

تأثیر کلات آهن بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایز و خواص آنتی اکسیدانی میوه توت فرنگی رقم کاماروسا طی مراحل نموی

سعید رضائی^۱، محمد اسماعیل امیری^۲، عباس بهاری^{۳*}، فرهنگ رضوی^۴، مرتضی سلیمانی اقدام^۵

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

۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

razavi.farhang@znu.ac.ir

۵- استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

aghdamm@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

چکیده

عنصر آهن (Fe) ریز مغذی ضروری گیاهان می باشد که در بسیاری از پدیده های فیزیولوژیکی نقش اساسی دارد. هدف از این تحقیق محلول پاشی کلات آهن، تعیین غلظت بهینه و تاثیر آن بر خصوصیات بیوشیمیایی میوه توت فرنگی رقم کاماروسا بود. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. بدین منظور، ابتدا در یک پیش آزمایش تاثیر مقادیر مختلف آهن (صفر-۲۰۰-۴۰۰-۶۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰-۱۲۰۰-۱۴۰۰-۱۶۰۰-۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومول بر لیتر) در زمان های سه، شش، نه و دوازده روز بعد از محلول پاشی در برخی صفات توت فرنگی بررسی گردید. سپس غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفته شد و نمونه های 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 آنتی اکسیدانی (DPPH) و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایز (PAL) در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. همچنین، باعث افزایش ۱۰/۰۷ درصدی DPPH، ۱۳/۲ درصدی TSS، ۲۱/۴۳ درصدی ویتامین ث و ۲۸/۲ درصدی فعالیت آنزیم PAL در مقایسه با شاهد شد. میزان فنول و فلاونوئید کل میوه های تیمار شده با آهن به ترتیب ۳۶/۵۴ و ۳۱/۷۶ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر مشاهده شد. دلایل اصلی تاثیر آهن را می توان به افزایش آهن درونی گیاه، کاهش رقابت بین رشد رویشی و زایشی همچنین، کارآیی بهتر فتوسنتز مرتبط دانست. بطور کلی، یافته ها نشان داد که استفاده از کلات آهن با غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر تأثیر بسزایی در بهبود خصوصیات کمی و کیفی میوه های توت فرنگی رقم کاماروسا داشت.

کلمات کلیدی: آهن، خواص آنتی اکسیدانی، PAL، میوه توت فرنگی

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی (*ananassa*) 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 کالیفرنایی زودرس و روز کوتاه به شمار می‌رود که عملکرد بالایی دارد. کیفیت خوراکی میوه در این رقم بسیار مطلوب و دارای بافت نسبتاً 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 قابل کنترل 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 به دست آید، بلکه کیفیت محصول تولیدی نیز افزایش یابد. آهن از عناصر کم‌مصرف و کم‌تحرك 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 به صورت 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 اندازه 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

به طور کلی رشد و نمو میوه توت فرنگی شامل چهار مرحله مختلف رشدی (رنگ سبز، سفید، صورتی و قرمز) می باشد (Vallarino et al., 2015) که جهت انجام آزمایش، بعد از انتخاب میوه های هم اندازه و به تعداد مناسب در مرحله اول رشد (رنگ سبز: تقریباً یک هفته بعد از تشکیل میوه)، بقیه گل ها و میوه ها حذف شدند.

به منظور تیمار میوه ها از کلات آهن (Fe-EDTA) با نام تجاری فتریلون (Fetrilon®) و درجه خلوص ۱۴٪ استفاده گردید. ابتدا در یک پیش آزمایش جهت تعیین غلظت بهینه، محلول پاشی تمام غلظت های صفر -۲۰۰- ۴۰۰-۶۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰-۱۲۰۰-۱۴۰۰-۱۶۰۰-۱۸۰۰ و ۲۰۰۰ میکرومول بر لیتر ($\mu\text{mol/L}$) بر بوته های توت فرنگی (در مرحله اول رشد میوه ها) در بلوک های جداگانه اعمال گردید. محلول پاشی در هر گیاه تقریباً به میزان ۴۰ میلی لیتر در ساعات عصر انجام شد. سپس در هر نوبت از نمونه برداری (سه، شش، نه و دوازده روز بعد از محلول پاشی) تاثیر غلظت های مختلف از نظر میزان TSS، سفتی بافت و همچنین روند رسیدن نمونه ها مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت بر اساس تاثیر آهن در تسریع رسیدگی میوه توت فرنگی (شکل ۱)، نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) و مقایسه میانگین داده های بدست آمده از سنجش TSS (شکل ۲) و سفتی بافت (شکل ۳)، غلظت ۱۴۰۰ میکرومول 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 غلظت های صفر (شاهد) و ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر ($\mu\text{mol/L}$) و فاکتور دوم زمان های نمونه برداری (سه، شش، نه و دوازده روز بعد از محلول پاشی) در نظر گرفته شد. در هر نوبت از

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

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

مواد و روش ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در یکی از گلخانه های هیدروپونیک شهرک گلخانه ای شهر زنجان با مشخصات جغرافیایی ۱۶۰۲ متر ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۷۱ دقیقه با رطوبت نسبی ۵۰-۶۰ درصد و میانگین دمای شبانه روز ۲۱ درجه سانتی گراد در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ بر روی میوه های توت فرنگی رقم کاماروسا در طول دوره رشد و نمو اجرا شد. بوته های توت فرنگی کاملاً بالغ، سالم و عاری از هر گونه بیماری بودند. برای مبارزه با آفات و بیماری های قارچی به ترتیب از سم آبامکتین و اکسی کلرورمس استفاده شد و وجین علف های هرز و هرس برگ های پیر و بیمار به صورت دستی انجام گرفت.

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 خشتی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH تعیین 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.

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 رفاکتومتر مدل (ARBO-45 ساخت ژاپن) بر حسب درجه بریکس و سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه پترومتر 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 بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ($mg\ 100g^{-1}\ FW$) بیان گردید.

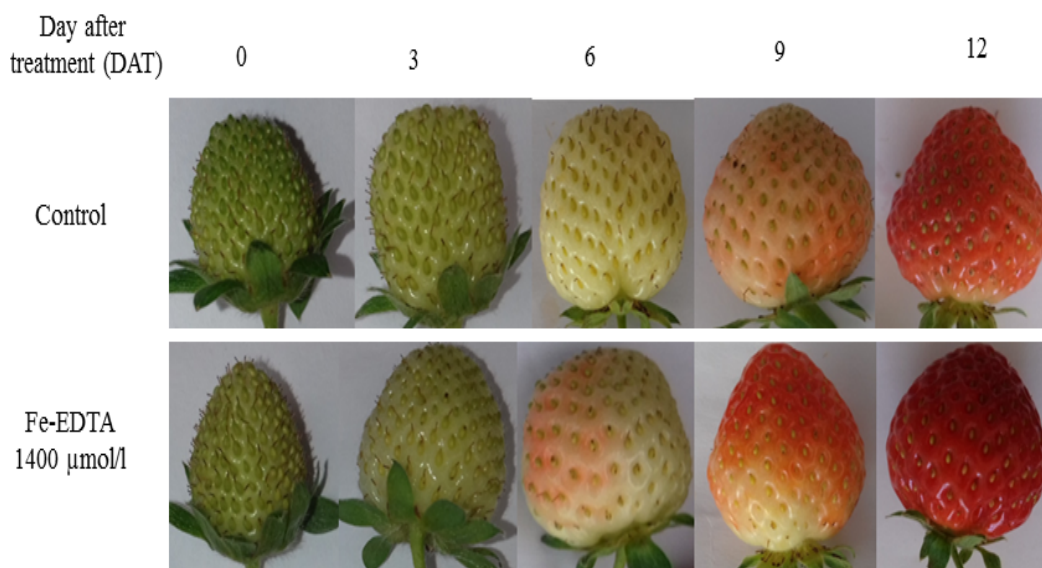
سنجش فعالیت آنزیم PAL با استفاده از روش زاگر (۱۹۶۸) انجام شد. ابتدا دو گرم از بافت میوه با ده میلی‌لیتر بافر بورات سدیم با $pH = 8.8$ کوبیده شد. سپس محلول تهیه شده در دور ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره سانتریفیوژ شده، دو سی سی بافر بورات سدیم با ۵۰۰ میکرولیتر محلول فنیل آلانین ۲۰ میلی‌مولار داخل لوله آزمایش ریخته و به مدت یک ساعت

نتایج و بحث

نقش آهن در تسریع رسیدگی

طبق نتایج محلول پاشی 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 محلول پاشی 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

مواد جامد محلول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر میزان TSS میوه توت‌فرنگی معنی‌دار شد (جدول ۱). شاخص TSS در طول دوره آزمایش افزایش یافت در حالی که در میوه‌های تیمار شده با آهن (غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر) این افزایش با شدت بیشتری اتفاق افتاد. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، در طول دوره رشد و نمو میوه اختلاف معنی‌داری در میوه‌های تیمار شده با آهن در تمام نوبت‌های نمونه‌برداری (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم بررسی) نسبت به یکدیگر و نسبت به شاهد از نظر میزان TSS مشاهده شد. در نمونه‌های شاهد نیز، میزان TSS تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر طی مراحل نموی نشان دادند. در طول دوره بررسی بیشترین میزان TSS مربوط به میوه‌های محلول‌پاشی شده با آهن در روز دوازدهم بررسی (۷/۴۶ بریکس) و کمترین آن مربوط به نمونه شاهد در روز سوم (۴/۰۵ بریکس) نمونه‌برداری مشاهده شد که نشان‌دهنده تاثیر آهن با گذشت زمان بویژه در دو مرحله پایانی (روزهای نهم و دوازدهم بعد از محلول‌پاشی) آزمایش بود (شکل ۲).

دلیل افزایش میزان مواد جامد محلول هنگام رسیدن میوه‌ها افزایش میزان تنفس و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی (راحی، ۱۳۸۴)، تسریع در روند تجزیه پلی‌ساکاریدها و غلیظ شدن عصاره میوه (Vargas et al., 2008) و افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سنتاز (SPS) در بیوسنتز ساکاروز می‌باشد (Tavarini., 2008). نتایج مطالعات مشابه نشان داد که با کاربرد آهن میزان

TSS در مرکبات (Pestana et al., 2001)، انار رقم ملس ساوه (Davaranpanah et al., 2013)، سیب (Mansouri et al., 2017) و انگور (Karirmi, 2017) افزایش یافت. افزون بر این در بررسی اثر کلات Fe-EDTA بر خصوصیات توت‌فرنگی گزارش شده است که با مصرف آهن میزان TSS میوه‌ها در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Soubeyrand et al., 2014) که یافته‌های این پژوهش نیز مطابق با آن نتایج بود. همچنین، دلیل افزایش میزان TSS در اثر کاربرد آهن، افزایش آهن درونی گیاه می‌باشد که افزایش سرعت فتوسنتز و تولید مواد ساکارزی گیاه را به دنبال دارد (Malakouti and Tabatabaei, 1999). همسو با نتایج حاضر، افزایش TSS در میوه گوجه‌فرنگی در اثر مصرف آهن را ناشی از افزایش میزان کلروفیل برگ و افزایش تولید مواد قندی بیان کردند (Kazemi, 2013).

مواد جامد محلول از شاخص‌های مهم کیفی در میوه توت‌فرنگی است که رابطه بالایی با ساختار میوه دارد. میوه حاوی نشاسته و قندهایی مانند گلوکز، فروکتوز و ساکارز است که مقادیر این قندها در دوره رسیدن میوه به دلیل آبکافت (هیدرولیز) نشاسته افزایش می‌یابد. ساکارز رایج‌ترین شکل کربوهیدرات‌ها در بین تولیدهای فتوسنتزی است که از محل تولید به سمت مصرف (میوه) منتقل شده و منجر به افزایش میزان TSS و درصد قند محلول می‌شود. بنابراین اثر آهن در افزایش مقدار TSS به دلیل نقش آهن در افزایش فتوسنتز است و از آنجایی که یکی از تولیدات مهم در فتوسنتز قند می‌باشد؛ بنابراین افزایش فتوسنتز باعث افزایش ترکیبات قندی و بیشتر شدن TSS در آب میوه می‌شود (Davaranpanah et al., 2013).

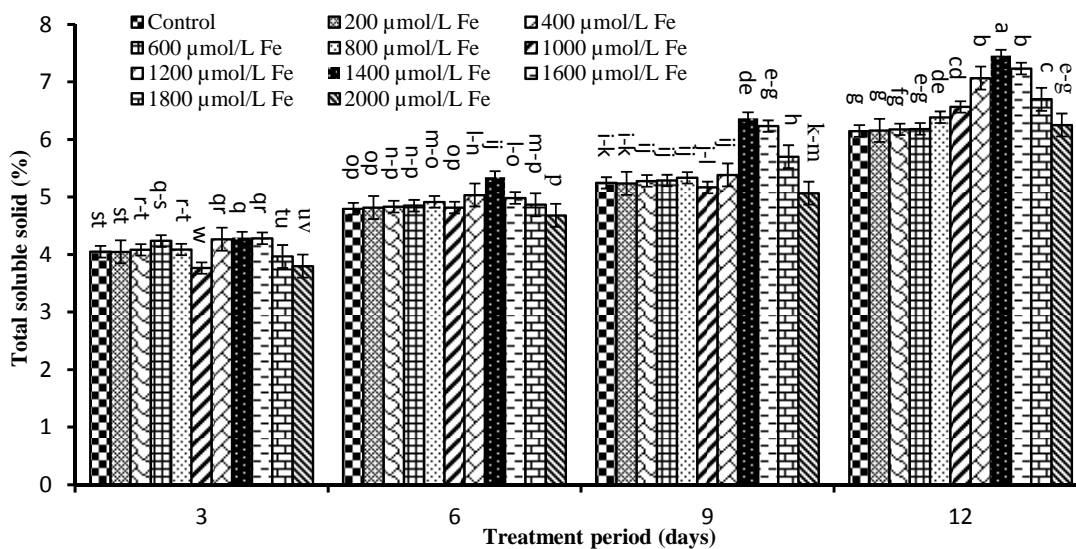
عباس بهاری و همکاران: تاثیرکلات آهن بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیا ز و خواص آنتی اکسیدانی میوه...

جدول ۱. تجزیه واریانس تاثیر غلظت های مختلف آهن بر مواد جامد محلول و سفتی بافت میوه توت فرنگی 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, * and ** به ترتیب: غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ درصد و معنی دار در سطح ۱ درصد
ns, * and ** are non-significant and significant at the 0.05 level and 0.01 level, respectively



شکل ۲. تاثیر غلظت های مختلف آهن بر مواد جامد محلول میوه توت فرنگی طی مراحل نموی

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می باشد

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

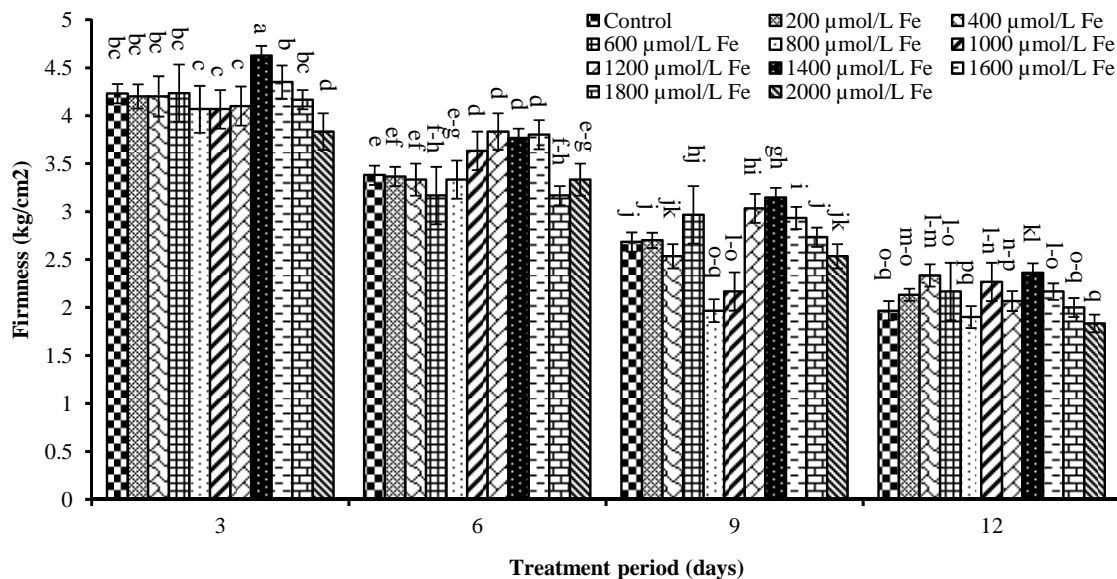
سفتی بافت

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 معنی‌داری 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 آهن‌کندتر 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 میوه توت‌فرنگی به دلیل فروپاشی دیواره 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 احتمالاً به دلیل کندتر شدن فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز و پکتین متیل استراز باشد که وظیفه هیدرولیز پکتین در دیواره سلولی را انجام می‌دهند (Lurie, 2003).



شکل ۳. تاثیر غلظت های مختلف آهن بر سفتی بافت میوه توت فرنگی طی مراحل نمو

حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می باشد

Fig 3. The influence of iron different concentrations on firmness 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.

ویتامین ث ترکیبی زیست فعال (بیواکتیو) است که خواص آنتی اکسیدانی دارد و به طور عمده به عنوان شاخص کیفیت تغذیه ای میوه توت فرنگی شناخته می شود. این ویتامین به مقدار فراوان در میوه توت فرنگی یافت می شود که به طور پیوسته در طول دوره نمو میوه افزایش می یابد. مطابق با نتایج این تحقیق استفاده از Fe-EDDHA به روش مصرف خاکی، به مقدار ۱۰/۵ کیلوگرم در هکتار اثر معنی داری در افزایش مقدار ویتامین ث میوه توت فرنگی رقم "سلوی" داشت (حسینی و بهادری، ۱۳۹۵). افزایش میزان ویتامین ث در میوه های لیمو شیرین (Aboutalebi and Hassanzadeh, 2013)، توت فرنگی (Kazemi, 2014) و رازبری (Soubeyrand et al., 2014) در اثر کاربرد آهن گزارش شد. دلیل افزایش میزان اسیدآسکوربیک را می توان افزایش فعالیت آنزیم آسکوربیک سنتتاز توسط آهن و در نتیجه بهبود ویتامین ث دانست (Taiz and Zeiger, 2006).

اسید آسکوربیک (ویتامین ث)

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر ویتامین ث میوه توت فرنگی طی دوره رشد و نمو معنی دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین ها، اختلاف معنی داری در میوه های تیمار شده با آهن در تمام نوبت های نمونه برداری (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم بررسی) نسبت به یکدیگر و در مقایسه با نمونه های شاهد از نظر میزان ویتامین ث وجود داشت. همچنین، میزان ویتامین ث در همه دوره های بررسی در میوه های شاهد نسبت به یکدیگر تفاوت معنی داری داشتند. با بررسی روند رسیدن میوه ها طی آزمایش مشخص گردید میزان ویتامین ث به طور مرتب افزایش یافته است. نکته قابل توجه این است که اختلاف میزان ویتامین ث بین میوه های تیمار شده با آهن و شاهد در زمان اول بسیار اندک بود ولی با رشد میوه و تاثیرگذاری آهن این اختلاف در روز نهم نمونه برداری به اوج خود رسید (شکل ۴).

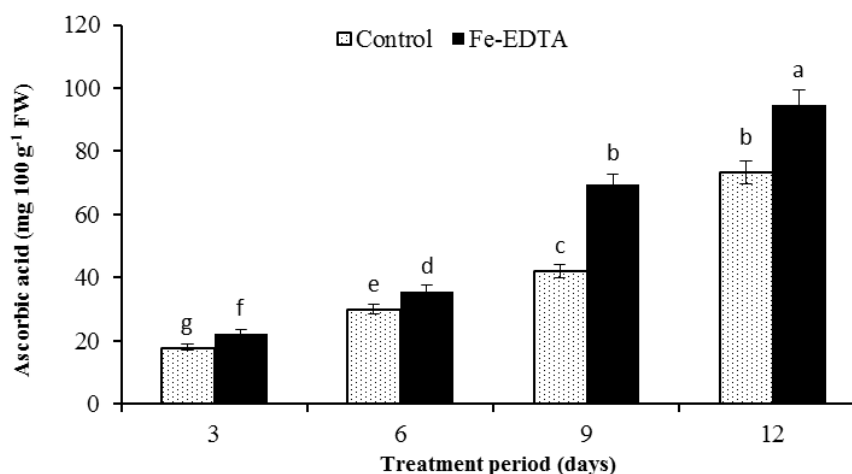
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر صفات میوه توت‌فرنگی طی مراحل نموی

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*	2/83 ^{ns}	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.

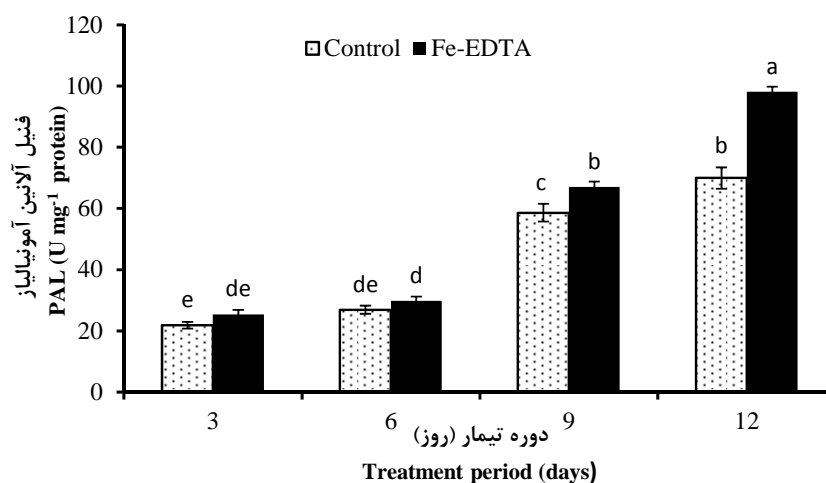
میانگین داده‌ها، در میوه‌های تیمار شده با آهن نسبت به یکدیگر بین روزهای سوم و ششم نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری از نظر میزان فعالیت آنزیم PAL مشاهده نشد ولی در روزهای نهم و دوازدهم بررسی، میزان فعالیت آنزیم PAL نمونه‌های تیمار نسبت به یکدیگر و در مقایسه

فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز (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

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 متابولیسم 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.

با میوه‌های روزهای سوم و ششم آزمایش به طور معنی‌داری 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 میوه‌های 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 نمونه‌های شاهد نسبت به یکدیگر از نظر میزان فعالیت PAL بین 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)



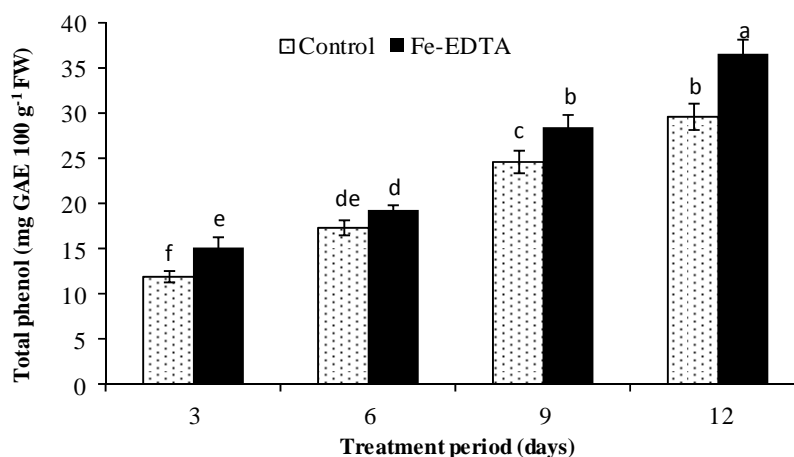
شکل ۵. تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز میوه توت‌فرنگی طی مراحل نمو حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد.

Fig 5. The influence of iron concentration (1400 $\mu\text{mol/L}$) on PAL activity 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.

فنول کل

ترکیبات فنولی مسئول برخی از ویژگی‌های حسی مرتبط با کیفیت مواد غذایی گیاهی هستند که از جمله آنها می‌توان به طعم تلخ و گس، رنگ تیره و بوی مواد غذایی اشاره کرد (Shoji, 2007). همگام با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز میزان تولید این ترکیبات نیز افزایش می‌یابد. در راستای این بررسی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که کاربرد Fe-EDTA با افزایش میزان فنول کل نمونه‌های تیمار شده تاثیر مثبتی بر کیفیت میوه توت‌فرنگی داشت (Amaliotis et al., 2002). در بررسی‌های مشابهی که روی میوه توت‌فرنگی (Pestana et al., 2012) و سیب رقم گالا با غلظت ده میلی‌گرم در لیتر (بابالار و همکاران، ۱۳۹۵) انجام شد افزایش میزان فنول کل مشاهده گردید. علاوه بر این در بررسی دیگری مشخص شد که مصرف Fe-EDTA با تاثیری که بر تحریک فعالیت آنزیم PAL دارد باعث تولید ترکیبات فنولی گردید (Wang et al., 2018). با این تفاسیر دلیل افزایش فنول کل میوه‌ها را می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم PAL مرتبط دانست (Määttä et al., 2004) به طوری که در این پژوهش با محلول‌پاشی آهن میزان فعالیت این آنزیم افزایش یافت.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر آهن، زمان و اثر برهمکنش بین آنها بر فنول کل میوه توت‌فرنگی طی دوره رسیدن معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، از نظر میزان فنول کل در میوه‌های محلول‌پاشی شده با آهن، در همه نوبت‌های نمونه‌برداری (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم بررسی) نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ولی در مقایسه با نمونه‌های شاهد فقط در روز ششم بررسی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، در میوه‌های شاهد نسبت به یکدیگر در تمام نوبت‌های آزمایش (روزهای سوم، ششم، نهم و دوازدهم نمونه‌برداری) از نظر میزان فنل کل اختلاف معنی‌داری دیده شد. کمترین میزان فنل کل مربوط به روز سوم زمان نمونه‌برداری بود که با طی شدن روند رشد و نمو میوه به مرور افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقدار آن در روز پایانی آزمایش (روز دوازدهم بررسی) همزمان با رسیدن میوه‌ها بدست آمد (شکل ۶). فنول یک ترکیب ساده با خواص مختلف می‌باشد که به طور طبیعی توسط گیاهان مختلف تولید می‌شود. این ترکیب به عنوان یک ترکیب فعال، تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی را در گیاهان تنظیم می‌کند.



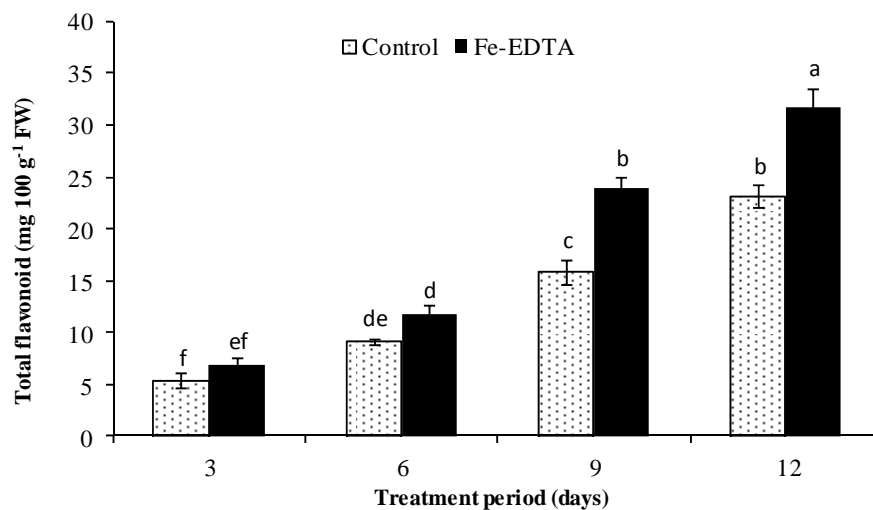
شکل ۶. تاثیر غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر آهن بر فنل کل میوه توت‌فرنگی طی مراحل نمو حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد

Fig 6. The influence of iron concentration (1400 $\mu\text{mol/L}$) 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

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 آمونیالیاز 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.

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 نمونه‌برداری نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند به طوری که مقدار آن نیز طی دوره رسیدن میوه افزایش یافت (شکل ۷).



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.

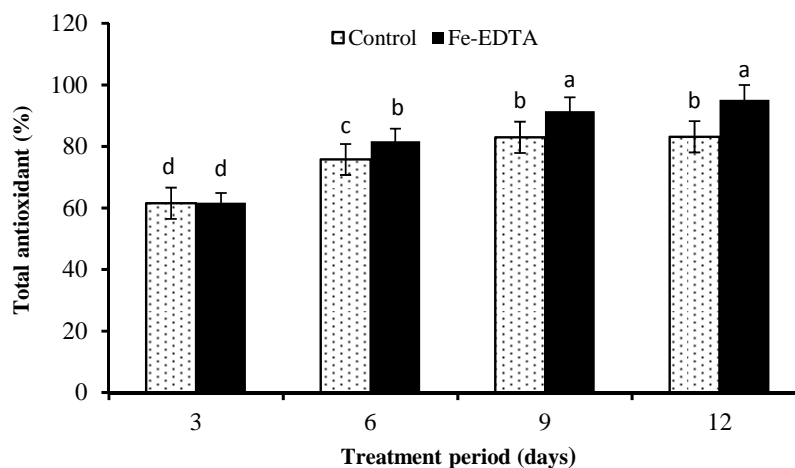
Fig 7. The influence of iron concentration (1400 $\mu\text{mol/L}$) on total flavonoid content of strawberry fruit during developmental stages. Different letters indicate significant difference between the values of pairs of treatment within columns at $P < 0.05$ according Duncan's multiple comparisons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

آنتی‌اکسیدان کل

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. به این ترتیب که افزایش فنول‌ها و فلاونوئیدها 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.

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



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 $\mu\text{mol/L}$) 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.

نتیجه گیری کلی

تیمار شده با آهن به ترتیب ۳۶/۵۴ و ۳۱/۷۶ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر مشاهده شد. بنابراین، با انتخاب غلظت بهینه آهن، می توان علاوه بر تسریع رسیدگی میوه و امکان عرضه زودتر محصول به بازار با حفظ سفتی بیشتر، بهبود ارزش تغذیه ای میوه توت فرنگی را نیز به همراه داشت.

طبق نتایج تحقیق، تغذیه برگگی 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 آمونیا لیا ز و آنتی اکسیدان کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. مصرف آهن باعث افزایش ۱۰/۰۷ درصدی آنتی اکسیدان کل، ۱۳/۲ درصدی TSS، ۲۱/۴۳ درصدی ویتامین ث، ۲۸/۲ درصدی میزان فعالیت آنزیم PAL و حفظ بیشتر سفتی بافت میوه ها در مقایسه با شاهد شد. میزان فنل و فلاونوئید کل میوه های

سپاس گزاری

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

منابع

- بابالار، م.، جلیلی، خ.، عسگری، م.، و طلائی، ع.، ۱۳۹۵. بررسی تأثیر نیترات آمونیوم و آهن بر خواص کیفی و پاداکسندگی میوه 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 توت فرنگی رقم سلوا (*Fragaria × ananassa* Duch). *علوم و فنون کشت های گلخانه ای*. شماره ۲۸.
- راحی، م.، ۱۳۸۴. فیزیولوژی پس از برداشت. مقدمه ای بر فیزیولوژی و جابجایی میوه، سبزی ها 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.، طلائی، ع.، آقاجانی، س.، ۱۳۹۸. اثر تغذیه برگگی آهن و روی بر برخی ویژگی های کمی و کیفی میوه سیب "دلبار استیوالگ". *علوم باغبانی ایران*، ۵۰ (۲)، صص ۲۷۴-۲۶۵.
- ملکوئی، م. ج.، طباطبائی، س. ج.، ۱۳۷۶. تغذیه گیاهان از طریق محلول پاشی: 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 limetta*) fruit quantity and 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). *Environmental and Experimental 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.
- 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 exogenous salicylic 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 Statistical 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 vegetative 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.

- Määttä, 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., Sjöholm, 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.
- 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 phosphomolybdc-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 browning 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.

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

Saeed Rezaei¹, Mohammad Esmaeil Amiri², Abas Bahari^{3*}, Farhang Razavi⁴, Morteza Soleimani Aghdam⁵

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. aghdam@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 $\mu\text{mol/L}$ 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