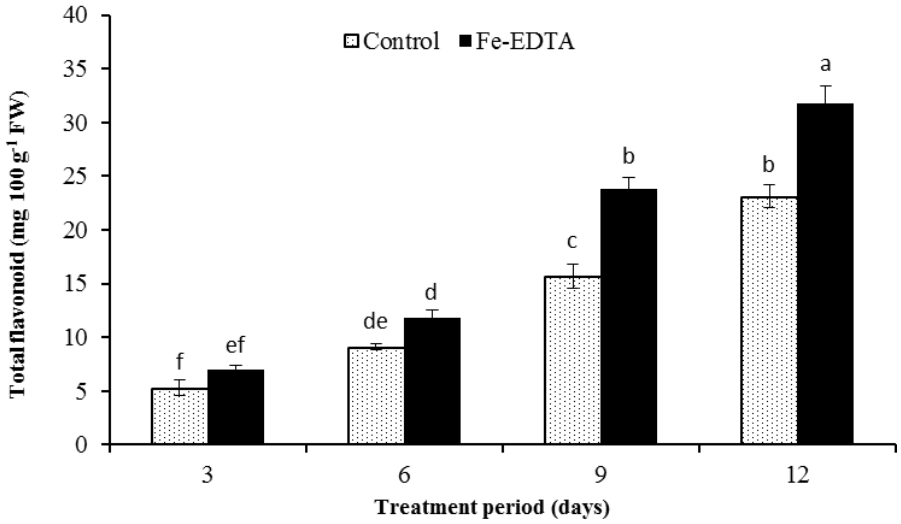
فلاونوئید کل

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر فلاونوئید کل میوه توت‌فرنگی در طول مراحل رشد و نموی معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس یافته‌های مقایسه میانگین داده‌ها، میزان فلاونوئید کل در میوه‌های محلول‌پاشی شده با آهن در مقایسه با یکدیگر در همه نوبت‌های نمونه‌برداری (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم بررسی) تفاوت معنی‌داری نشان داد ولی نسبت به نمونه‌های شاهد فقط در روزهای نهم و دوازدهم بررسی این اختلاف معنی‌دار شد هر چند که در روزهای سوم و ششم آزمایش میزان فلاونوئید کل افزایش جزئی نشان داد اما معنی‌دار نشد. با نزدیک شدن به زمان رسیدن میوه‌ها میزان فلاونوئید کل میوه‌های تیمار شده با آهن افزایش چشمگیری نشان داد. همچنین، طبق نتایج میزان فلاونوئید کل در میوه‌های شاهد در همه مراحل نمونه‌براری نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند به طوری که مقدار آن نیز طی دوره رسیدن میوه افزایش یافت (شکل ۷).

ترکیب‌هایی مانند فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از جمله عامل‌های تعیین کننده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ارزش کیفی میوه می‌باشند که از مسیر فنیل پروپانوئید در اثر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیا تولید می‌شوند. در طول دوره رشد میوه‌ها با افزایش فعالیت آنزیم PAL تجمع فلاونوئیدها نیز بیشتر می‌شود (Huang et al, 2008). همسو با نتایج این تحقیق در بررسی اثر کاربرد Fe-EDTA بر محتوای فلاونوئید کل میوه‌های قرمز رنگ (Chen et al., 2017)، توت‌فرنگی و پرتقال (Pestana et al., 2010) افزایش فلاونوئید کل گزارش شده است. بر پایه یافته‌های این تحقیق در اثر مصرف آهن میزان تجمع فلاونوئیدها در میوه‌ها افزایش یافت که مشابه با میزان تغییرات آنزیم PAL، این افزایش در مراحل نزدیک به رسیدن میوه‌ها چشمگیرتر بود که می‌تواند به دلیل تاثیرگذاری آهن در فعالیت آنزیم‌های مربوط به تولید فلاونوئیدها باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر فلاونوئید کل میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 7. The influence of iron concentration (1400 µmol/L) on total flavonoid content of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at $P < 0.05$ according Duncan's multiple comparisons test.

آنتی‌اکسیدان کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر آنتی‌اکسیدان کل میوه توت‌فرنگی طی روند رسیدن میوه معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، اختلاف معنی‌داری از نظر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تیمار آهن نسبت به شاهد در همه زمان‌های بررسی بجز روز سوم نمونه-برداری مشاهده شد. نمونه‌های محلول‌پاشی شده با آهن نسبت به یکدیگر، تنها در روزهای سوم و چهارم بررسی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی در بقیه نوبت‌های نمونه‌برداری اختلاف معنی‌دار بود. علاوه بر آن نتایج نشان داد آنتی‌اکسیدان کل نمونه‌های شاهد بجز روزهای نهم و دوازدهم بررسی در بقیه نوبت‌های نمونه-برداری در مقایسه با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند.

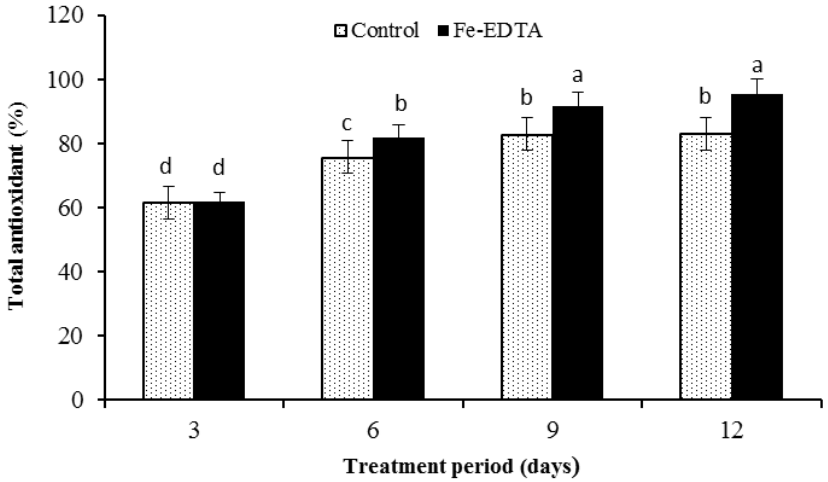
به طور کلی، در طول آزمایش مصرف آهن تاثیر مثبتی در افزایش میزان آنتی‌اکسیدان کل میوه‌های محلول‌پاشی شده داشت (شکل ۸). توت‌فرنگی فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد و محصولات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر از نظر کیفیت تغذیه‌ای ارزش بالاتری دارند. مطابق با نتایج این پژوهش گزارش شده است که در اثر کمبود آهن آنتی‌اکسیدان کل میوه توت‌فرنگی کاهش یافت (Pestana et al., 2012). در اثر محلول‌پاشی کلات آهن طی دوره رشد و نمو میوه در سیب رقم گالا با غلظت ده میلی‌گرم در لیتر محتوای آنتی‌اکسیدان کل افزایش معنی‌داری نشان داد (بابالار و همکاران، ۱۳۹۵).

داسیلوا و همکاران (۲۰۰۷) افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه توت‌فرنگی را با افزایش میزان ویتامین ث، فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی مرتبط دانستند.

www.SID.ir

Archive of SID

به این ترتیب که افزایش فنول‌ها و فلانوئیدها موجب افزایش آنتی‌اکسیدان کل می‌گردد. در کل با بررسی نتایج بدست آمده از این تحقیق، می‌توان به این نتیجه رسید که روند تغییرات فنل، فلاونوئید و فعالیت PAL در طول دوره رشد و نمو میوه توت‌فرنگی مرتبط با یکدیگر بودند و با توجه به ارتباط مثبت این ترکیبات با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش این ترکیبات، آنتی‌اکسیدان کل میوه‌ها را افزایش داد.



شکل ۸. تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 8. The influence of iron concentration (1400 µmol/L) on antioxidant capacity of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at $P < 0.05$ according Duncan's multiple comparisons test.

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج تحقیق، تغذیه برگی کلات آهن با غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر موجب تسریع رسیدگی میوه به مدت چند روز گردید. علاوه بر این، بر ویتامین ث، مواد جامد محلول، سفتی بافت، فنل کل، فلاونوئید کل، میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و آنتی‌اکسیدان کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مصرف آهن باعث افزایش ۱۰/۰۷ درصدی آنتی‌اکسیدان کل، ۱۳/۲درصدی TSS، ۲۱/۴۳ درصدی ویتامین ث، ۲۸/۲ درصدی میزان فعالیت آنزیم PAL و حفظ بیشتر سفتی بافت میوه‌ها در مقایسه با شاهد شد. میزان فنل و فلاونوئید کل میوه‌های تیمار شده با آهن به ترتیب ۳۶/۵۴ و ۳۱/۷۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر مشاهده شد. بنابراین، با انتخاب غلظت بهینه آهن، می‌توان علاوه بـر تسریع رسیدگی میوه و امکان عرضه زودتر محصول به بازار با حفظ سفتی بیشتر، بهبـود ارزش تغذیـه‌ای میوه توت‌فرنگی را نیز به همراه داشت.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از مدیریت محترم گلخانه جناب آقای مهندس امیر روح رز که در اجرای این پژوهش یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

بابالار، م.، جلیلی، خ.، عسگری، م.، و طلایی، ع.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر نیترات آمونیوم و آهن بر خواص کیفی و پاداکسندگی میوهٔ سیب رقم گالا. *علوم باغبانی ایران*، ۴۸ (۳)، صص ۲۱۱-۲۰۳.

حسینی، ی.، و بهادری، م.، ۱۳۹۵. تأثیر منبع، مقدار و روش کاربرد آهن بر خصوصیات کمی، کیفی و نرخ سودآوری توت‌فرنگی رقم سلوا (*Fragaria×ananassa* Duch). *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*. شماره ۲۸.

راحمی، م.، ۱۳۸۴. فیزیولوژی پس از برداشت. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی و جابجایی میوه، سبزی‌ها و گیاهان زینتی. شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.

طباطبائی، س. ج.، ۱۳۹۳. اصول تغذیه معدنی گیاهان. تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.

عسگری، م.، کرباسی، م.، بابالار، م.، طلایی، ع.، آقاجانی، س.، ۱۳۹۸. اثر تغذیه برگی آهن و روی بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه سیب "دلبار استیوالگ". *علوم باغبانی ایران*، ۵۰ (۲)، صص ۲۷۴-۲۶۵.

ملکوتی، م. ج.، طباطبایی، س. ج.، ۱۳۷۶. تغذیه گیاهان از طریق محلول‌پاشی: نشر آموزش کشاورزی.

جلیلی مرندی، ر.، ۱۳۸۷. فیزیولوژی پس از برداشت (جا به جایی و نگهداری میوه، سبزی، گیاهان زینتی و دارویی). ارومیه: جهاد دانشگاهی آذربایجان غربی.

Aboutalebi, A., and Hassanzadeh, H. 2013. Effect of iron and zinc on sweet lime (*Citrus limmetta*) fruit quantityand quality in calcareous soils. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2 (18): 675-677.

Alvares-Fernaandez, A., Paniagua, P., Abadia, J., and Abadia, A. 2003. Effects of Fe deficiency chlorosis on yield and quality in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 5738-5744.

Alvarez-Fernandez, A., Carlos Melgar, J., Abadia, J., and Abadi, A. 2011. Effects of moderate and severe iron deficiency chlorosis on fruit yield, appearance and composition in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Enviromental and Fxperimental Botany*. 71: 280-286.

Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S. and Karapetsas, N. 2002. Leaf nutrient levels of strawberries (cv.Tudla) in relation to crop yield. *Acta Horticulturae*. 567: 447-450.

Bor, J.Y., Chen, H.Y., and Yen, G.Ch. 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.

Cesco, S., Nikolic, M., Römheld, V., Varanini, Z., and Pinton, R. 2002. Uptake of 59 Fe from soluble 59 Fe-humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant and Soil*. 241(1):121-128.

Chen, P., Cao, Y., Bao, B., Zhang, L., and Ding, A. 2017. Antioxidant capacity of *Typha angustifolia* extracts and two active flavonoids. *Pharmaceutical Biology*. 55 (1): 1283-1288.

Curie, C., Cassin, G., Couch, D., Divol, F., Higuchi, K., Le Jean, M., Misson, J., Schikora, A., Czernic, P., and Mari, S., 2008. Metal movement within the plant: contribution of nicotianamine and yellow stripe 1-like transporters. *Annals of Botany*. 103(1): 1-11.

Da Silva, F.L., Escribano-Bailón, M.T., Alonso, J.J.P., Rivas-Gonzalo, J.C., and Santos-Buelga, C., 2007. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT-Food Science and Technology*. *40*(2): 374-382.

Davarpanah, S., Akbari, M., Askari, M.A., Babalar, M., and Naddaf, M.E. 2013. Effect of iron foliar application (Fe-EDDHA) on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate CV. "*Malas-e-Saveh*". *World of Sciences Journal*. 179-187.

www.SID.ir

Archive of SID

Dehghan, G., and Khoshkam, Z. 2012. Tin (II)–quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry*. 131: 422-426.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. and Alpaslan, M., 2007. Impact of exogenouse salicylice acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulture*. 113: 120-128.

Erdal, I., Atilla. M., Askin, Z. Kucukyumuk, F., and Yildirim. A. 2008. Rootstock has an important role on iron nutrition of apple trees. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4: 173-177.

FAO. 2017. FAOSTAT, FAO Statiscal Databases. http://faostat.fao.org.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J.M., Quiles. J., Mezzetti, L.B., and Battino, M. 2012. The strawberry: composition, nutritional quality and impact on human health. *Nutrition*. 28: 9-19.

Hamouda, H.A., El-Dahshouri, M.F., Hafez, O.M., and Zahran, N.G. 2015. Response of Le conte pear performance, chlorophyll content and active iron to foliar application of different iron sources under the newly reclaimed soil conditions. *International Journal of Chemistry Technology Research*. 8(4):1446-1453.

Huang, R.H., Liu, J.H., Lu, Y.M., and Xia, R.X. 2008. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L Osbeck) at different storage temperatures. *Postharvest Technology*. 47: 168–175.

Kaijv, M., Sheng, L., and Chao, C. 2006. Antioxidation of flavonoids of Rhizome. *Food Science*. 27:110-115.

Karimi, R. 2017. Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticulturae*. 215: 184-194.

Kazemi, M. 2013. Effects of Zn, Fe and their Combination Treatments on the growth and yield of tomato. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 3(1): 109-114.

Kazemi, M. 2014. Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfate on vegetativr growth and reproductive characteristics of strawberry cv. 'Pajaro'. *Trakia Journal of Sciences.* 1: 21-26.

Lurie, S. 2003. Antioxidants. Postharvest oxidative stress in horticultural crops. *Food Products Press*. New York. USA. 131-150.

Määtta, K.R., Kamal-Eldin, A., and Törrönen, A.R. 2004. Identification and quantification of phenolic compounds in berries of *Fragaria* and *Rubus* species (family Rosaceae). *Agriculture Food Chemistry*. 52: 6178–6187.

Malakouti, M.J., and Tabatabaei, S.J., 1999. Proper nutrition of fruit trees for improving the yield and quality of horticultural crops in Iran. *Agricultural Education Publications*. Karaj, Iran. 5: 51-56.

Mansouri, S., Babalar, M., Kalantari, S., and Askary Sarcheshmeh M.A. 2017. Effect of the foliar spraying of iron and soil application of the ammonium nitrate on postharvest quality of apple *'Delbar stival*'. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 48: 503-515.

Marschner, H., 2011. Mineral nutrition of higher plants. *Academic press.* New York, 889 p.

Olsson, M.E., Ekvall, J.M., Gustavsson, K., Nilsson, J., Pillai, D., Sjoholm, I., Svensson, U., Akesson, B., and Nyman, M. 2004. Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberry (*Fragaria* x *ananassa*): effects of cultivar, ripening, and storage. *Agriculture Food Chemistry.* 52: 2490–2498.

Pestana, M., David, M., De Varennes, A., Abadía, J., and Faria, E.A. 2001. Responses of 'Newhall' orange trees to iron deficiency in hydroponics: Effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency, and root ferric chelate reductase activity. *Journal of Plant Nutrition.* 24: 1609-1620.

Pestana, M., P.J. Correia, T. Saavedra, F. Gama and A. Abadia. 2012. Amarilis de Varennes development and recovery of iron deficiency by iron resupply to roots or leaves of strawberry plants. *Plant Physiology*. 53: 1-5.

Pestana, M., Varennes, A.D., Miguel, M.G. and Correia, P.J. 2010. Consequences of iron deficiency on fruit quality in citrus and stawberry. Sapientia-Universidade do Algarve. 25: 193-201.

www.SID.ir

Archive of SID

Shoji, T. 2007. Polyphenols as natural food pigments: changes during food processing. *American Journal of Food Technology*. 2: 570-581.

Singleton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16: 144-158.

Soubeyrand, E., Basteau, C., Hilbert, G., Van Leeuwen, C., Delrot, S., and Gomès, E. 2014. Iron supply affects anthocyanin biosynthetic and regulatory genes in berries. *Phytochemistry*. 103: 38–49.

Stewart, P. 2011. *Fragaria* history and breeding: Genetics, genomics and breeding of berries, *Science Publishers*, New Hampshire, USA. pp. 114–137.

Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. Secondary metabolites and plant defense. *Plant physiology*. 4: 315-344.

Tavarini, S., Innocenti, E. D., Remorini, D., Massai, R. and Guidi, L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. Food Chemistry. 107: 282-288.

Vallarino, J.G., Osorio, S., Bombarely, A., Casañal, A., Cruz-Rus, E., Sánchez-Sevilla, J.F., Amaya, I., Giavalisco, P., Fernie, A.R., Botella, M.A. and Valpuesta, V., 2015. Central role of Fa GAMYB in the transition of the strawberry receptacle from development to ripening. *New Phytologist*, 208(2).482-496.

Vargas, R.C., Defilippi, B.G., Valdes, G.H., Robledo, M.P., and Prieto, E.H. 2008. Effect of harvest time and L-cysteine as an antioxidant on flesh browing of fresh-cut cherimoya (*Annon a cherimola* MiLL). *Agriculture Research*. 68: 217-227.

Wang, K., Jin, P., Cao, S., Shang, H., Yang, Z., and Zheng, Y. 2009. Methyl jasmonate reduces decay and enhances antioxidant capacity in chines bay berries. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 57: 5809-5815.

Wang, Z.L., Wang, S., Kuang, Y., Hu, Z.M., Qiao, X., and Ye, M., 2018. A comprehensive review on phytochemistry, pharmacology, and flavonoid biosynthesis. *Pharmaceutical biology*. 56(1): 465-484.

Wei, J., Shi, S., Zhu, X. and Yuan, J. 2010. Changes and postharvest regulation of activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation in ripening apple fruit. *Journal of Postharvest Biology and technology*. 56: 147-154.

Yadav, V., Singh, P.N., and Yadav, P. 2013. Effect of foliar fertilization of boron, zinc and iron on fruit growth and yield of low-chili peach cv. Sharbati. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 3(8): 1-6.

Yogeesha. 2005. Effect of iron on yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) in calcareous vertisol. University of Agricultural Sciences, Harvad. pp, 580005.

Zucker, M., 1968. Sequential induction of phenylalanine ammonia-lyase and a lyase-inactivating system in potato tuber disks. *Plant Physiology*. 43: 365-374.

www.SID.ir

Archive of SID

Impact of iron chelate on phenylalanine ammonia lyase enzyme activity and antioxidant properties of strawberry 'kamarossa' fruit during developmental stages

Saeed Rezaei[1], Mohammad Esmaeil Amiri[2], Abas Bahari[3*], Farhang Razavi[4], Morteza Soleimani Aghdam[5]

1- *Ph.D Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Rezaei.s@znu.ac.ir*

2- *Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. m-amiri@znu.ac.ir*

3- *Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Agronomy Science in Research, Institute of Modern Biological Techniques, University of Zanjan, Zanjan, Iran.bahari@znu.ac.ir*

4- *Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. razavi.farhang@znu.ac.ir*

5- *Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.aghdamm@ut.ac.ir*

Received Date: 2019/09/30 **Accepted Date: 2019/09/24**

ABSTRACT

Introduction: Strawberry is the fruit with the highest production among berries with a global production of over nine million tons (FAOSTAT 2017). The strawberry is one of the favorite fruits throughout the world and may be classified as a functional food as it is a rich source of phytochemicals and vitamins, both of which have relevant biological activities in human health. There is insufficient information concerning the use of Fe-EDTA in this plant. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of Fe-EDTA fertilizer on phenylalanine ammonia lyase enzyme activity and antioxidant properties of strawberry fruit during developmental stages

Material and Methods: The experiment was factorial based on a randomized complete block design with three replications. Experimental factor was consisted of iron chelate (Fe-EDTA) in 0 (control) and 1400 µmol/L levels. This experiment was carried out at Faculty of Agriculture, University of Zanjan in 2018. At the end of experiments the strawberry fruits were harvested to measure the quality and antioxidant capacity. Finally, data analysis was done using SPSS 22 and means were compared by Duncan's multiple range tests at 5% level of probability.

Results and Discussion: Effect of foliar application of Fe-EDTA on physicochemical characteristics of strawberry fruits during developmental stages is presented in Table 1. Results showed that ascorbic acid and TSS were significantly increased by Fe-EDTA treatment. Also, the results showed that the strawberry fruits treated with exogenous application of Fe-EDTA exhibited higher phenols and flavonoids accumulation in comparison to the controls. In addition, strawberry fruits treated with Fe-EDTA exhibited higher DPPH and PAL enzyme activity concomitant with higher phenols and flavonoids accumulation. The interaction was significant in all properties. This basic iron sources is considered to be important for strawberry fruit quality and production since they not only provide nutrients for fruit and plant growth, but also accelerate fruit ripening in strawberry plant. The experiments clearly demonstrated the beneficial effects of foliar Fe-EDTA application on quantity and quality characteristics of strawberry fruits. These results are in agreement with those obtained by Pestana et al., (2010) and Amaliotis et al., (2002) of strawberry growth and crop yield improved by foliar application of iron chelate.

Conclusion: Generally, the findings of current study elucidated that the use of iron chelate had strong impact on PAL enzymatic activity and quality properties of strawberry fruits during ripening stages in this study.

Keywords: Iron chelate, antioxidant characteristics, PAL, Strawberry fruit

www.SID.ir