بررسی روند تغییر ترکیب‌های زیست‌فعال میوه دو رقم لیموترش لیسبون (*Citrus limon* cv. Lisbon) و کوک‌اورکا (*C. limon* cv. Cook Eureka) طی رسیدن

سیده الهام سیدقاسمی[1*]، جواد فتاحی‌مقدم[2] و بابک باباخانی[1]

[1] تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، گروه علوم گیاهی

[2] رامسر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۳

چکیده

در این پژوهش از میوهٔ دو رقم لیموترش (لیسبون و کوک‌اورکا) برای مطالعه تغییر ترکیب‌های زیست‌فعال و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه طی مراحل رشدی بلوغ تا رسیدن استفاده شد. میوه‌های هر رقم به‌فاصله زمانی هر ۱۰ روز یکبار طی یک ماه (۲۴ مهر تا ۲۷ آبان) برداشت و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که میوه کوک‌اورکا با میانگین وزن ۱۳۱/۰۴ گرم، طول ۶۰/۸۴ میلی‌متر، حجم ۱۱۵/۱۲ میلی‌متر مکعب و عصاره کل ۳۹/۲۲ درصد به‌طور معنی‌داری درشت‌تر از میوه لیسبون بود. بیشترین مقدار اسید قابل تیتراسیون در هر دو رقم در اوایل آبان (لیسبون با مقدار ۱۳/۵۱ و کوک‌اورکا با مقدار ۱۰/۹۵ درصد) مشاهده شد. مقدار شاخص تکنولوژی در هر دو رقم در دامنه ۳/۴۰ تا ۴/۵۱ درصد قرار داشت. بیشترین مقدار فنل‌کل گوشت در رقم لیسبون در اوایل آبان (مقدار ۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) و در رقم کوک‌اورکا در اواسط آبان (مقدار ۱/۴۸ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. رقم لیسبون در اواسط آبان با مقدار ۵۷/۰۵ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم بیشترین مقدار آسکوربیک‌اسید را دارا بود. بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در رقم کوک‌اورکا و در اوایل مهر (با مقدار ۶۵/۳۳ درصد) مشاهده شد. کمترین مقدار کلروفیل‌کل در پوست و گوشت لیسبون به‌ترتیب با مقادیر ۰/۶۹ (اواسط آبان) و ۰/۴۲ میلی‌گرم بر گرم (اواخر آبان) اندازه‌گیری شد. رقم لیسبون بیشترین مقدار کاروتنوئیدکل پوست (با مقدار ۶/۸۵ میلی‌گرم بر گرم در اوایل آبان) را داشت. بنابراین میوه‌ها قبل از شروع متابولیسم داخلی (اواخر مهر) یا پس از رسیدگی کامل (اواخر آبان) دارای حداکثر میزان ترکیب‌های زیست فعال بودند.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، رسیدن، لیموترش، مرکبات

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۷۷۶۶۲۳۶۶ ، پست الکترونیکی: seiedghasemi@yahoo.com

مقدمه

مرکبات دربرگیرنده گروه بزرگی از میوه‌ها، شامل انواع پرتقال، نارنگی، لیموترش، لیموشیرین، گریپ‌فروت و بالنگ هستند. با توجه به تولید بالای آن در مناطق مختلف جهان، این محصول از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار است. مرکبات در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری که خاک مناسب، گرمای متوسط و رطوبت دائمی دارد تولید می‌شود. لیموترش در ایران، بیشتر در جنوب کشور کشت شده و به‌دلیل سرما تا حدودی گسترش آن در شمال محدود است. میزان تولید مرکبات در ایران در سال ۱۳۹۰، حدود ۴/۵ میلیون تن گزارش شده که از این مقدار ۲۱/۷۶ درصد به تولید انواع لیموها (لیموترش و لیمو شیرین) اختصاص دارد (۲). واریته لیسبون یکی از مهمترین و مقاوم‌ترین ارقام متداول لیمو در برابر شرایط نامساعد محیطی (سرما، گرما و باد) در ایران است (۵).

بلوغ و رسیدگی در میوه‌ی لیموترش متفاوت از سایر مرکبات است. در لیموترش به‌دلیل اسیدیته‌ی بالا، از درصد

آب‌میوه به‌عنوان شاخص رسیدگی استفاده شده و هنگامی که ۳۰ درصد وزن میوه را آب‌میوه تشکیل دهد، میوه رسیده محسوب می‌شود (۱۰ و ۲۷). وزن میوه، ضخامت پوست، مقدار اسید قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول از دیگر شاخص‌های بلوغ فیزیولوژی و رسیدن در مرکبات هستند. در پژوهشی روی لیموی اورکا و لیسبون، مقدار اسید قابل تیتراسیون به‌ترتیب ۷/۸ و ۶/۱۳ درصد و مقدار مواد جامد محلول به‌ترتیب ۹/۱۵ و ۸ درصد گزارش شد (۳۱). در پژوهش فتاحی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۰)، رابطه‌ی نسبتاً مستقیمی بین اندازه‌ی میوه، ضخامت پوست و درصد تفاله مشاهده شد (۴). کوماری و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار pH در میوه‌ی لیموترش نارس و رسیده را به‌ترتیب برابر ۲/۳۸ و ۲/۶۰ بیان کردند (۲۶).

لیموها به‌دلیل داشتن عطر، طعم مطلوب و اسیدیته‌ی بالا، مورد پسند بسیاری از مصرف‌کنندگان بوده و در صنعت به‌عنوان افزودنی غذاها کاربرد زیادی دارند. همچنین با داشتن مقادیر بالای ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی، ویتامین C، ویتامین B، ریبوفلاوین، مواد معدنی، پروتئین و کربوهیدرات، دارای ارزش غذایی و دارویی بالایی هستند (۹). آنتی‌اکسیدان‌ها با ممانعت از اکسیداسیون لیپیدها و مولکول‌های دیگر، از شروع یا انتشار زنجیره‌ی اکسیداسیون جلوگیری کرده و یا آن را به تأخیر می‌اندازند (۱۷).

عموماً پوست میوه شامل غلظت بالاتری از مواد آنتی‌اکسیدانی است. پوست، نیمی از میوه را تشکیل می‌دهد و غنی از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان طبیعی چون فنل‌ها و فلاونوئیدها است (۴). با توجه به اینکه میزان این ترکیب‌ها می‌تواند با توجه به رقم، بخش‌های مختلف میوه، مرحله‌ی رشدی و شرایط اقلیمی متفاوت باشد، تحقیقاتی در این زمینه روی تفاوت میزان این ترکیب‌ها تحت شرایط مختلف انجام شده است. رامفل و همکاران (۲۰۱۰)، پس از بررسی ترکیب‌های فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ۲۱ رقم مرکبات از جمله لیمو مشاهده کردند که پوست مرکبات دارای مقدار قابل توجهی از آنتی‌اکسیدان‌های فنلی است (۳۲). همچنین افشار محمدیان و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه ترکیبات زیست‌فعال و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی لیموترش لیسبون و پرتقال سیاورز در دماهای پایین دریافتند که فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی لیموترش لیسبون به‌طور معنی‌داری بالاتر از پرتقال سیاورز بود (۷). رخا و همکاران (۲۰۱۲)، پس از بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب‌میوه‌های نابالغ (Immature) و رسیده چهار رقم مرکبات شامل لیمو، نارنگی، نارنج و پرتقال، بیان نمودند که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب‌میوه‌های رسیده کمتر از نابالغ بود (۳۴). حاجی‌محمودی و همکاران (۲۰۱۲)، میزان آسکوربیک‌اسید آب‌میوه‌های لیموترش طبیعی و تجاری را با یکدیگر مقایسه کردند. در این بررسی میزان آسکوربیک‌اسید در لیموهای طبیعی (با مقدار ۱۸۷/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر) بیشتر از لیموهای تجاری (با مقدار ۱۰۹/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) بود (۲۱).

معمولاً به‌دلیل اینکه صفر فیزیولوژی مرکبات ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد است و لیموها به‌دلیل حساسیت به سرما به دمای بالاتری نیاز دارند، محققان بر این باور هستند که این عامل می‌تواند محدود کننده‌ی گسترش آنها در شرایط اقلیمی شمال ایران باشد. تاکنون تحقیقات جامعی در زمینه‌ی تغییرات کیفی و فیزیکوشیمیایی میوه‌ی لیموها، هنگام رسیدن در شرایط شمال با دمای پایین‌تر نسبت به جنوب کشور منتشر نشده است. بنابراین در این بررسی تلاش شد تا میزان ترکیب‌های زیست‌فعال و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی این لیموها (لیسبون و کوک‌اورکا) در مراحل رشدی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روشها

مواد گیاهی: در این مطالعه از دو رقم لیموترش لیسبون و کوک‌اورکا موجود در کلکسیون ژرم‌پلاسم پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری (رامسر) استفاده شد.

نمونه‌ها به‌طور تصادفی از جهات مختلف درخت و تا حد امکان یکنواخت به‌فاصله زمانی هر ۱۰ روز طی یک ماه (۲۴ مهر تا ۲۷ آبان) برداشت و پس از مخلوط شدن، گروه‌بندی (۳ گروه) شدند. هر گروه به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. در هر مرحله میوه‌ها به آزمایشگاه برای ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میوه منتقل شدند.

ویژگی‌های فیزیکی میوه: وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل HR 200، ساخت ژاپن) بر حسب گرم اندازه‌گیری شد. برای محاسبه‌ی طول، عرض و همچنین ضخامت پوست میوه (بعد از جدا کردن پوست میوه) از کولیس دیجیتال (مدل Absolute Mitutoyo، ساخت ژاپن) بر حسب میلی‌متر استفاده شد. حجم میوه به روش جابجایی حجم آب، برحسب میلی‌لیتر مکعب محاسبه شد. با گرفتن آب‌میوه و اندازه‌گیری وزن آن، درصد آب بر حسب وزن میوه بدست آمد.

ویژگی‌های شیمیایی میوه: مقدار اسید قابل تیتراسیون، به روش تیتراسیون با استفاده از سود ۰/۱ نرمال و معرف فنل فتالئین تا رسیدن به pH=۸/۵ تعیین شد. میزان pH آب‌میوه با pH متر دیجیتال (مدل EUTECH pH 6+، ساخت مالزی) و درصد مواد جامد محلول نیز به‌وسیله رفرکتومتر چشمی (مدل VUR-1N، ساخت کره) اندازه‌گیری شد. مقدار شاخص تکنولوژی از حاصل‌ضرب درصد مواد جامد محلول در درصد آب‌میوه محاسبه شد.

ارزش غذایی میوه

استخراج: مقدار یک گرم از پوست و گوشت میوه پس از جدا شدن به‌مدت ۲۴ ساعت در حلال متانول (۳ میلی‌لیتر) قرار داده شد و بعد نمونه‌ها به‌وسیله سانتریفیوژ (مدل Sigma 2-16 PK ساخت آلمان) با سرعت ۶۰۰۰ دور به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. بخش رویی جدا و برای انجام آزمایش‌های بعدی در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

اندازه‌گیری میزان فنل‌کل: برای سنجش مقدار فنل‌کل، از روش فولین سیوکالتیو استفاده شد (۴). میزان جذب محلول حاصل به‌کمک اسپکتوفتومتر (مدل UV- 1601، ساخت چین)، در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گالیک‌اسید (۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) به‌دست آمد. میزان فنل‌کل نمونه از روی معادله خط استاندارد (y=۰/۰۱۵x – ۰/۱۰۳) بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر به‌دست آمد.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئیدکل: میزان فلاونوئیدکل به روش کالریمتری کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد (۴). در این روش جذب مخلوط واکنش در طول موج ۴۱۵ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف کوئرستین (۰/۲۵، ۱۲۵، ۰/۰۶، ۰/۰۳، ۰۱/ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) رسم شد. مقدار فلاونوئیدکل به‌کمک معادله خط استاندارد کوئرستین (y=۵/۰۳ x + ۰/۰۴) تعیین و بر حسب میلی‌گرم بر گرم کوئرستین وزن تر بیان شد.

اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید کل: رنگدانه‌های کلروفیلی و کاروتنوئیدی با استفاده از روش رنگ‌سنجی به روش لیچتن‌تلر (۱۹۸۷) محاسبه شد (۲۸). در این روش ۰/۵ گرم از بافت پوست و گوشت را جدا کرده و یک میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به آن افزوده شد. پس از ۱۵ دقیقه، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ تا ۷۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس محلول رویی به آرامی برداشته و این عمل ۳ بار تکرار شد. محلول‌های رویی برداشته شده در هر مرحله در ظرف مشترک ریخته و بلافاصله در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد. با قرار دادن در فرمول‌های زیر مقدار کلروفیل a ، b و کاروتنوئیدکل برای هر تکرار محاسبه شد.

$$Chl_a\ (mg/g)=۱۲/۲۵\ A_{۶۶۳} – ۲/۷۹\ A_{۶۴۵}$$

$$Chl_b\ (mg/g) = ۲۱/۵\ A_{۶۴۵} - ۵/۱\ A_{۶۶۳}$$

$$\text{کاروتنوئید} = ۱۰۰۰ (A_{۴۷۰} - ۱/۸\ Chl_a\ ۸۵/۰۲\ Chl_b) / ۱۹۸$$

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی: فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه ها با استفاده از عصاره متانولی (به نسبت ۱:۳) و به روش مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)) اندازه‌گیری شد. به این صورت که پس از رقیق سازی عصاره‌های متانولی به نسبت ۱:۱۸ با آب مقطر، ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره رقیق شده با ۸۰۰ میکرولیتر محلول DPPH ترکیب و به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. جذب نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر و با طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین شد. درصد بازدارندگی رادیکال‌های آزاد (IC%(Inhibitory concentration)) با قرار دادن عدد جذب در فرمول زیر بدست آمد. در این فرمول A_o عدد جذب $DPPH^{\bullet}$ و A_s عدد جذب نمونه بود.

$$IC\% = (A_o - A_s) / A_o \times ۱۰۰$$

تجزیه آماری: داده‌های حاصل براساس آزمون اسپلیت معمولی (عامل اصلی زمان برداشت در چهار سطح و عامل فرعی نوع رقم در دو سطح) در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه واریانس شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح متناظر انجام شد. برای محاسبه‌ی همبستگی از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های فیزیکی میوه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که از بین ویژگی‌های فیزیکی، فقط مرحله رشدی تأثیر معنی‌داری بر وزن، عرض میوه و درصد آب‌میوه (p<۰/۰۵) داشت. رقم کوک‌اورکا از نظر وزن میوه و درصد عصاره به‌طور معنی‌داری بالاتر از لیسبون بود. به‌طورکلی وزن میوه طی رسیدن هم‌زمان با صفات طول (با ضریب ۰/۶۳)، عرض (با ضریب ۰/۹۳)، حجم (با ضریب ۰/۴۵)، ضخامت پوست (با ضریب ۰/۵۲) و درصد عصاره (با ضریب ۰/۱۲) افزایش یافت. درصد عصاره طی بلوغ تا رسیدن در رقم لیسبون در دامنه‌ی ۳۲/۱۵ تا ۳۷/۵۴ و در رقم کوک اورکا ۳۵/۲۱ تا ۴۳/۴۸ درصد بود (جدول ۱).

pH : مقدار pH به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مرحله رشدی و نوع رقم قرار گرفت (p<۰/۰۱). بیشترین مقدار pH در رقم لیسبون (اواخر آبان) با مقدار ۱/۵۲ و در رقم کوک‌اورکا (اواسط آبان) با مقدار ۱/۳۶ مشاهده شد (جدول ۲).

مواد جامد محلول (قند)، اسید قابل تیتراسیون (اسیدیته)، نسبت قند به اسیدیته میوه، شاخص تکنولوژی: مقدار مواد جامد محلول تغییر چندانی هنگام رسیدن نداشت و از ۱۰/۳۸ تا ۱۰/۵۹ درصد برای هر دو رقم متغیر بود. میزان اسید قابل تیتراسیون در اوایل آبان (لیسبون با مقدار ۱۳/۵۱ و کوک‌اورکا با مقدار ۱۰/۹۵) بیشتر (p<۰/۰۵) از سایر زمان‌ها بود (جدول ۲). همچنین اسید قابل تیتراسیون همبستگی منفی با pH با ضریب تبیین ۰/۳۶- داشت. بیشترین مقدار شاخص تکنولوژی در رقم لیسبون ۳/۹۴ درصد و در رقم کوک‌اورکا ۴/۵۱ درصد بود (جدول ۲).

فنل‌کل: مرحله رشدی و نوع رقم تأثیر معنی‌داری بر میزان فنل‌کل میوه نداشتند. به‌طورکلی میزان فنل‌کل پوست در رقم لیسبون در دامنه‌ی ۴/۰۸- ۲/۸۸ و در رقم کوک‌اورکا در دامنه‌ی ۳/۳۴- ۲/۶۱ میلی‌گرم بر گرم بود. در گوشت میوه‌ی رقم لیسبون بالاترین مقدار در اواخر مهر (با مقدار ۱/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) و پایین‌ترین مقدار آن در اوایل آبان (با مقدار ۱/۱۵ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد. میزان فنل‌کل گوشت رقم کوک‌اورکا (در دامنه‌ی ۱/۴۸- ۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) طی رشد تغییر چندانی نداشت (جدول ۳).

فلاونوئید کل: میزان فلاونوئیدکل در هر دو رقم طی مراحل رشدی تغییر معنی‌داری نداشت. به‌طورکلی میزان فلاونوئیدکل پوست و گوشت میوه هر دو رقم در دامنه (۰/۰۰۱۴- ۰/۰۰۰۶ میلی‌گرم بر گرم) بود (جدول ۳).

جدول ۱- میزان برخی صفات فیزیکی میوه‌ی دو رقم لیموترش لیسبون و کوک‌اورکا طی رسیدن

نوع رقم	مرحله رشدی	وزن (گرم)	طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	حجم (میلی‌متر مکعب)	ضخامت پوست (میلی‌متر)	درصد عصاره (٪)
لیسبون		۱۲۰/۴۶ b*	۷۴/۰۴ a	۵۸/۷ b	۱۰۶/۹۶ b	۳/۵۱ a	۳۵/۴ b
کوک‌اورکا		۱۳۱/۰۴ a	۷۵/۲۹ a	۶۰/۸۴ a	۱۱۵/۱۲ a	۳/۴۹ a	۳۹/۲۲ a
لیسبون	اواخر مهر	۱۱۱/۸ b	۷۲/۹۸ a	۵۶/۸ c	۱۰۴/۸ a	۳/۲۲ b	۳۲/۱۵ c
	اوایل آبان	۱۱۳/۹ b	۷۱/۷۳ a	۵۷/۹۲ bc	۱۰۰/۲ a	۳/۳۹ ab	۳۷/۲ abc
	اواسط آبان	۱۲۹/۹ ab	۷۵/۴۸ a	۶۰/۹۷ abc	۱۱۷/۸ a	۳/۹۰ a	۳۴/۷۱ bc
	اواخر آبان	۱۲۶/۲ ab	۷۵/۹۶ a	۵۹/۱ abc	۱۰۵/۱ a	۳/۵۳ ab	۳۷/۵۴ abc
کوک‌اورکا	اواخر مهر	۱۱۴/۵ b	۷۲/۵ a	۵۸/۳۲ bc	۱۱۵/۱ a	۳/۳۳ ab	۳۵/۲۱ abc
	اوایل آبان	۱۲۳/۸ b	۷۴/۶۴ a	۵۹/۹۳ abc	۱۱۵/۵ a	۳/۴۱ ab	۴۲/۱۳ ab
	اواسط آبان	۱۳۴/۶ ab	۷۷/۳۴ a	۶۲/۱۱ ab	۱۲۰/۵ a	۳/۴۴ ab	۴۳/۴۸ a
	اواخر آبان	۱۵۱/۳ a	۷۶/۶۹ a	۶۳/۱۴ a	۱۰۹/۴ a	۳/۷۸ ab	۳۶/۰۳ abc

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند

جدول ۲- میزان ویژگی‌های شیمیایی میوه‌ی دو رقم لیموترش لیسبون و کوک‌اورکا طی رسیدن

نوع رقم	مرحله رشدی	pH	مواد جامد محلول(%)	اسید قابل تیتراسیون(%)	TSS/TA	شاخص تکنولوژی (%)
لیسبون	اواخر مهر	۱/۱۹ d*	۱۰/۵۹ a	۱۰/۸۷ b	۱/۰۳ b	۳/۴۰ b
	اوایل آبان	۱/۳۱ bc	۱۰/۴۶ a	۱۳/۵۱ a	۰/۷۸ b	۳/۸۹ ab
	اواسط آبان	۱/۲۸ bc	۱۰/۴۴ a	۷/۲۶ c	۱/۴۴ ab	۳/۶۲ ab
	اواخر آبان	۱/۵۲ a	۱۰/۴۹ a	۶/۳۴ c	۱/۶۶ ab	۳/۹۴ ab
کوک‌اورکا	اواخر مهر	۱/۲۵ cd	۱۰/۴۴ a	۶/۴۰ c	۲/۳۷ a	۳/۶۸ ab
	اوایل آبان	۱/۳۱ bc	۱۰/۴۰ a	۱۰/۹۵ b	۰/۹۷ b	۴/۳۹ a
	اواسط آبان	۱/۳۶ b	۱۰/۳۸ a	۶/۳۲ c	۱/۶۴ ab	۴/۵۱ a
	اواخر آبان	۱/۳۴ b	۱۰/۵۱ a	۶/۶۰ c	۲/۴۷ a	۳/۷۹ ab

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

آسکوربیک‌اسید: مقدار آسکوربیک‌اسید تحت تأثیر مرحله رشدی و نوع رقم قرار گرفت (p<۰/۰۱). بیشترین مقدار در رقم لیسبون ۵۷/۰۵ (اواسط آبان) و در رقم کوک‌اورکا ۵۵/۰۵ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم (اواخر آبان) بود (جدول ۳).

جدول ۳- **میزان ارزش غذایی میوه‌ی دو رقم لیموترش لیسبون و کوک‌اورکا طی رسیدن**

نوع رقم	مرحله رشدی	فنل‌کل پوست (میلی‌گرم بر گرم)	فنل‌کل گوشت (میلی‌گرم بر گرم)	فلاونوئیدکل پوست (میلی‌گرم بر گرم)	فلاونوئیدکل گوشت (میلی‌گرم بر گرم)	آسکوربیک‌اسید گوشت (میلی‌گرم بر ۱۰۰گرم)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی پوست میوه (٪)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوشت میوه (٪)
لیسبون	اواخر مهر	۴/۰۸ a*	۱/۸۵ a	۰/۰۰۱۲ ab	۰/۰۰۰۰۹ de	۳۱/۰۵ e	۵۶/۳۳ abc	۵۰/۳۳ a
	اوایل آبان	۲/۸۸ a	۱/۱۵ c	۰/۰۰۱۱ ab	۰/۰۰۰۱ b	۳۷/۳ de	۶۵/۰۰ ab	۴۹/۶۷ a
	اواسط آبان	۲/۳۶ a	۱/۴۶ b	۰/۰۰۰۸ b	۰/۰۰۰۰۹ cd	۵۷/۰۵ a	۴۹/۰۰ bc	۴۳/۶۷ a
	اواخر آبان	۳/۲۴ a	۱/۴۷ b	۰/۰۰۱ ab	۰/۰۰۰۰۸ e	۴۴/۳ cd	۵۲/۶۷ abc	۴۵/۳۳ a
کوک‌اورکا	اواخر مهر	۳/۸۲ a	۱/۴۴ b	۰/۰۰۱۴ a	۰/۰۰۰۰۶ f	۳۹/۸ cd	۶۵/۳۳ a	۵۰/۶۷ a
	اوایل آبان	۳/۳۳ a	۱/۳۳ bc	۰/۰۰۰۹ b	۰/۰۰۰۰۹ cd	۴۶/۳ c	۴۹/۳۳ abc	۳۹/۶۷ a
	اواسط آبان	۲/۶۱ a	۱/۴۸ b	۰/۰۰۰۷ b	۰/۰۰۰۱۱ a	۴۷/۰۵ bc	۴۷/۶۷ c	۴۵/۰۰ a
	اواخر آبان	۳/۳۴ a	۱/۳۳ bc	۰/۰۰۰۹ b	۰/۰۰۰۰۹ bc	۵۵/۰۵ ab	۴۸/۶۷ c	۴۹/۶۷ a

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

در این بررسی همبستگی منفی بین میزان فنل‌کل و آسکوربیک‌اسید مشاهده شد (با ضریب تبیین ۰/۲۶-).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: به‌طورکلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گوشت رقم لیسبون در دامنه‌ی ۴۳/۶۷ تا ۵۰/۳۳ درصد و در رقم کوک‌اورکا در دامنه ۳۹/۶۷ تا ۵۰/۶۷ درصد بود. بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی پوست در رقم لیسبون در اواسط آبان (با مقدار ۶۵ درصد) و در رقم کوک‌اورکا در اواخر مهر (با مقدار ۶۵/۳۳ درصد) مشاهده شد و بعد تا پایان آبان (برداشت آخر) کاهش یافت (جدول ۳).

رنگدانه‌های کلروفیلی و کاروتنوئیدی: در این بررسی میزان کلروفیل a در پوست، گوشت و کاروتنوئیدکل پوست تحت تأثیر مرحله رشدی و نوع رقم قرار گرفت (p<۰/۰۵). براساس جدول ۴، بیشترین مقدار کلروفیل a پوست میوه‌ی لیسبون در اوایل آبان (با مقدار ۲/۵۷ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین مقدار در اواسط آبان با مقدار ۰/۳۷ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد. در رقم کوک‌اورکا تفاوت معنی‌داری طی رسیدن (در دامنه ۱/۱۳- ۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده نشد. مقدار کلروفیل b و کل در پوست میوه‌ی لیسبون در اواسط آبان کاهش یافت اما در گوشت در اواخر آبان به کمترین مقدار رسید. رقم کوک اورکا در اواخر آبان دارای کمترین مقادیر کلروفیل b در پوست و گوشت میوه بود. بیشترین مقدار کاروتنوئید پوست در رقم لیسبون در اوایل آبان و در رقم کوک‌اورکا در اواسط آبان مشاهده شد.

بحث

ویژگی‌های فیزیکی میوه: به‌طورکلی وزن میوه طی رسیدن هم‌زمان با صفات طول، عرض، حجم، ضخامت پوست و درصد عصاره افزایش یافت. در گزارشی متوسط وزن، طول، عرض و ضخامت پوست میوه‌ی لیسبون به‌ترتیب ۱۵۱ گرم، ۸۷/۲، ۶۳/۲ و ۵/۷۴ میلی‌متر گزارش شد (۳۱) که متوسط اندازه میوه در این آزمایش کمتر از گزارش فوق بود.

گزارش شده است که حداقل درصد آب‌میوه برای برداشت لیموها ۳۰ درصد است (۱۰ و ۲۷).

جدول ۴- میزان رنگدانه‌های میوه‌ی دو رقم لیموترش لیسبون و کوک‌اورکا طی رسیدن

نوع رقم	مرحله رشدی	کلروفیل a پوست (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل a گوشت (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b پوست (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل b گوشت (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل پوست (میلی‌گرم بر گرم)	کلروفیل کل گوشت (میلی‌گرم بر گرم)	کاروتنوئیدکل پوست (میلی‌گرم بر گرم)	کاروتنوئیدکل گوشت (میلی‌گرم بر گرم)
لیسبون	اواخر مهر	۱/۵۰ ab*	۰/۵۰ a	۱/۰۹ ab	۰/۸۰ ab	۲/۵۹ a	۱/۳۰ a	۳/۸۶ b	۱/۰۴ a
	اوایل آبان	۲/۵۷ a	۰/۴۲ a	۱/۲۶ a	۰/۷۵ ab	۳/۸۲ a	۱/۱۷ a	۶/۸۵ a	۰/۹۶ bcd
	اواسط آبان	۰/۳۷ c	۰/۵۶ a	۰/۳۲ c	۱/۰۶ a	۰/۶۹ c	۱/۶۲ a	۲/۴۷ bc	۰/۸۴ ab
	اواخر آبان	۱/۱۹ b	۰/۱۶ b	۱/۰۴ abc	۰/۲۶ c	۲/۲۳ ab	۰/۴۲ b	۳/۴۵ b	۰/۳۹ cd
کوک‌اورکا	اواخر مهر	۰/۸۲ bc	۰/۴۶ a	۱/۳۸ a	۰/۷۸ ab	۲/۱۹ ab	۱/۲۴ a	۱/۰۳ c	۱/۱۶ a
	اوایل آبان	۱/۱۰ b	۰/۴۷ a	۱/۱۰ ab	۰/۸۶ ab	۲/۱۹ ab	۱/۳۳ a	۲/۲۴ bc	۰/۰۷ d
	اواسط آبان	۱/۱۳ b	۰/۳۱ ab	۰/۸۳ abc	۰/۵۶ abc	۱/۹۶ abc	۰/۸۷ ab	۳/۶۶ b	۰/۵۴ abc
	اواخر آبان	۰/۶۴ bc	۰/۵۲ a	۰/۳۹ bc	۰/۴۷ bc	۱/۰۲ bc	۰/۹۹ ab	۲/۶۵ bc	۰/۱۹ d

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

به‌نظر می‌رسد هر دو رقم در مرحله بعد از بلوغ (اواخر مهر) شاخص استاندارد آب‌میوه را در شرایط شمال ایران داشتند. در پژوهشی درصد آب‌میوه در لیموی اورکا که نزدیک به کوک‌اورکا است ۴۲/۸۳ درصد گزارش شد (۱۶) که درصد آب‌میوه کوک‌اورکا با آن مطابقت داشته، ولی رقم لیسبون دارای درصد آب کمتری بود.

pH : نتایج نشان داد که pH در هر دو رقم طی رسیدن روند افزایشی داشت (جدول ۲). رخا و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که مقدار pH در مراحل رشدی میوه افزایش می‌یابد که به‌طور مشابه نتایج این آزمایش نیز از این روند تبعیت نمود (۳۴). پژوهش‌ها نشان دادند که میزان pH در لیموی تازه ۲/۵۴ و در رقم اورکا ۲/۳۲ بود (۱۶ و ۲۲) که مقادیر مشاهده شده در این پژوهش کمتر از مقادیر گزارش شده‌ی فوق بود.

مواد جامد محلول (قند)، اسید قابل تیتراسیون (اسیدیته)، نسبت قند به اسیدیته میوه، شاخص تکنولوژی: با اینکه در این پژوهش میزان TSS تغییر معنی‌داری هنگام رسیدن نداشت اما بررسی‌های انجام شده روی پرتقال نشان داد که مقدار مواد جامد محلول طی رسیدن افزایش یافته اما مقدار اسید قابل تیتراسیون کاهش می‌یابد (۱۰ و ۱۸). فتاحی و همکاران (۲۰۱۱)، به نقل از بیاله (۱۹۶۰) بیان کردند که افزایش مواد جامد محلول و قند کل میوه طی رسیدن به‌دلیل هیدرولیز نشاسته به قند و همچنین کاهش در میزان تجزیه قند طی تخمیر است (۱۸). در این تحقیق، احتمالاً در زمان‌های برداشت که هنوز رنگ میوه کاملاً تغییر نکرده، از میزان تجزیه قندها کاسته نشد. بنابراین مواد جامد محلول طی رسیدن افزایش چشمگیری نداشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد این پدیده به‌دلیل اسیدیته‌ی بالای لیموترش امری طبیعی باشد. از نظر مقدار، مواد جامد محلول به‌دست آمده در این آزمایش بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط سایر محققان در لیموی تازه، لیموی اورکا و لیسبون بود (۱۶ و ۳۵).

در این بررسی، مرحله‌ی رشدی و نوع رقم تأثیر معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بر میزان اسید قابل تیتراسیون داشت. رخا و همکاران (۲۰۱۲)، بیان کردند که مقدار اسید قابل تیتراسیون در لیموترش، بالاتر از نارنج، نارنگی و پرتقال است (۳۴). به‌طورکلی گزارش شده است که مقدار اسید قابل تیتراسیون طی بلوغ، ابتدا افزایش یافته و بعد کاهش

می‌یابد (۲۳ و ۳۰). به‌طور کلی مقدار اسید قابل تیتراسیون در این آزمایش بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط پژوهش‌گران بود (۱۶ و ۳۵). از آنجا که میزان اسید قابل تیتراسیون یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده مرحله رشدی است، به‌نظر می‌رسد میوه هر دو رقم لیموترش مورد مطالعه در اوایل آبان دارای بالاترین میزان اسید آلی بودند که می‌تواند برای برداشت مناسب باشد.

در مرکبات غیر اسیدی مانند پرتقال، نارنگی و گریپ‌فروت، اسید آزاد هر میوه هم‌زمان با رشد افزایش یافته و در موارد کمی ثابت می‌ماند. در این ارقام طی بلوغ مقدار قند میوه افزایش و اسیدیته کاهش می‌یابد. بنابراین نسبت قند به اسید (TSS/TA) به‌عنوان شاخص بلوغ و کیفیت میوه در این نوع از مرکبات از اهمیت بیشتری برخوردار است (۲۷). در ارقام لیموترش (مرکبات اسیدی) به‌دلیل اسیدیته‌ی بالا، تغییرات مواد جامد محلول محسوس نبوده و مقدار اسید قابل تیتراسیون دارای اهمیت بیشتری است. چنانچه نسبت این دو صفت نیز در نظر گرفته شود، مشاهده می‌شود که این نسبت در برداشت اول آبان نیز دارای کمترین مقدار است. بنابراین اوایل آبان را می‌توان زمان شروع بلوغ داخلی میوه در نظر گرفت. در این زمان میوه دارای بالاترین درصد آب‌میوه نیز است.

به‌طورکلی شاخص تکنولوژی در هر دو رقم تفاوت چشمگیری طی رسیدن نداشت؛ هرچند مقدار عددی آنها بالاتر از سایر انواع مرکبات بود. در گزارشی مقدار شاخص تکنولوژی در ارقام پرتقال در دامنه‌ی ۱/۷۲– ۱/۳۹ درصد بود (۱۱). با توجه به اینکه شاخص تکنولوژی یکی از ویژگی‌های مهم در صنعت تهیه آب‌لیمو به‌شمار می‌رود، می‌توان گفت آب‌میوه‌ی هر دو رقم مورد مطالعه از استاندارد کیفی برخوردار بودند.

فنل‌کل: گرچه فنل کل کمتر متأثر از مرحله رشدی و نوع رقم بود اما کمیت آن از نظر ارزش غذایی اهمیت دارد. فهد و همکاران (۲۰۱۳) میزان فنل‌کل در لیموی اورکا را ۷۹/۲۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم و افشار محمدیان و همکارن (۲۰۱۲) مقدار فنل‌کل لیموترش را ۱۰۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند (۱ و ۱۶). لیموهای این آزمایش که از ارقام نزدیک به لیموی اورکا هستند میزان فنل‌کل بیشتری نسبت به گزارش‌های فوق داشتند. در تحقیقی فتاحی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که میزان فنل‌کل ارقام مختلف پرتقال طی رسیدن ابتدا کاهش و بعد افزایش یافت (۱۸)، در حالی‌که در این آزمایش روند کاهشی هنگام رسیدن مشاهده شد. بعلاوه در این پژوهش، میزان فنل‌کل پوست بیشتر از گوشت بود که با یافته‌های سایر محققان در این زمینه مطابقت داشت (۴، ۲۹ و ۳۲). به‌نظر می‌رسد در شرایط آب و هوایی شمال ایران، دمای پایین منجر به افزایش میزان فنل‌کل پوست لیموها برای مقابله با آسیب‌های ناشی از سرمای ناگهانی می‌شود. با توجه به اینکه ترکیب‌های فنلی، عوامل محافظتی در برابر اشعه‌ی ماورای بنفش، پاتوژن‌ها و آفات هستند، بنابراین پوست میوه به‌عنوان بخش خارجی و حفاظتی میوه، مستعد سنتز این ترکیب‌ها بوده و غلظت بالایی از ترکیب‌های فنلی را دارد (۱۰).

فلاونوئیدکل میوه: فلاونوئید کل میوه هر چند به مقدار جزئی، اهمیت داشته و دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است. در بررسی افشار محمدیان و همکاران (۲۰۱۲) میزان فلاونوئید کل برای لیموترش ۲۷/۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گزارش شد (۱). در پژوهشی دیگر مقدار فلاونوئیدکل نوعی لیموترش در پوست و گوشت میوه به‌ترتیب برابر ۱۶/۲ و ۲ میلی‌گرم بر گرم گزارش شد که در این آزمایش کمتر از آزمایش فوق بود (۱۹). همبستگی مستقیمی در پوست با ضریب ۰/۶۶ و در گوشت با ضریب ۰/۱۶ بین ترکیب‌های فنلی و فلاونوئیدی مشاهده شد که با یافته‌های رحمان و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت داشت (۳۳). از طرفی میزان فلاونوئیدکل پوست بیشتر از گوشت بود که با یافته‌های برخی دیگر از پژوهش‌گران مطابقت داشت (۱۹ و ۳۶). مقدار اندک فلاونوئیدها در این آزمایش نشان داد

که این گروه از ترکیب‌های فنلی در لیموها فراوان نیست. گزارش شده است که گروه لیمونوئیدها ترکیب غالب در لیموها هستند (۲۷).

آسکوربیک‌اسید میوه: در این آزمایش مقدار آسکوربیک اسید در رقم کوک‌اورکا روند افزایشی داشته اما در رقم لیسبون تا اواسط آبان افزایش و بعد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد طی رسیدن، هورمون اتیلن که نسخه‌برداری از ژن‌های سنتزکننده‌ی آنزیم‌های مختلف را در جهت کاهش ترکیب‌های گیاهی تأثیرگذار در فرایند رسیدگی فعال می‌کند، افزایش می‌یابد. با بالا رفتن سرعت متابولیسم طی رسیدن، تعداد رادیکال‌های آزاد تولید شده افزایش یافته و آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند آسکوربیک‌اسید در جهت حفاظت از اثرات سمی رادیکال‌های آزاد و کاهش مواد مضر مصرف شده و مقدار آن کاهش می‌یابد (۳۴).

در پژوهشی میزان آسکوربیک‌اسید در رقم اورکا ۳۱/۲۴ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم و در گوشت نوعی لیمو ۴۷/۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شد (۱۵ و ۱۷) که مقادیر مشاهده شده در این آزمایش بالاتر از گزارش‌های فوق بود. به‌طورکلی آسکوربیک‌اسید به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان محلول در آب و کوفاکتور فرایندهای آنزیمی و هورمونی، یکی از مهمترین ویتامین‌های مورد نیاز بدن به‌شمار می‌رود. خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالای این ویتامین، نقش مهمی در عملکرد آن در متابولیسم گیاهان و انسان داشته و منجر به کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های حاد در انسان می‌شود. با توجه به اینکه بدن انسان قادر به ساخت این ویتامین نیست، جذب روزانه‌ی آن از طریق میوه‌هایی مانند لیموترش اهمیت زیادی در حفظ سلامت بشر دارد (۱۵). برداشت میوه‌ی لیموترش در بازه‌ی زمانی با محتوای بالای آسکوربیک‌اسید از این نظر اهمیت دارد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه: نتایج این بررسی نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی پوست و گوشت هر دو رقم در سطح بالایی قرار داشت (جدول ۳). فهد و همکاران (۲۰۱۳) فعالیت آنتی‌اکسیدانی لیموی اورکا را ۴۸/۳ درصد گزارش کردند که ارقام مورد مطالعه در این پژوهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری داشتند (۱۶).

یافته‌های پژوهش‌گران نشان می‌دهد که پوست میوه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به گوشت دارد (۱۴، ۲۰ و ۲۴). به‌طور مشابه در این آزمایش نیز پوست میوه هر دو رقم میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به گوشت داشت. این حالت به‌دلیل نقش محافظتی ترکیب‌های زیست‌فعال پوست در برابر عوامل محیطی و پاتوژن‌ها می‌تواند باشد.

در بیشتر گزارش‌ها، همبستگی مستقیم بین ترکیب‌های فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیان شده است (۶ و ۳۲). در این پژوهش همبستگی معنی‌داری بین فلاونوئیدکل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پوست با ضریب تبیین ۰/۶۸، همچنین بین فنل‌کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پوست با ضریب تبیین ۰/۳۰ مشاهده شد. در گوشت همبستگی مثبت بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی با فنل‌کل (با ضریب ۰/۳۱) وجود داشت. بنابراین فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارقام مورد مطالعه می‌تواند به‌دلیل بالا بودن ترکیب‌های فنلی نیز باشد.

در این بررسی با اینکه طی رسیدگی میوه، میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاهش یافت، ولی میزان ویتامین C (با ضریب تبیین ۰/۲۵-) افزایش یافت که با یافته‌های تعدادی از پژوهش‌گران مطابقت نداشت (۱۰ و ۱۳). به‌طور مشابه، آهنکوب‌رو و همکاران (۱۳۹۳) مشاهده کردند که بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوشت و میزان آسکوربیک‌اسید بیوتیپ‌های طبیعی مرکبات همبستگی منفی وجود دارد (۳). به‌نظر می‌رسد که ضمن افزایش متابولیسم‌های داخلی میوه طی روند رسیدن، آسکوربیک‌اسید موجود در میوه (آنتی‌اکسیدان قوی)، برای خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد موجود در میوه، به نوع کم‌فعال دهیدروآسکوربیک‌اسید تبدیل شده و از میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن کاسته می‌شود. قابل توجه اینکه این دو نوع آسکوربیک‌اسید به

آسانی در محیط قابل تبدیل به یکدیگر بوده و به‌راحتی در روش‌های آزمایشگاهی قابل شناسایی نیستند. به‌نظر می‌رسد بالا بودن آسکوربیک‌اسید بر خلاف ظرفیت آنتی‌اکسیدانی طی رسیدن، به‌دلیل اندازه‌گیری مجموع نوع فعال و کم‌فعال باشد (۱۵).

رنگدانه‌های کلروفیلی و کاروتنوئیدی: بیشترین مقدار کاروتنوئید پوست در رقم لیسبون در اوایل آبان و در رقم کوک‌اورکا در اواسط آبان مشاهده شد. همچنین در این بررسی مقدار کاروتنوئیدها در پوست بیشتر از گوشت بود که مشابه یافته‌های سایر پژوهش‌گران بود (۱۲ و ۲۵).

به‌طورکلی طی بلوغ تا رسیدن میوه با تولید اتیلن در پوست میوه که برخلاف گوشت دارای الگوی تنفسی کلایمتریک است، از مقدار کلروفیل‌ها کاسته شده و مقدار کاروتنوئید افزایش می‌یابد (۲۷) در این پژوهش همبستگی بین کلروفیلa و b و کل پوست با کاروتنوئید به‌ترتیب با ضرایب ۰/۸۷، ۰/۲۵ و ۰/۶۹ دیده شد. همبستگی مثبتی بین کلروفیل a و b و کل گوشت با کاروتنوئید به‌ترتیب با ضرایب ۰/۲۳، ۰/۳۵ و ۰/۳۲ وجود داشت. همچنین رابطه مستقیمی بین TA با کلروفیل a پوست (با ضریب ۰/۵۲)، کلروفیل‌کل پوست (با ضریب ۰/۴۳) و کاروتنوئید پوست (با ضریب ۰/۴۲) مشاهده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که با کاهش اسیدهای آلی (TA) طی رسیدن، میزان رنگدانه‌های کلروفیل به‌ویژه در پوست میوه نیز کاهش می‌یابد. میزان کاروتنوئید کل پوست در رقم لیسبون در اوایل آبان و در کوک‌اورکا در اواسط آبان در بالاترین سطح بود. در حالیکه در گوشت هر دو رقم بالاترین میزان کاروتنوئید در اواخر مهر مشاهده شد. کاروتنوئیدها از رنگدانه‌های مهم سطح میوه‌ها و عامل ایجاد رنگ زرد، نارنجی و قرمز در گیاهان هستند. بنابراین نقش مهمی در بازارپسندی میوه دارند. در لیموها شاخص رنگ پوست نمی‌تواند به تنهایی تعیین‌کننده رسیدگی و مرحله رشدی مناسب میوه باشد. به‌همین دلیل لیموها می‌توانند با پوست سبز، ولی بعد از بلوغ میوه و داشتن حدنصاب آب‌میوه برداشت و عرضه شوند. در مقابل این رنگدانه‌ها با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارای ارزش غذایی و دارویی هستند که بخش مهمی از کیفیت میوه محسوب می‌شود (۸).

نتیجه‌کلی

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان گفت برای دستیابی به میوه‌های با میزان ترکیب‌های زیست‌فعال بالاتر بهتر است میوه‌ها قبل از شروع متابولیسم داخلی و فرایند رسیدن، یا پس از رسیدگی کامل برداشت شوند. به‌عنوان نتیجه‌ی کاربردی می‌توان گفت با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و خطرات ناشی از سرمای زودرس در شمال کشور، بهتر است که میوه لیموها در همان مرحله شروع متابولیسم داخلی و فرایند رسیدن برداشت شوند.

سپاسگزاری

این پژوهش بر اساس مواد گیاهی تهیه شده از ایستگاه تحقیقاتی کترا وابسته به پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری (رامسر) و استفاده از آزمایشگاه‌های این پژوهشکده و دانشگاه آزاد تنکابن انجام شد که بدین‌وسیله از کارکنان این واحدها سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱. افشار محمدیان، م.، امیدی، ز.، پوراکبری، ر و اسدی آبکنار، ا. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر پلی‌پلوئیدی بر برخی ویژگی‌های آناتومیکی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاه لیموترش. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۶ (۳): ۲۳۸- ۲۴۶.

۲. آمار نامه جهاد کشاورزی ایران. ۱۳۹۲. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی.

۳. آهنکوب‌رو، م.، فتوحی‌قزوینی، ر و فتاحی‌مقدم، ج. ۱۳۹۳. بررسی تنوع بیوشیمیایی پوست و گوشت تعدادی از بیوتیپ‌های طبیعی مرکبات. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۱(۴): ۸۱-۹۸.

۴. فتاحی‌مقدم، ج.، حمیداوغلی، ی.، فتوحی‌قزوینی، ر.، قاسم نژاد، م و بخشی، د. ۱۳۹۰. ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی پوست برخی ارقام تجاری مرکبات. نشریه علوم باغبانی، ۲۵(۲): ۲۱۷- ۲۱۱.

۵. فتوحی‌قزوینی، ر، فتاحی‌مقدم، ج، ۱۳۹۰. پرورش مرکبات در ایران . انتشارات دانشگاه گیلان.

6. Abeysinghe, D.C., Li, X., Sun, C.D., Zhang, W., Zhou, C., & Chen, K. 2007. Bioactive compounds and antioxidant capacities in different edible tissues of citrus fruit of four species. Food Chemistry, 104: 1338–1344.

7. Afshar Mohamadian, M., Mobrami, Z., Hasan Sajedi, R. 2011. Bioactive compounds and antioxidant capacities in the flavedo tissue of two citrus cultivar under low temperature. Brazilian Society of Plant Physiology, 23 (3): 203-208.

8. Agocs, A., Nagy, V., Szabo, Z., Mark, L., Ohmacht, R., Deli, J. 2007. Comparative study on the carotenoid composition of the peel and the pulp of different citrus species. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 8: 390-394.

9. Baradaran Motie, J., Miraei Ashtiani, S. H., Abbaspour-Fard, M. H, Emadi, B. 2014. Modeling physical properties of lemon fruits for separation and classification. International Food Research Journal, 21(5): 1901-1909.

10. Barros, H.R.D.M., Ferreira, T.A.P.D.C., Genovese, M.I. 2012. Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. Food Chemistry, 134: 1892–1898.

11. Cavalcante, H.L., Martins, A.B.G., Stuchi, E.S., Campos, M.C.C. 2009. Fruit maturation as a parameter for selection of sweet orange cultivars in Brazil. Journal of Food, Agriculture & Environment, 7 (3&4): 316-319.

12. Curl, A.L., and Baily, G.F. 1956. Orange carotenoids. I. Comparison of Valencia orange peel and pulp. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 4: 156–159.

13. Del Caro, A., Piga, A., Vacca, V., Agabbio, M. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. Food Chemistry, 84: 99–105

14. Diankov, S., Karsheva, M., Hinkov, I. 2011. Extraction of natural antioxidants from lemon peels. Kinetics and antioxidant capacity. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 46 (3): 315-319.

15. Eitenmiller, R.R. 2008. Vitamin analysis for the health and food sciences. Taylor & Francis Group, LLC.

16. Fahad, Y., Al-Juhaimi., Ghafoor, K. 2013. Bioactive compounds, antioxidant and physico-chemical properties of juice from lemon, mandarin and orange fruits cultivated in saudi Arabia. Pakistan Journal of Botany, 45(4): 1193-1196.

17. Fang, Y.Z., Yang, S., Wu, G. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. Nutrition, 18: 872– 879.

18. Fattahi, J., Hamidoghli, Y., Fotouhi, R. 2011. Assessment of fruit quality and antioxidant activity of three citrus species during ripening. South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment, 2 (2): 113-128.

19. Ghasemi, K., Ghasemi, Y., Ebrahimzadeh, M.A. 2009, Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 Citrus species peels and tissues. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 22(3): 277-281.

20. Gorinstein S., Martin-Belloso O., Park Y.S., Haruenkit, R., Lojek, A., Ciz, M. 2001. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. Food Chemistry, 74: 309–315.

21. Hajimahmoodi, M., Aliabadipoor, M., Moghaddam, G., Sadeghi, N., Oveisi, M.R., Jannat, B. 2012. Evaluation of in vitro antioxidant activities of Lemon juice for safety assessment. American Journal of Food Technology, 7 (11): 708-714.

22. Helali, M.O.H., Ibrahim, M., Shafique, M.Z., Rahman, M.M., Biswas, S.K., Islam M.S. 2008. Formulation, preparation and preservation of lemon (*Citrus limon* L.) cordial. Journal of Biological Sciences, 16: 125-127.

23. Iglesias, D.J., Cercos, M., Colmenero-Flores, J.M., Naranjo, M.A., Rios, G., Carrera, E., Ruiz-Rivero, O., Lliso, I., Morillon, R., Tadeo, F.R., Talon, M. 2007. Physiology of citrus

fruiting. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4): 333-362.

24. Jayaprakasha, G.K., Patil, B.S. 2007. In vitro evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. Food Chemistry, 101: 410–418.

25. Kato, M., Ikoma, Y., Matsumoto, H., Sugiura, M., Hyodo, H., Yano, M. 2004. Accumulation of carotenoids and expression of carotenoid biosynthetic genes during maturation in Citrus fruit. Plant Physiology, 134: 824–837.

26. Kumari, S., Sarmah, N., Handique, A.K. 2013. Antioxidant activities of the unripen and ripen *Citrus aurantifolia* of Assam. International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, 2(9): 4811-4816

27. Ladaniya, M. 2008. Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation. Academic Press, San Diego, CA, USA.

28. Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology, 148:350-382.

29. Mathew, B.B., Jatawa, S.J., Tiwari, A. 2012. Phytochemical analysis of *Citrus limonum* pulp and peel. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 4(2): 369-371.

30. Mehouachi, J., Serna, D., Zaragoza, S., Agusti, M., Talon, M., Primo-Millo, E. 1995. Defoliation increases fruit abscission and reduces carbohydrate levels in developing fruits and woody tissues of *Citrus unshiu.* Plant Science, 107: 189-197.

31. Perez-Perez, J.G., Porras Castillo, I., Garcia-Lidon, A., Botia, P., Garcia-Sanchez, F. 2005. Fino lemon clones compared with the lemon varieties Eureka and Lisbon on two rootstocks in Murcia (Spain). Scientia Horticulturae, 106: 530–538

32. Ramful, D., T., Bahorun, E., Bourdon, E., Tarnus, O. 2010, Bioactive phenol and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian Citrus fruits: potential prophylactic ingeredients for functional foods application. Toxicology, 13: 515.

33. Rehman, Z.U. 2005. Citrus peel extract – A natural source of antioxidant. Food Chemistry, 99: 450–454.

34. Rekha, C., Poornima, G., Manasa, M., Abhipsa, V., Pavithra Devi, J., Vijay kumar, H.J., Prashith Kekuda, T.R. 2012. Ascorbic acid, total phenol content and antioxidant activity of fresh juices of four ripe and unripe Citrus Fruits. Chemical Science Transactions, 1(2):303-310.

35. Safizadeh, M.R. 2013. Vacuum infiltration of polyamines reduces chilling injury and firmness loss of lemon stored at chilling temperature. International Journal of Agriculture Crop Sciences, 6 (8): 445-451.

36. Wang, Y.C., Chuang, Y.C., Hsu, H.W. 2008. The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. Food Chemistry, 106: 277–284.

Investigation of bioactive compounds changes of two Lisbon (*Citrus limon* cv. Lisbon) and Cook eureka lemon (*C. limon* cv. Cook Eureka) varieties during ripening

Seyedghasemi S.E.[1], Fattahi Moghadam J.[2] and Babakhani B.[1]

[1] Biology Dept., Islamic Azad University of Tonekabon, Tonekabon, I.R. of Iran

[2]Horticultural Science Research Institute, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, I.R. of Iran

Abstract

In this study, some fruit physicochemical characteristics of two lemon varieties (Lisbon and Cook eureka) were investigated to determine the changes in bioactive compounds according to physicochemical properties during maturity until ripening stages. Fruits were evaluated every 10 days interval for one month (15 October to 15 November). The results showed that Cook eureka fruit with 131.04 g weight, 60.84 mm length, 115.12 mm^3 volume and 39.22 percentage of juice was significantly larger than Lisbon. The highest amount of titratable acidity of varieties (13.51 and 10.95 percent in Lisbon and Cook eureka, respectively) observed at late October. Technological Index of varieties was the range of 3.40- 4.51 percent. The highest amount of pulp phenolic observed with 1.85 $mg.g^{-1}$ at late October and 1.48 $mg.g^{-1}$ at early November in Lisbon and Cook eureka, respectively. Ascorbic acid content of Lisbon lemon was high (57.05 $mg.100g^{-1}$) at early November. Inversely, Cook eureka showed exceeding antioxidant activity with 65.33 % at mid-November. In addition, the lowest amount of total chlorophyll in peel and pulp of Lisbon was 0.69 (early November) and 0.42 $mg.g^{-1}$ (late October), respectively. The amount of total carotenoid (6.85 $mg.g^{-1}$ at late October) in Lisbon was higher than other examined varieties. Therefore, it is better that fruits to be harvested before beginning of internal metabolism (15 October) or at the full ripening stage (15 November) to have higher bioactive compounds.

Key words: Antioxidant, Citrus, Lemon, Ripening.