

بررسی برخی ترکیب‌های ضداکسایشی و فعالیت ضداکسایشی کل در هشت رقم توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa* Duch.)

تیمور جوادی^{۱*}، فریناز رحمتی^۲ و ناصر قادری^۳

۱، ۲ و ۳. استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۳۱)

چکیده

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.) منبع خوبی از ترکیب‌های ضداکسایشی طبیعی است. در این بررسی میوه‌های هشت رقم توت‌فرنگی شامل کردستان، مرک، کاماروسا، پارس، کوین‌الیزا، ونتانا، سلوا و پاجرو در مرحله رسیدگی برداشت شدند و برای تجزیه و تحلیل محتوای فنل کل، آنتوسیانین کل، ویتامین ث، مواد جامد محلول (TSS) و فعالیت ضداکسایشی کل تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که بالاترین میزان TSS در رقم‌های کردستان، کاماروسا، مرک و ونتانا مشاهده شد. رقم‌های پاجرو، کوین‌الیزا و پارس پایین‌ترین محتوای فنل کل را دارند. میزان آنتوسیانین کل و ویتامین ث در رقم‌های کردستان، مرک و کاماروسا در بالاترین میزان بود. از بین رقم‌های بررسی شده، رقم مرک بالاترین میزان اسیدینه قابل عیارسنجی (تیتراسیون) را داشت، درحالی‌که رقم کوین‌الیزا پایین‌ترین فعالیت ضداکسایشی کل را نشان داد. همبستگی مثبت بین محتوای فنل کل (۰/۴۱)، محتوای آنتوسیانین‌ها (۰/۴۲)، ویتامین ث (۰/۵۳) و اسیدینه قابل تیتراسیون (۰/۵۳) با فعالیت ضداکسایشی کل وجود داشت. به‌طور کلی رقم‌های کردستان، مرک و کاماروسا منابع مهمی برای ترکیب‌های ضداکسایشی هستند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین کل، توت‌فرنگی، ضداکسایش‌ها، فنل کل.

Study of some antioxidant compounds and total antioxidant activity in eight strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars

Taimoor Javadi^{1*}, Farinaz Rahmati² and Nasser Ghaderi³

1, 2, 3. Assistant Professor, Former M.Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran

(Received: Jan. 16, 2015 - Accepted: Apr. 20, 2015)

ABSTRACT

Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) is a good source of natural antioxidants. Fruits from eight Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) cultivars ('Kurdistan', 'Merck', 'Camarosa', 'Paros', 'Queen Elisa', 'Ventana', 'Selva' and 'Pajaro') were harvested at ripen stage and analyzed for total phenolic content, total anthocyanin content, vitamin c, total soluble solid and total antioxidant activity. The results showed that the highest TSS was found in Kurdistan, Camarosa, Merek and Ventana cultivars. The cultivars of 'Pajaro', 'Queen Elisa' and 'Paros' had the lowest total phenolic contents. Total Anthocyanin and vitamin C content were highest in 'Kurdistan', 'Merek' and 'Camarosa'. Among the investigated strawberry fruits the cultivar of 'Merek' showed the highest amount of total titratable acidity, while regarding to total antioxidant activity 'Queen Elisa' showed lower total antioxidant activity. There were significantly positive correlation between traits of total phenolic content (0.41), total anthocyanin content (0.42), vitamin C (0.53) total titratable acidity (0.53) and total antioxidant activity. Generally, 'Kurdistan', 'Merek' and 'Camarosa' were good source of antioxidant compounds.

Keywords: antioxidants, strawberry, total phenol, total anthocyanin.

مقدمه

برنامه (رژیم) غذایی نامناسب منجر به بروز بسیاری از بیماری‌ها همانند بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان می‌شود (Keith, 1999). تنش اکسایشی در اثر تعادل نداشتن میان تولید رادیکال‌های آزاد درون بدن و سازوکارهای دفاعی ضداکسایشی بیوشیمیایی به وجود می‌آید. رادیکال‌های آزاد در بدن موجودات زنده در اثر سوخت‌وساز (متابولیسم) هوازی تولید می‌شوند. این رادیکال‌ها سبب آسیب رسیدن به یاخته‌ها می‌شوند. ترکیب‌های ضداکسایشی (مانند گلوکاتینون، ویتامین ث و پلی‌فنل‌ها) سبب مهار رادیکال‌های آزاد می‌شوند (Fang *et al.*, 2002). بررسی‌های مختلف نشان داده‌اند که گیاهان ترکیب‌های ضد اکسایشی دارند که تأثیر محافظتی در برابر بیماری‌هایی مانند سرطان و بیماری‌های قلبی دارند. ترکیب‌های ضداکسایشی با مهار رادیکال‌های آزاد، از آسیب و زیان آن‌ها به لپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک جلوگیری می‌کنند (Ames *et al.*, 1993; Heinonen *et al.*, 1998).

در سال‌های اخیر عوارض نامطلوبی از مصرف ضداکساینده‌های مصنوعی (سنتتیک) مانند بوتیل هیدرواکسی آنیزول^۱ (BHA)، بوتیل هیدرواکسی تولوئن^۲ (BHT) گزارش شده و در حیوانات آزمایشگاهی باعث سرطان‌زایی و آسیب کبدی شده‌اند (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008). بنابراین تلاش برای جایگزینی ترکیب‌های ضداکسایشی مصنوعی منجر به کشف این ترکیب‌ها از منابع گیاهی شد (Mour *et al.*, 2001). به‌رغم وجود ترکیب‌های ضداکسایشی مختلف در پلاسما، سامانه دفاعی بدن به‌تنهایی قادر به از بین بردن رادیکال‌های آزاد ایجادشده در بدن نیست. به همین جهت ضداکسایش‌ها باید از راه منابع غذایی تأمین شوند (Young & Woodside, 2001). بنابراین نیاز به ترکیب‌های ضداکسایشی قوی با اثربخشی بیشتر یک ضرورت پرهیزناپذیر است. امروزه بسیاری از متخصصان تغذیه برای تأمین ترکیب‌های ضداکسایشی موردنیاز بدن، مصرف گیاهان، میوه‌ها و سبزی‌ها را توصیه می‌کنند. زیرا به‌طورمعمول مصرف ترکیب‌های ضداکسایشی گیاهی عوارض جانبی کمتر و خاصیت درمان بهتری دارند (Frankel, 1999).

از مهم‌ترین ترکیب‌های ضداکسایشی موجود در برنامه غذایی می‌توان به توکوفرول‌ها، گلوکاتینون‌ها، اسید آسکوربیک و نمک‌های آسکورات، کاروتنوئیدها و ترکیب‌های فنلی اشاره کرد (Young & Woodside, 2001). از بین ترکیب‌های گیاهی که خواص ضداکسایشی دارند، ترکیب‌های فنلی توزیع گسترده‌ای در گیاهان دارند (Frankel, 1999).

گیاهانی که غنی از ترکیب‌های ضداکسایشی هستند می‌توانند باعث حفاظت یاخته‌ها از آسیب‌های اکسایشی شوند. توت‌فرنگی یکی از این گیاهان است که میوه آن خواص ضداکسایشی بالایی دارد. میوه توت‌فرنگی ویتامین ث و ترکیب‌های فنلی بسیار بالایی دارد. انواع فنل‌ها که به‌طور عمده در توت‌فرنگی‌ها شناخته شده‌اند هیدرواکسی بنزوئیک اسیدها (گالیک و الاژیک اسیدها)، هیدرواکسی سینامیک اسیدها (p-کوماریک)، تانن‌های قابل آبکافت یا هیدرولیز (الاژیتانن‌ها)، فلاونول‌ها^۱ (کورستین، کامپفرول و میرستین)، فلاون-۳-اول^۲ (کاتچین، اپی کاتچین) و آنتوسیانین‌ها هستند، همچنین پلارگونیدین تری‌گلوکوزید یکی از رنگ‌دانه‌های فلاونوئیدی خیلی مهم است.

تحقیقات نشان داده که عصاره توت‌فرنگی فعالیت آنزیمی بالایی را برای سم‌زدایی اکسیژن و همچنین ظرفیت ضداکسایشی بالایی در برابر رادیکال‌های آزاد دارد (Pineli *et al.*, 2011).

ژنوتیپ‌های مختلف توت‌فرنگی ترکیب‌های ضداکسایشی زیاد و در نتیجه ظرفیت ضداکسایشی بالایی دارند گزارش شده است که فعالیت‌های ضد تقسیم یاخته‌ای عصاره میوه توت‌فرنگی روی رشد یاخته‌های سرطانی مخاط ریة انسان در میان ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بوده است (Wang & Lin, 2000).

ژنوتیپ و شرایط محیطی می‌توانند روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی توت‌فرنگی‌ها تأثیرگذار باشند (Pokorny, 2007). محققان بیان کردند که قندها، اسیدهای آلی، آنتوسیانین‌ها و ویتامین ث به‌طور معنی‌داری توسط ژنوتیپ تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پلارگونیدین تری‌گلوکوزید به‌عنوان

1. Flavonol

2. Flavan-3-ol

مواد و روش‌ها

میوه‌های هشت رقم توت‌فرنگی شامل رقم‌های کردستان، مرک، کاماروسا، پارس، کویین‌الیزا، و نتانا، سلوا و پاچرو در مرحله تمام قرمز از مزارع توت‌فرنگی مرکز تحقیقات کشاورزی گریزه سنندج (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۰۵ از سطح دریا) برداشت شدند. رقم‌های توت‌فرنگی به‌صورت جوی و پشته‌ای کشت شده بودند. عمر گیاهان چهار سال بود. بی‌درنگ پس از برداشت میوه‌ها در نیتروژن مایع فریز و به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه کردستان منتقل و در فریزر ۸۰- درجه سلسیوس تا هنگام اندازه‌گیری صفات مختلف نگهداری شدند.

استخراج عصاره و ارزیابی ظرفیت ضدکسایشی کل میوه‌های فریزشده توت‌فرنگی با استفاده از نیتروژن مایع با آسیاب آزمایشگاهی (IKA, Model A11B, Germany) خرد شدند. ۱ گرم میوه‌های پودر شده با ۴ سی‌سی متانول استخراج شد. عصاره متانولی به‌دست‌آمده در ۸۰۰۰ دور به مدت پانزده دقیقه سانتریفیوژ شد. در این روش، ترکیب رادیکالی پایدار دی‌پی‌پی‌اچ^۲ ۵۰ میکرومولار استفاده شد. جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفوتومتر) مدل Specord210, Analytik jena, ساخت آمریکا در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد (Larrauri et al., 1998). توان مهارکنندگی رادیکال دی‌پی‌پی‌اچ با نمونه، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$(\%) = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

رادیکال دی‌پی‌پی‌اچ

A_0 = جذب نوری نمونه بدون عصاره متانولی میوه

A = جذب نوری محلول حاوی عصاره میوه

اندازه‌گیری میزان اسید آسکوربیک

۱ گرم از میوه توت‌فرنگی آسیاب (IKA, Model A11B, Germany) شده، همراه نیتروژن مایع در ۵

آنتوسیانین غالب در همه رقم‌ها حضور دارند، درحالی‌که حضور پلاگونی‌دین‌های دیگر به ژنوتیپ بستگی دارند (Crespo et al., 2010).

مقادیر اسید آسکوربیک توت‌فرنگی توسط رقم و درجه رسیدگی میوه تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما به‌طور میانگین غلظت آن ۶۰ میلی‌گرم در صد گرم میوه تازه است که در توت‌فرنگی نسبت به دیگر میوه‌ها به نسبت بالا است (Zhang & Omaye, 1998). نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات نشان داد که اختلاف معنی‌دار در ترکیب‌های فعال زیستی^۱ مانند فنل کل، ویتامین ث، فلاونوئید، الاژیک اسید کل و ظرفیت ضدکسایشی آنتوسیانین در رقم‌های توت‌فرنگی رشد کرده در برزیل، در مرحله به‌طور کامل رسیده وجود داشت (Pinto et al., 2008).

نتایج تحقیق اثر رقم و تاریخ برداشت بر میزان مواد جامد محلول و سطوح مواد شیمیایی گیاهی ضدکساینده در دوازده رقم توت‌فرنگی نشان داد که میزان پلی‌فنل‌ها در برداشت ماه ژوئن (خرداد) پایین اما غلظت قندهای محلول و اسید آسکوربیک بیشتر بود. درحالی‌که میوه‌های برداشت‌شده در فوریه (بهمن) میزان پلی‌فنل متوسطی داشتند، اما میزان کمتری از مواد جامد محلول و اسید آسکوربیک در آن‌ها وجود داشت (Del Pozo-Insfran et al., 2006).

توت‌فرنگی به‌عنوان یک میوه غنی از مواد ضدکسایشی در استان کردستان در سطح گسترده‌ای کشت می‌شود. استان کردستان از نظر میزان تولید و سطح زیر کشت مقام اول کشور را دارد. رقم غالب توت‌فرنگی در استان رقم کردستان است و در چند سال گذشته رقم‌های زیادی وارد استان شده و کشت آن‌ها گسترش یافته است. از بین این رقم‌ها می‌توان به پارس و کویین‌الیزا اشاره کرد. هدف از این پژوهش، بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی شامل اسیدیتته قابل عیارسنجی (تیتراسیون)، میزان مواد جامد محلول، آنتوسیانین کل، ظرفیت ضد کسایشی کل، فنل کل و ویتامین ث در هشت رقم میوه توت‌فرنگی در استان بود.

۲ برای محاسبه میزان آنتوسیانین استفاده شد (Wrolstad, 1976):

$$A = (A_{510nm} - A_{700nm}) \text{ pH } 1 - (A_{510nm} - A_{700nm}) \text{ pH } 4.5 \quad (2)$$

= میزان آنتوسیانین کل (میلی گرم در لیتر)
(A/22, 400a) (10³) (433.2b)

a = جذب مولار پلارگونیدین تری گلوکوزید

b = وزن مولکولی پلارگونیدین تری گلوکوزید

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول

درصد مواد جامد محلول با استفاده از شکست‌سنج (رفراکتومتر) دیجیتالی (مدل 3t, Atago, ساخت ژاپن) اندازه‌گیری و بر پایه درجه بریکس گزارش شد.

اندازه‌گیری اسیدیته قابل عیارسنجی

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل عیارسنجی مقدار ۲ میلی‌لیتر از آب‌میوه با آب مقطر به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس تا رسیدن pH به ۸/۱ با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیترا شد. میزان سود مصرفی یادداشت و با استفاده از رابطه ۳، درصد اسید برحسب سیتریک اسید محاسبه شد (Montero et al., 1996).

$$\text{اسیدیته} = \frac{N \times V \times \text{Meq}}{M} \times 100 \quad (3)$$

Meq = میلی‌اکی والان اسید غالب میوه توت‌فرنگی (اسیدسیتریک = ۰/۰۶۴)

N = نرمالینه سود مصرفی (۰/۱ نرمال)

M = حجم آب‌میوه مصرفی برحسب میلی‌لیتر

V = حجم سود مصرفی

تجزیه آماری

تجزیه واریانس داده‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. ضریب‌های همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵درصد انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

سی‌سی تری کلرواستیک اسید ۱۰درصد همگن (هموژنیزه) شد. عصاره به‌دست‌آمده به مدت بیست دقیقه در ۳۵۰۰ دور سانتریفیوژ شد. به ۰/۵ سی‌سی از محلول روشناور ۱ سی‌سی از معرف دی‌نیتروفنیل هیدرازین ۶ میلی‌مولار اضافه شد و به مدت سه ساعت در حمام آب ۳۷ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از درآوردن نمونه‌ها از حمام آب ۰/۷۵ سی‌سی H₂SO₄ ۶۵درصد سرد به آن اضافه شد. نمونه‌ها به مدت سی دقیقه در حمام آب ۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از سرد شدن نمونه‌ها در دمای اتاق میزان جذب آن‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (مدل Specord210, Analytik jena, ساخت آمریکا) خوانده شد. میزان اسیدآسکوربیک نمونه‌ها بر پایه استاندارد تهیه‌شده با اسید آسکوربیک تعیین و بر پایه میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر گزارش شد (Omaye et al., 1979).

تعیین میزان فنل کل

فنل کل میوه‌های توت‌فرنگی با استفاده از معرف فولین-سیکالتیو (FC) و استفاده از طیف‌سنج نوری اندازه‌گیری شد. در این روش ۰/۵ گرم میوه توت‌فرنگی با استفاده از ۱۲ سی‌سی از مخلوط استون، آب و استیک اسید به نسبت (۵/۵: ۲۹/۵: ۷۰) عصاره‌گیری شد (Scalzo et al., 2005). نمونه‌ها در ۱۶۴۰g به‌مدت پانزده دقیقه سانتریفیوژ شدند. به ۰/۵ سی‌سی از محلول روشناور، ۱ سی‌سی از معرف فولین-سیکالتو و ۱۰ سی‌سی کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه شد. پس از دو ساعت نگهداری در دمای محیط آزمایشگاه جذب نوری آن توسط طیف‌سنج نوری در طول موج ۷۵۰ نانومتر خوانده شد (Singleton et al., 1999). میزان فنل کل در نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر میوه بیان شد.

تعیین غلظت آنتوسیانین کل

محتوای آنتوسیانین کل در عصاره‌ها با استفاده از روش اختلاف pH اندازه‌گیری شد. میزان جذب توسط طیف‌سنج نوری در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر در دو pH متفاوت ۱ و ۴/۵ اندازه‌گیری شد و از رابطه

را در تغییرپذیری این صفت بازی می‌کند (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که در بین هشت رقم توت‌فرنگی بررسی‌شده، رقم کاماروزا، مرک و کردستان بیشترین میزان رنگ‌دانه آنتوسیانین را داشتند و رقم پاروس کمترین میزان آنتوسیانین (۸/۳۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) را داشت (شکل ۲). اختلاف بین کمترین و بیشترین میزان این فراسنجه در بین هشت رقم توت‌فرنگی بررسی‌شده ۳/۲ برابر است. این یافته‌ها با نتایج پیشین گزارش شده در مورد غلظت آنتوسیانین‌ها در رقم‌های مختلف توت‌فرنگی همخوانی دارد (Aaby *et al.*, 2005). آنتوسیانین‌ها در میوه‌های توت‌فرنگی از مهم‌ترین ترکیب‌های پلی‌فنولی شناخته‌شده هستند و از لحاظ کمی هم خیلی مهم هستند. پلارگونیدین تری‌گلوکوزید فراوان‌ترین آنتوسیانین در همه رقم‌های توت‌فرنگی است که ۶۰-۹۵ درصد آنتوسیانین کل را تشکیل می‌دهد (da Silva *et al.*, 2007).

عامل‌های محیطی و زراعی بر تجمع آنتوسیانین در توت‌فرنگی تأثیر دارند. توت‌فرنگی رقم مالتوا^۱ محتوای آنتوسیانین بسیار بالا دارد. تجمع آنتوسیانین در این رقم بشدت تحت تأثیر شرایط محیطی مانند دما، شدت نور و ترکیب‌های خاک قرار می‌گیرد (Milella *et al.*, 2006). آنتوسیانین‌ها به‌عنوان ترکیب‌های ضداکسایشی در گیاهان مطرح هستند و فعالیت بالای ضداکسایشی آن‌ها به خاطر ساختارشان است (Van Acker *et al.*, 1995).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع رقم توت‌فرنگی تأثیر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری‌شده شامل فنل کل، آنتوسیانین کل، ویتامین ث، ظرفیت ضداکسایشی کل، میزان اسیدیتة قابل عیارسنجی و میزان مواد جامد محلول کل در سطح احتمال ۱ درصد داشته است (جدول ۱).

شرایط رشد و ژنتیک بر کیفیت میوه توت‌فرنگی تأثیر دارند. نتایج تحقیقات نشان داد که تأثیر ژنوتیپ روی کیفیت تغذیه‌ای توت‌فرنگی بیشتر از شرایط کشت است (Capocasa *et al.*, 2008).

فنل کل

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع رقم تأثیر بسیار معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان فنل کل داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم‌های پاجرو، کویین‌الیزا و پاروس میزان کمتری فنل کل و رقم‌های کردستان، مرک، کاماروزا، ونتانا و سلوا مقادیر بیشتری فنل کل داشتند (شکل ۱).

آنتوسیانین کل

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری آنتوسیانین کل نشان داد که رقم توت‌فرنگی تأثیر بسیار معنی‌داری بر میزان آنتوسیانین کل داشت. به‌عبارت‌دیگر ژنتیک نقش مهمی

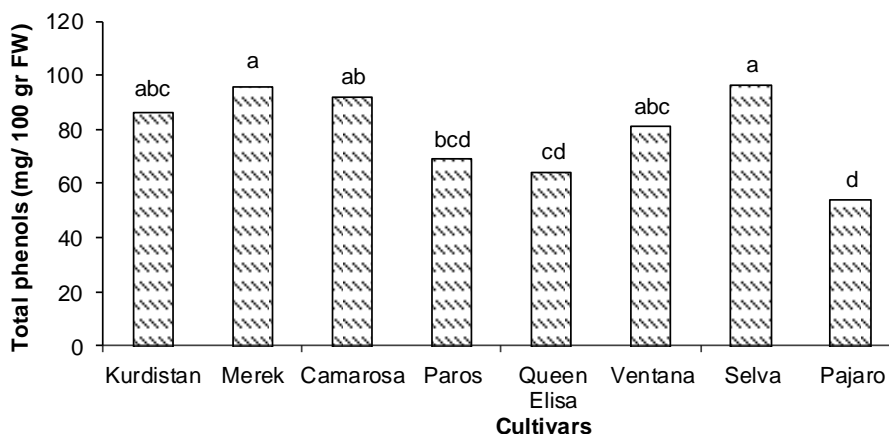
جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در هشت رقم توت‌فرنگی موردبررسی

Table 1. Analysis of variance for measured traits in the eight strawberry cultivars

Source of variation	Degree of freedom	Mean squares for					
		Anthocyanin	Total phenols	Vit. C	Free radical scavenging activity	Total soluble solid	Titrateable acidity
Block	2	9.36 ^{ns}	480.13 [*]	46.48 ^{ns}	12.16 ^{ns}	1.04 ^{ns}	0.99 ^{ns}
Cultivar	7	113.72 ^{**}	752.35 ^{**}	152.96 ^{**}	171.33 ^{**}	4.31 ^{**}	1.71 ^{**}
Error	14	3.66	125.34	16.71	34.94	0.51	0.68
Coefficient of variation (%)		10.06	14.04	12.62	7.75	8.76	9.38

ns: * and **: نشان‌دهنده غیر معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% level, respectively.



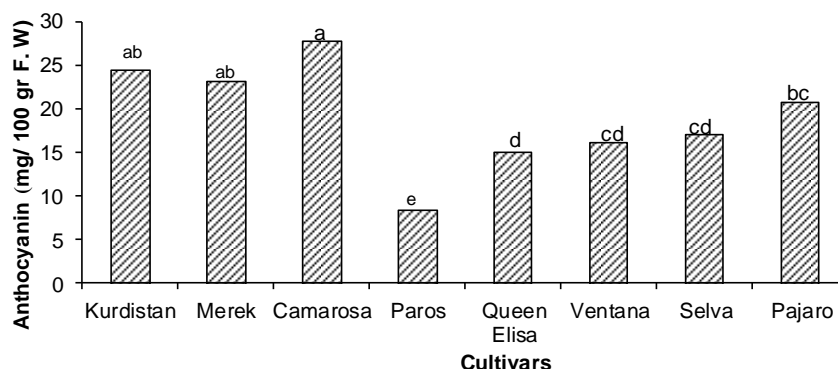
شکل ۱. میزان فنل کل در رقم‌های مورد بررسی توت‌فرنگی.

Figure 1. Total phenols content in the studied strawberry cultivars.

میزان ویتامین ث در بین رقم‌های مختلف متفاوت است و اختلاف بین کمترین و بیشترین میزان ویتامین ث در این رقم‌های حدود دو برابر بود. افزون بر آن بین میزان ویتامین ث و ظرفیت ضد اکسایشی کل همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۵۳) مشاهده شد. همبستگی بالایی بین فنل‌ها ($R^2=0/993$) و اسید آسکوربیک ($R^2=0/984$) با فعالیت ضد اکسایشی گزارش شده است. همچنین همبستگی فنل‌ها با فعالیت ضد اکسایشی، کمی بالاتر از میزان ویتامین ث گزارش شده است که با نتایج دیگر بررسی‌ها همخوانی دارد (Rys *et al.*, 2009).

ویتامین ث

ویتامین ث به‌عنوان یک ترکیب ضد اکسایشی مهم در میوه‌ها بررسی شده است. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس داده‌های به‌دست‌آمده نشان داد که رقم توت‌فرنگی اثر بسیار معنی‌داری بر میزان ویتامین ث داشت (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۳) نشان داد که از هشت رقم توت‌فرنگی بررسی‌شده، رقم‌های کاماروسا، کردستان و مرک محتوای ویتامین ث بیشتر و رقم‌های پاروس، کوین‌الیزا، ونتانا، سلوا و پاجرو حاوی ویتامین ث کمتری بودند (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده



شکل ۲. میزان آنتوسیانین کل در رقم‌های مورد بررسی توت‌فرنگی.

Figure 2. Total Anthocyanin content in the studied strawberry cultivars.

داشت. ظرفیت ضد اکسایشی رقم‌های مختلف توت‌فرنگی به‌شدت تحت تأثیر گونه یا رقم قرار می‌گیرد (Lukton *et al.*, 1955; Scalzo *et al.*, 2005). همچنین نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین

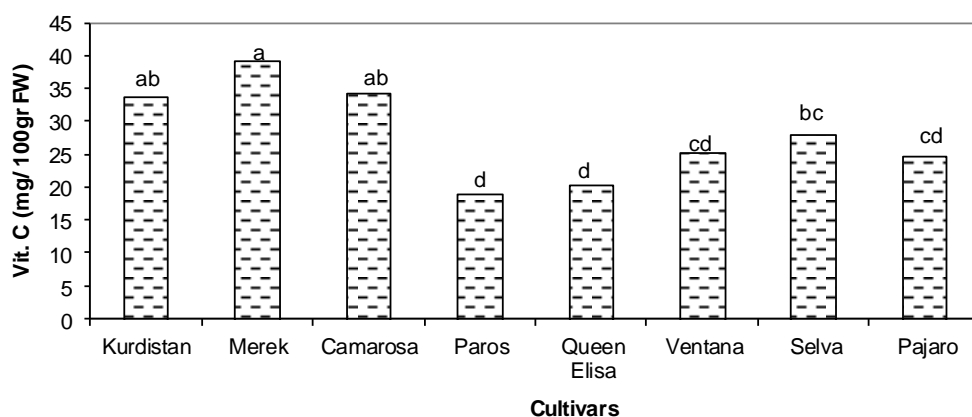
ظرفیت ضد اکسایشی کل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع رقم اثر معنی‌داری بر توان مهارکنندگی رادیکال DPPH یا همان ظرفیت ضد اکسایشی کل در توت‌فرنگی در سطح ۱ درصد

کل (۰/۴۱) همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود داشت. بین ظرفیت ضداکسایشی کل و میزان آنتوسیانین کل ضریب همبستگی مثبت (۰/۴۱) در سطح ۵ درصد به دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده این هستند که سهم زیادی از ظرفیت ضداکسایشی کل در توت‌فرنگی به دلیل ترکیب‌های فنلی و ویتامین ث است. بررسی‌های انجام‌شده نشان دادند که توت‌فرنگی میزان بالایی فعالیت ضداکسایشی را دارد که آن‌هم با ترکیب‌های فنولی میوه‌ها مرتبط است.

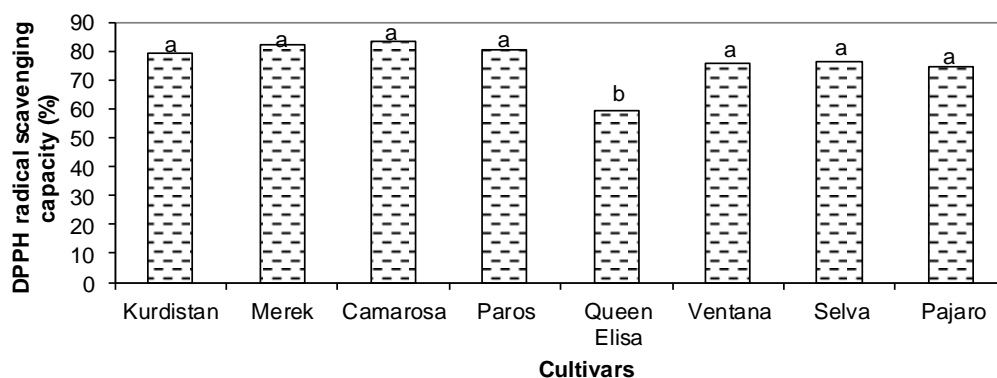
داده‌ها نیز نشان می‌دهد، در بین هشت رقم توت‌فرنگی مورد بررسی تنها رقم کویین‌الیزا فعالیت ضداکسایشی کمتری نسبت به دیگر رقم‌ها داشت (۵۹/۲۴ درصد) و هفت رقم توت‌فرنگی دیگر همگی ظرفیت ضداکسایشی بالایی داشتند و هیچ اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (شکل ۴).

نتایج به دست آمده از ارزیابی ضریب همبستگی پیروسون نیز نشان داد که یک همبستگی قوی بین ظرفیت ضداکسایشی کل و ویتامین ث (۰/۵۳) در سطح ۱ درصد و بین ظرفیت ضد اکسایشی کل و فنل



شکل ۳. میزان ویتامین ث در رقم‌های مورد بررسی توت‌فرنگی.

Figure 3. Vitamin C content in the studied strawberry cultivars.



شکل ۴. توان مهارکنندگی رادیکال DPPH در رقم‌های مورد بررسی توت‌فرنگی.

Figure 4. DPPH radical scavenging capacity in the studied strawberry cultivars.

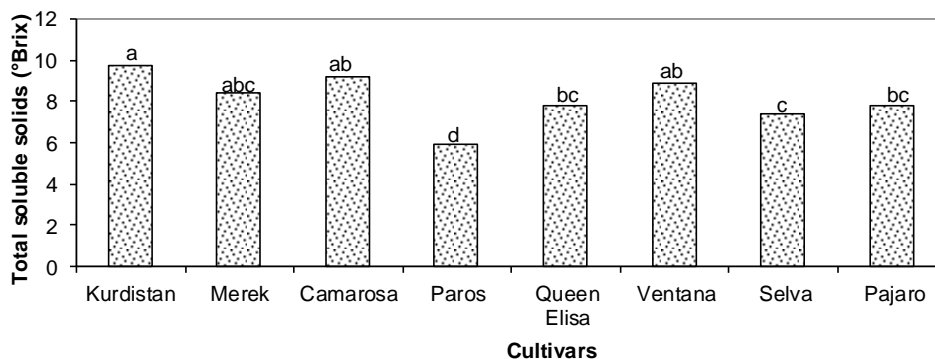
دارند (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006). نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده در این بررسی نشان داد که رقم در سطح ۱ درصد بر میزان مواد جامد محلول توت‌فرنگی تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). نتایج به دست آمده از مقایسه

مواد جامد محلول کل

میزان مواد جامد محلول از شاخص‌های مهم کیفی است که رابطه مستقیم با کیفیت خوراکی میوه در زمان رسیدن دارد و مصرف‌کنندگان تمایل زیادی به میوه‌های رسیده با میزان مواد جامد محلول کل بالا

۸/۴۴ درجه بریکس) میزان مواد جامد محلول بیشتر و رقم پاروس (۵/۹۴ درجه بریکس) کمترین میزان مواد جامد محلول کل را داشت.

میانگین داده‌ها (شکل ۵) هم نشان داد که در بین هشت رقم توت‌فرنگی بررسی شده رقم‌های کردستان، کاماروسا، ونتانا و مرک (به ترتیب ۹/۷۴، ۹/۲۴، ۸/۹ و



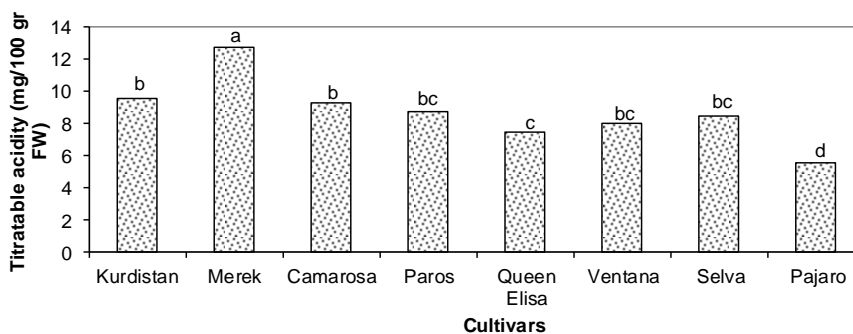
شکل ۵. میزان مواد جامد محلول کل در رقم‌های مورد بررسی مختلف توت‌فرنگی.
Figure 5. Total soluble solids in the studied strawberry cultivars.

اسیدیته قابل عیارسنجی (۰/۵۳) و با ظرفیت ضد اکسایشی کل مشاهده شد. همچنین یک همبستگی به نسبت بالا بین اسیدیته قابل عیارسنجی و فنل کل (۰/۶) و ویتامین ث (۰/۵۸) در سطح ۱ درصد و بین اسیدیته و ظرفیت ضد اکسایشی کل (۰/۴۸) در سطح ۵ درصد وجود داشت (جدول ۲). فنل کل، آنتوسیانین کل، ویتامین ث و اسیدیته قابل عیارسنجی در مهار رادیکال‌های آزاد نقش دارند. محققان گزارش کردند که فعالیت ضد اکسایشی میوه‌های سته^۱ از مراحل نخستین بلوغ تا مرحله نیم‌رس کاهش پیدا کرده و پس از آن افزایش می‌یابد (Wang & Lin, 2000). همچنین، فعالیت ضد اکسایشی کل از مرحله رسیده قرمز تا مرحله قرمز تیره افزایش پیدا می‌کند (Olsson *et al.*, 2004).

اسیدیته قابل عیارسنجی

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که رقم در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان اسیدیته قابل عیارسنجی تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) نیز نشان داد که در بین هشت رقم بررسی شده، رقم مرک بالاترین میزان اسیدیته را داشت (۱۲/۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) و رقم پاجرو کمترین میزان اسیدیته را داشت (۵/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر). در دیگر رقم‌ها میزان اسیدیته قابل عیارسنجی بین ۷/۴ تا ۹/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر قرار داشت.

نتایج به دست آمده از جدول همبستگی بین صفات مختلف (جدول ۲) نشان داد که همبستگی مثبتی بین فنل کل (۰/۴۱)، آنتوسیانین کل (۰/۴۲)، ویتامین ث



شکل ۶. میزان اسیدیته قابل عیارسنجی در رقم‌های مورد بررسی توت‌فرنگی.
Figure 6. Titratable acid in the studied strawberry cultivars.

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین صفات مختلف در رقم‌های توت‌فرنگی مورد بررسی

Table 2. Pearson's correlation coefficients between different traits in the studied strawberry cultivars

	Anthocyanin	Total phenols	Vit. C	Free radical scavenging activity	Total soluble solid	Titrateable acidity
Anthocyanin	1					
Total phenols	0.42**	1				
Vit. c	0.81**	0.69**	1			
Free radical scavenging activity	0.41*	0.41*	0.53**	1		
Total soluble solid	0.71**	0.37 ^{ns}	0.56**	0.22 ^{ns}	1	
Titrateable acidity	0.27 ^{ns}	0.58**	0.60**	0.48*	0.21 ^{ns}	1

ns, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد است.

ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% level, respectively

کل در مراحل مختلف رسیدگی با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. اما در رقم کامینورییل^۲ بالاترین میزان فعالیت ضداکسایشی کل در مرحله صورتی مشاهده شد. همچنین میزان ترکیب‌های ضداکسایشی در رقم اسوگرند نسبت به رقم کامینورییل در مرحله سبز بالاتر بود (Pineli *et al.*, 2011). فعالیت ضداکسایشی کل در میوه‌های رقم‌های وحشی توت‌فرنگی نسبت به رقم‌های تجاری بیشتر است (Guo *et al.*, 1997).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که رقم‌های توت‌فرنگی از نظر ترکیب‌های ضداکسایشی با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. رقم‌های کردستان، مرک و کاماروسا از نظر بیشتر صفات بررسی‌شده در وضعیت بهتری قرار داشتند و رقم‌های پاجرو، پاروس و کویین الیزا نیز مقادیر پایین‌تری را نشان دادند. از نظر ظرفیت پاکسازی رادیکال‌های آزاد رقم کویین الیزا از همه ضعیف‌تر بود. با توجه به بررسی‌های پیشین در توت‌فرنگی فنل‌ها بیشترین سهم در فعالیت ضداکسایشی کل بر عهده دارند و در رقم کویین الیزا میزان فنل کل کمتر بود. لذا فعالیت پایین ضداکسایشی رقم کویین الیزا به علت محتوای فنل کل پایین این رقم بود. همچنین میزان ویتامین ث و اسیدیتة قابل عیارسنجی بیشترین سهم را در ظرفیت ضداکسایشی رقم‌های توت‌فرنگی مورد بررسی بر عهده داشتند.

در تحقیقاتی تأثیر رشد و رسیدگی میوه بر ظرفیت ضداکسایشی رقم سلوا در ده مرحله رشد میوه توت‌فرنگی بررسی شد. نتایج نشان داد که کاهش شدیدی در میزان ظرفیت ضداکسایشی کل توت‌فرنگی رقم سلوا در میوه‌های برداشت‌شده در مرحله سبز کوچک به سبز بزرگ دیده می‌شود که مصادف با مرحله تقسیم یاخته‌ای است. به‌طورکلی میزان ترکیب‌های ضداکسایشی در مرحله سبز کوچک و سبز بزرگ بالاتر بود و ظرفیت ضداکسایشی کل با سیر تکاملی فنل‌ها و غلظت اسیداسکوربیک همبستگی داشت اما با غلظت آنتوسیانین‌ها رابطه‌ای نداشت (Ferreira *et al.*, 2007). یک همبستگی بسیار قوی و معنی‌داری (۰/۸۱) بین آنتوسیانین کل و ویتامین ث وجود دارد. افزون بر آن همبستگی معنی‌داری بین آنتوسیانین و فنل کل (۰/۴۲) و آنتوسیانین و فعالیت ضداکسایشی کل (۰/۴۱) به‌دست آمد.

بر پایه گزارش محققان گونه، رقم و مرحله نمو میوه بر ظرفیت ضداکسایشی میوه‌های توت سیاه، تمشک و توت‌فرنگی تأثیر معنی‌داری دارند. توت سیاه، تمشک و میوه‌های توت‌فرنگی برداشت‌شده در طول مرحله سبز بالاترین میزان ظرفیت ضداکسایشی را داشتند و در همه گونه‌ها کمترین میزان ظرفیت ضداکسایشی در مرحله نیم‌رس مشاهده شد (Olsson *et al.*, 2004). ظرفیت ضد اکسایشی کل در رقم‌های مختلف توت‌فرنگی در مراحل مختلف رسیدن میوه متفاوت است. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که در توت‌فرنگی رقم اسوگرند^۱، ظرفیت ضداکسایشی

REFERENCES

1. Aaby, K., Skrede, G. & Wrolstad, R. E. (2005). Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4032-4040.
2. Ames, B. N., Shigenaga, M. K. & Hagen, T. M. (1993). Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(17), 7915-7922.
3. Capocasa, F., Scalzo, J., Mezzetti, B. & Battino, M. (2008). Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype. *Food Chemistry*, 111, 827-878.
4. Crespo, P., Bordonaba, J. G., Terry, L. A. & Carlen, C. (2010). Characterisation of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. *Food Chemistry*, 122, 16-24.
5. da Silva, F. L., Escribano-Bailón, M. T., Alonso, J. J. P., Rivas-Gonzalo, J. C. & Santos-Buelga, C. (2007). Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 374-382.
6. Del Pozo-Insfran, D., Duncan, C.E., Yu, K.C., Talcott, S.T. & Chandler, C.K. (2006). Polyphenolics, ascorbic acid and soluble solid concentrations of strawberry cultivars and selections grown in a winter annual hill production system. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131, 89-96.
7. Ebrahimzadeh, M.A., Pourmorad, F. & Hafezi, S. (2008). Antioxidant activities of Iranian corn silk. *Turkish Journal of Biology*, 32, 43-49.
8. Fang, Y.Z., Yang, S. & Wu, G. (2002). Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition*, 18(10), 872-879.
9. Ferreyra, R.M., Vina, S.Z., Mugridge, A. & Chaves, A.R. (2007). Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Scientia Horticulturae*, 112, 27-32.
10. Frankel, E.N. (1999). Recent advances in lipid oxidation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54, 495-511.
11. Guo, C., Cao, G., Solic, E. & Prior, R.L. (1997). High-Performance Liquid Chromatography coupled with coulometric array detection of electroactive components in fruits and vegetables: Relationship to oxygen radical absorbance capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1778-1796.
12. Heinonen, I.M., Meyer, A.S. & Frankel, E.N. (1998). Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4107-4112.
13. Keith, R.E. (1999). Antioxidants and Health. *Alabama cooperative extension system: HE-778*.
14. Larrauri, J.A., Sanchez-Moreno, C. & Saura-Calixto, F. (1998). Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2694-2697.
15. Lukton, A., Chichester, C.O. & MacKiney, G. (1955). Characterization of a second pigment in strawberries. *Nature*, 176, 790.
16. Milella, L., Saluzzi, D., La Pelosa, M., Bertino, G., Spada, P., Greco, I. & Martelli, G. (2006). Relationships between an Italian strawberry ecotype and its ancestor using RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 1715-1720.
17. Montero, T. M., Mollá, E. M., Esteban, R. M. & López-Andréu, F. J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250.
18. Mour, A., Srusz, G. M., Franco, D. & Dominguez, J. (2001). Natural Antioxidant from Residual Sources. *Food Chemistry*, 72, 145-171.
19. Olsson, M.E., Ekvall, J., Gustavsson, K.E., Nilsson, J., Pillai, D., Sjöholm, I., Svensson, U., Akesson, B. & Nyman, M.G.L. (2004). Antioxidants, low molecular weight carbohydrates, and total antioxidant capacity in strawberries (*Fragaria x ananassa*): Effects of cultivar, ripening, and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 2490-2498.
20. Omaye, S. T., Turnbull, J. D. & Sauberlich, H. E. (1979). [1] Selected methods for the determination of ascorbic acid in animal cells, tissues, and fluids. *Methods in enzymology*, 62, 3-11.
21. Pineli, L., Moretti, C., Santos, M., Campos, A., Brasileiro, A. & Chiarello, M. (2011). Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivar at different ripeness stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 11-16.
22. Pinto, M.S., Lajolo, F.M. & Genovese, M.I. (2008). Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food and Chemical Toxicology*, 107, 1629-1635.
23. Pokorny, J. (2007). Are natural antioxidants better and safer than synthetic antioxidant?. *European Journal of Lipid Science and thechnology*, 109, 629-642.
24. Rys, E., Korona, M. & Kalbarczyk, J. (2009). Antioxidant Capacity, Ascorbic Acid and Phenolics Content in wild edible fruits. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 17, 115-120.

25. Scalzo, J., Politi, A., Pellegrini, N., Mezzetti, B. & Battino, M. (2005). Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21, 207-213.
26. Singleton, V.L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
27. Van Acker, S.A., Tromp, M.N., Haenen, G.R., Van Der Vijgh, W.J. & Bast, A. (1995). Flavonoids as scavengers of nitric oxide radical. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 214, 755-759.
28. Wang, S.Y. & Lin, H.S. (2000). Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 140-146.
29. Wrolstad, R.E. (1976). Color and pigment analyses in fruit products. Corvallis, Oregon State University *Agricultural Station Bulletin*, 624, 1-17.
30. Young, I.S. & Woodside, J. (2001). Antioxidants in health and disease. *Journal of Clinical Pathology*, 54, 176-186.
31. Zhang, P. & Omaye, S.T., (1998). Phytochemical interactions: bcarotene, tocopherol and ascorbic acid. *Phytochemicals: A New Paradigm*. Technomic Press, Lancaster, Penn, pp. 53Á/75.