

تعیین بهترین شرایط خشک کردن برگه چای سبز با در نظر گرفتن کمترین میزان تغییر رنگ در محصول

محمد شهابی قویونلویی¹، شاهین رفیعی^{2*}، سید سعید محتسبی² و سلیمان حسین پور³
1 دانشجوی کارشناسی ارشد، 2 استاد و 3 دانش آموخته دکتری گروه مکانیک ماشین های کشاورزی
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

*shahinrafiee@ut.ac.ir

چکیده

یکی از روش های نوین در کشاورزی جهت کنترل کیفیت ظاهری فرآوری های پس از برداشت، روش های ماشین بینایی و پردازش تصاویر گرفته شده در طول انجام فرآیند می باشد. حفظ رنگ که از الویت های انجام صحیح فرآوری چای سبز است، با خشک کردن کامل، سریع، محدود و بدون تخمیر برگ تازه صورت می پذیرد. میزان تغییر رنگ در بازار پسندی و کیفیت محصول تاثیر مستقیم دارد و بررسی این میزان در انتخاب بهترین شرایط خشک کردن امری ضروری به نظر می رسد که ضرورت این تحقیق را مشخص می سازد. آزمایش ها در پنج دمای 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سانتیگراد و 1، 0/5 و 1.5 متر بر ثانیه انجام شد. تصاویر دریافتی در طول فرایند خشک شدن در فضای رنگی RGB صورت گرفت و برای استخراج ارزش های رنگی به فضای $L^*a^*b^*$ تبدیل گردید. از نرم افزار Matlab نسخه R2010a جهت تبدیل و آنالیز تصاویر استفاده شد. برای کالیبره کردن تصاویر دریافتی از دوربین دیجیتال با دستگاه رنگ سنجی هانتربل، از صفحات استاندارد رنگی استفاده شد. مقادیر پارامترهای رنگی L^* ، a^* و b^* استخراج شده از تصاویر جهت محاسبه سایر پارامترهای رنگی شامل: تغییرات کلی رنگ (ΔE)، شاخص قهوه ای شدن (BI)، کروما (CH) و زاویه هیو (H^p) استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر L^* ، b^* در حین خشک شدن کاهش و مقادیر a^* و ΔE افزایش یافت. شاخص کروما و زاویه هیو کاهش و شاخص قهوه ای شدن افزایش یافت. این تحقیق در دی ماه 1390 در گروه ماشین های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران صورت پذیرفت.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، چای سبز، خشک کردن.

مقدمه

چای که محصول گیاه *Camellia sinensis* می باشد، دارای تاریخچه چند هزار ساله است. بطوریکه در ابتدا به عنوان یک گیاه دارویی در چین استفاده می شد و پس از آن به عنوان یک نوشیدنی مفید جهت رفع خستگی و درمان انسان بکار برده شد. اگر بخواهیم این نوشیدنی را از نظر نحوه فرآوری دسته بندی نماییم، بر سه نوع: چای سیاه (تخمیری)، چای سبز (غیر تخمیری) و الونگ (نیمه تخمیری) تولید می گردد. خواص درمانی کشف شده در مورد چای سبز بیش از سایر تولیدات این گیاه است و علت اصلی آن را وجود پلی فنل های موثر در این محصول که عمده آن را کاتچین ها تشکیل می دهد، می دانند [Dufresne and Farnworth, 2001].

خشک کردن مواد غذایی یکی از روش های موثر در نگهداری مواد غذایی می باشد که با انتقال همزمان حرارت و جرم صورت می پذیرد و در آن رطوبت ماده تبخیر شده و توسط جریان هوا از سطح آن خارج می گردد [Khraiseh et al., 1997]. از اهداف خشک کردن می توان به: جلوگیری از رشد میکروارگانیسم ها، کاهش فعالیت های شیمیایی مواد، افزایش زمان نگهداری مواد در هوای اتاق و کم کردن حجم و وزن ماده جهت سهولت انبارداری و حمل و نقل اشاره نمود.

رنگ به عنوان یکی از شاخص های مهم کیفیت مواد غذایی است و نشانگر ویژگی های شیمیایی، بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی محصول می باشد و می تواند در بازاریابی آن نقش موثری داشته باشد [Maskan, 2001]. با توجه به اینکه در فرآیند تولید چای سبز، توسط یک تیمار حرارتی کوتاه مدت (دمای 90°C به مدت 3 دقیقه) آنزیم زدایی صورت می پذیرد، رنگ کلروفیل تا حدودی حفظ می گردد (فاطمی، 1382) و همچنین با انجام سریع خشک کردن بلافاصله پس از برداشت، موجب پایین آمدن به موقع رطوبت برگه ها گردیده و در نتیجه قهوه ای شدن آنزیمی که موجب تشکیل رنگدانه های تیره رنگ می شود، صورت نمی پذیرد [مرتضوی و شفافی، 1383].

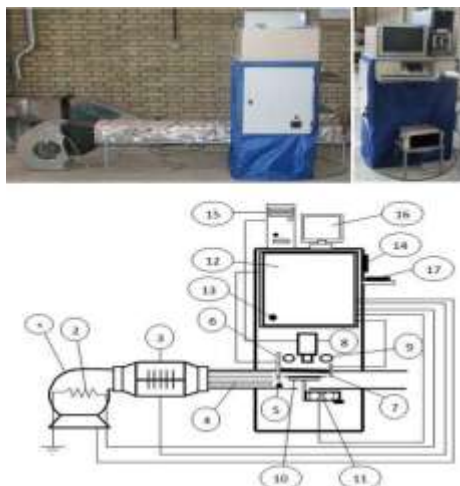
تبدیل کلروفیل به فتوفیتین در طول یک فرآیند حرارتی، علت اصلی تغییر رنگ در برگه های چای سبز می باشد [Cruz et al, 2007]. در ابتدای فرآیند تغییر رنگ برگه ها، به جهت خروج گازها و هوا از سطح برگ، بر روشنایی سطح افزوده شده و سپس با افزایش حرارت و جدا شدن پیوند منیزیم از ساختار کلروفیل، رنگ برگه ها به سمت سبز تیره یا قهوه ای حرکت می نماید [Schwartz and von Elbe, 1983]. کلروفیل در شرایط قلیایی پایدار است، اما در محیطی حتی با اسیدیته کم ناپایدار می گردد، منیزیم از آن جدا شده و فتوفیتین که رنگ آن زیتونی متمایل به قهوه ای می باشد، تولید می گردد. تحقیقات بسیاری جهت خنثی کردن بخشی از اسید موجود در گیاهان سبز صورت گرفته است تا رنگ محصول حفظ گردد، ولی اکثرا با موفقیت همراه نبودند و بهترین روش برای این کار را انجام سریع فرآیند حرارتی دانسته اند (فاطمی، 1382). بنابراین حفظ رنگ برگه های چای سبز و تلاش در جهت اعمال کمترین تغییرات در آن، از ضرورت های تولید این محصول است که در این تحقیق سعی در انجام آن گردیده شده است. دستگاه اندازه گیری هانتربل (Hunter Lab colorimeter) با تعیین پارامترهای رنگی (L: تیرگی و روشنایی، a: سبزی تا قرمزی، b: آبی تا زرد) می تواند اطلاعات مفیدی را از رنگ میوه و سبزیجات در صنایع غذایی ارائه دهد [Lopez et al, 1998] و با توجه به اینکه هزینه استفاده از این دستگاه بالا می باشد، در این تحقیق با ارائه روشی مناسب، پارامترهای رنگی با ضریب همبستگی مناسب نسبت به نتایج بدست آمده از دستگاه هانتربل محاسبه گردیده شده است. همچنین از سیستم بینایی کامپیوتری (CVS) که امروزه در اکثر صنایع مهندسی کاربرد دارد استفاده شده است تا بتوان همزمان با انجام آزمایش خشک شدن، تصویربرداری از نمونه و ذخیره تصاویر و همچنین آنالیز تصاویر توسط نرم افزارهای مربوطه صورت پذیرد و مشکلات مربوط به کم شدن دقت که در اکثر روش های مرسوم است، برطرف گردد. محققین بسیاری از این سیستم در انجام تحقیقات خود بهره برده اند. [Shafafi et al, 2007; O'Sullivan et al. 2003; Brosnan and Sun 2004; Yam and Papadakis 2004].

بنابراین هدف از این تحقیق، استفاده از روش CVS در بررسی تغییرات رنگی برگه های چای سبز در حین خشک شدن و استخراج بهترین شرایط خشک کردن با در نظر گرفتن کمترین تغییرات رنگی در حین انجام فرآیند می باشد.

مواد و روشها

تهیه محصول اولیه و آزمایشات خشک کردن

برگه‌های تازه چای سبز از مزارع واقع در شهر تنکابن، ایران (230 کیلومتری ساری مرکز استان مازندران) تهیه گردید. جهت جلوگیری از پژمردگی و تغییرات اولیه رنگ، بلافاصله پس از برداشت از مزرعه در کمترین زمان ممکن، نمونه‌ها به فضای آزمایشگاه رسانده شد. با انجام آبشویی و آبگیری توسط دستگاه شوینده و آبگیر سبزیجات، گودوغبار ناشی از فضای مزرعه از روی برگه‌ها پاک گردید. آزمایش‌های خشک کردن به روش لایه نازک انجام پذیرفت. بنابر تعریف ارائه شده برای این روش، لایه‌ای از نمونه بر روی سینی با ابعاد 20cm×20cm طوری قرار داده شد که دما و رطوبت جریان هوای درون خشک کن پس از عبور از سینی نمونه‌ها تغییر نکند [Jayas et al, 1991]. برای انجام آزمایش‌ها، از یک خشک کن لایه نازک آزمایشگاهی ساخته شده در گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران استفاده شد [Hosseinpour et al, 2011] (شکل 1).



شکل 1- خشک کن آزمایشگاهی مو رد استفاده: 1- فن 2- المنت پیش گرمکنی 3- المنت های حرارتی 4- لوله های مستقیم کننده

5- سنسور سرعت هوا 6 و 7- سنسورهای دما 8- دوربین دیجیتالی 9- لامپ های فلورسنت 10- صفحه پلت فرم 11- لود سل 12- واحد کنترل 13- سنسور دمای بیرون 14- HMI 15- کامپیوتر 16- مانیتور 17- صفحه کلید (Hosseinpour et al, 2011).

در این تحقیق آزمایش‌ها در پنج سطح دمایی 50، 60، 70، 80 و 90 درجه سلسیوس و سه سطح سرعت هوای ورودی 0/5، 1 و 1/5 متر بر ثانیه انجام گرفت. برای انجام هر مرحله از آزمایش با استفاده از صفحه HMI شرایط مورد نظر هر آزمایش شامل دما و سرعت هوا تنظیم شد. برای رسیدن شرایط سیستم به حالت پایدار، کلیه آزمایشات به مدت 10 دقیقه بعد از روشن کردن خشک کن شروع می شدند. سپس ظرف خالی محصول در داخل خشک کن قرار می گرفت و با زدن دکمه طراحی شده در صفحه تنظیمات HMI، وزن نمایشی صفر می شد. این کلو به جهت حذف اثر نیروی شناوری وارد شده از طرف جریان هوا بر روی سینی، حذف اثر احتمالی دمای هوا بر روی نیروسنج و همچنین حذف وزن سینی نمونه‌ها می‌باشد. سپس مجدداً سینی نمونه‌ها از دستگاه خارج شده و نمونه‌ها روی آن قرار می گرفت و سینی مجدداً به دستگاه منتقل می گردید. خشک کردن تا زمان رسیدن رطوبت نمونه‌ها به حالت تعادل و ثابت ماندن وزن نمونه‌ها ادامه می یافت.

عکسبرداری، پردازش و استخراج پارامترهای رنگی از تصاویر

از قابلیت های روش بکار رفته در این تحقیق، عکسبرداری همزمان با خشک کردن محصول می باشد. با توجه به اینکه رنگ نمونه های استفاده شده برگ چای تمایل به سبز تیره داشتند، جهت سهولت در جداسازی تصویر نمونه از زمینه، سطح سینی نمونه به رنگ سفید انتخاب گردید. آنالیز مربوط به تصاویر گرفته شده از محصول در حین خشک شدن با استفاده از الگوریتم طراحی شده در محیط نرم افزار MATLAB R2010a انجام شد. در این الگوریتم، تصاویر با فرمت JPEG، به عنوان ورودی برنامه و مقادیر L^* ، a^* و b^* خروجی برنامه تعریف شده بودند. روش بکار رفته برای جداسازی نمونه از زمینه سینی مبتنی بر حد آستانه و بر اساس روش Otsu و همچنین تکنیک اتساع و سایش جهت تمایز دقیق لبه نمونه ها بود. بمنظور کالیبره کردن مقادیر ارزش های رنگی استخراج شده مطابق با روش ذکر شده با مقادیر واقعی آنها که از دستگاه رنگ سنجی حاصل می گردد، مطابق با روش ذکر شده توسط Leon et al [2006] از دوازده چارت رنگی که تمام طیف های رنگی را پوشش می دادند، استفاده گردید و با عکسبرداری از آنها در همان شرایط نورپردازی انجام گرفته در زمان خشک کردن نمونه ها، مقادیر ارزش های رنگی توسط روش ذکر گردیده در بالا و نیز توسط دستگاه رنگ سنجی استخراج گردید و بر اساس میزان همبستگی بدست آمده بین داده های هر دو روش، مقادیر ارزش های رنگی برای تمام تصاویر مطابق با دستگاه رنگ-سنجی کالیبره گردید.

محاسبه تغییرات کلی رنگ (ΔE) بر اساس مقادیر محاسبه شده برای پارامترهای رنگی با استفاده از معادله (1) بدست آمد و همچنین مقادیر کروما (Chroma) که مربوط به شدت رنگ تصاویر و زاویه هیو (Hue Angle) که مربوط به سهم تصاویر از طیف های رنگی قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی و بنفش می باشد نیز بر اساس معادلات (2) و (3) محاسبه گردید [Sigge et al, 2001; Zhang et al, 2007]. شاخص قهوه ای شدن یکی از پارامترهای مهم در تعیین میزان تغییرات رنگ و همچنین میزان قهوه ای شدن رنگدانه های محصولات کشاورزی می باشد و با استفاده از معادله (4) بدست آمد:

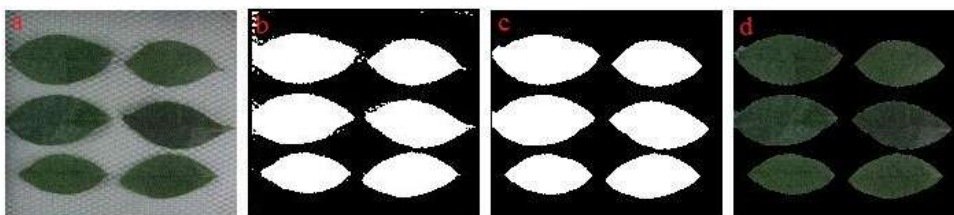
$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (1)$$

$$Chroma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2), \quad Hue\ Angle = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (3)$$

$$BI = [100(x - 0.31)]/0.17; \quad x = (a^* + 1.75L^*)/5.645L^* + a^* - 3.012b^* \quad (4)$$

نتایج و بحث

مراحل پردازش بر روی تصاویر گرفته شده از نمونه های برگ چای سبز در شکل (2) ارائه شده است و روابط رگرسیونی بین مقادیر پارامترهای رنگی حاصل شده از دستگاه رنگ سنجی و عکس های دیجیتالی گرفته شده از چارت های رنگی، با استفاده از نرم افزار MATLAB R2010a استخراج گردیده و در جدول (1) آورده شده است.



شکل 2- مراحل پردازش بر روی تصاویر نمونهها: (a) تصویر اولیه. (b) آستانه گذاری به روش اتسو. (c) استفاده از تکنیک اتساع و سایش.

(d) قرار گرفتن نقاب طراحی شده بر روی تصویر اصلی

جدول 1- مدل‌سازی نتایج رنگی دستگاه رنگ‌سنجی با روش تبدیل Leon et al.

| ارزش‌های رنگی | مدلسازی خطی | R ² |
|---------------|---|----------------|
| L* | $L_{\text{Hunter Lab}} = 0.7216 L_{\text{Digital Image}}$ | 0.9316 |
| a* | $a_{\text{Hunter Lab}} = 0.5068 a_{\text{Digital Image}}$ | 0.9456 |
| b* | $b_{\text{Hunter Lab}} = 0.4961 b_{\text{Digital Image}}$ | 0.8705 |

بررسی مقادیر مربوط به شاخص روشنایی L*، نشان داد که در طول فرآیند خشک شدن از میزان روشنایی محصول کاسته می‌شود بطوریکه کمترین میزان تغییرات این شاخص در شرایط کمترین دما و سرعت جریان هوای خشک شدن و بیشترین این تغییرات در دمای 70°C و سرعت 1/5 m/s صورت پذیرفت. در طول فرآیند خشک شدن، رنگ نمونه‌ها به سمت قرمزی یعنی افزایش شاخص a* حرکت نمود و از میزان زردی آنها کاسته شد و میزان شاخص b* کاهش یافت. بیشترین و کمترین تغییرات شاخص a* بترتیب: مربوط به شرایط دمای 80°C و سرعت 1 m/s و همچنین با دمای 60°C و سرعت 1/5 m/s بود و در مورد شاخص b* بیشترین و کمترین تغییرات بترتیب مشابه با شرایطی که کمترین و بیشترین تغییرات شاخص a* صورت پذیرفت، می‌باشد. در نهایت، شاخص تغییرات کلی رنگ ΔE، در طول خشک شدن محصول افزایش یافت و کمترین میزان تغییرات آن در دمای 80°C و سرعت 1 m/s و بیشترین تغییرات در دمای 70°C و سرعت 1/5 m/s رخ داد. عوامل مختلفی می‌تواند در این تغییرات رنگ دخالت داشته باشند که از جمله آنها: تخریب رنگ‌دانه‌های محصول، تجزیه کلروفیل و قهوه‌ای شدن به جهت افزایش اسیدیتته محصول و انجام واکنش غیرآنزیمی میلارد (Maillard) می‌باشد [Abers and Wrolstad, 1979; Skrede, 1985; Salunkhe et al., 1991; Ibarz et al., 1999].

محاسبه سایر شاخص‌های رنگی بر اساس پارامترهای استخراجی از آنالیز تصاویر نشان داد که، مقادیر شاخص‌های کروما و زاویه هیو در طول خشک شدن محصول کاهش و شاخص قهوه‌ای شدن افزایش یافت. برخی محققین علت کاهش کروما را ظهور رنگدانه‌های کاروتنوئیدها می‌دانند که این رنگدانه‌ها در زمان حضور کلروفیل اجازه تجلی و ظاهر شدن را نداشتند اما به ج هت تجزیه کلروفیل در طول انجام فرآیند حرارتی، امکان آشکار شدن رنگدانه‌های کاروتنوئید حاصل گردیده که سبب کاهش شدت رنگ محصول می‌باشد [Goncalves et al, 2012: Guiné and Barroca, 2007]. همچنین با توجه به اینکه که محدوده زاویه هیو در بین 90 تا 180 به این معنا است که زردی محصول بر قرمزی آن غالب است و وقتی حرکت زاویه هیو به سمت 90 درجه و کمتر از آن گردد، یعنی از زردی آن کاسته شده و به سمت قرمز شدن حرکت می‌نماید. در این تحقیق نیز حرکت این زاویه در طول فرآیند خشک کردن از 130 درجه شروع شده و به مرز 90 درجه و کمتر از آن نزدیک شد [Zhang et al., 2007] و افزایش شاخص قهوه‌ای شدن در این تحقیق را می‌توان به جهت تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای بر اثر انجام فرآیندهای غیرآنزیمی دانست [Lopez et al, 1997: Vega-Galvez et al, 2009].

منابع

- فاطمی ح. (1382). اصول تکنولوژی نگهداری مواد غذایی. انتشارات سهامی انتشار. 464 ص.
- مرتضوی ع، شفافی زوزیان م. (1383). روش‌های خشک کردن مواد غذایی (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. 272 ص.
- Abers J.E., Wrolstad R.E. (1979). Causative factors of colour deterioration in strawberry preserves during processing and storage. *Journal of Food Science*. 44: 75-81.
- Brosnan T, Sun D. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of Food Engineering*. 61, 3–16.

- Cruz R., Vieira M., Silva C. (2007). Modelling kinetics of watercress (*Nasturtium officinale*) colour changes due to heat and thermosonication treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80: 1447–51.
- Dufresne D, Farnworth E. (2001). A review of latest research findings on the health promotion properties of tea. *Journal of Nutritional Biochemistry* 12: 404–421.
- Goncalves E.M., Pinheiro J., Abreu M., Brandão T.R.S., Silva C.L.M. (2007). Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) during blanching. *Journal of Food Engineering*. 81: 693–701.
- Guiné P.F.R., Barroca M.J. (2011). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*. 90: 58-63.
- Ibarz, A., Pagan, J., Garza, S. (1999). Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *Journal of Food Engineering*. 39: 415-22.
- Jayas D.S., Cenkowski S., Pabis S., Muir, W.E., (1991). Review of thin layer drying and wetting equations. *Journal of Drying Technology*, 9(3), 551-588.
- Khraiseh M.A.M., Cooper T.J.R., Magee T.R.A. (1997). Microwave and air drying I. Fundamental considerations and assumptions for the simplified thermal calculations of volumetric power absorption. *Journal of food Engineering*. 33: 207-19.
- Lopez A., Pique M.T., Boatella J., Romero A., Ferran A., Garcia J. (1997). Influence of drying conditions on the hazelnut quality: III. Browning. *Drying Technology*. 15: 989-1002.
- Lopez-malo A., Palou E., Barbosa-Canovas G.V., Welti-Chanes J., Swanson B.G. (1998). Polyphenoloxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado puree. *Food Research International*. 31(8): 549-56.
- Maskan M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48: 169-75.
- O'sullivan Byrne M.G., Martenz D.V., Gidskehaug H, Andersen L.H., Martens M. (2003). Evaluation of pork color: Prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of color analysis. *Meat Science*. 65: 909-18.
- Salunkhe D.K., Bolin H.R., Reddy N.R. (1991). Storage processing, and nutritional quality of fruits and vegetables (Vol. 2). CRC Press. 594.
- Schwartz S. J., von Elbe, J. H. (1983). Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *Journal of Food Science*. 48: 1303–6.
- Shafafi Zenoian M, Feng H, Razavi S.M.A, Shahidi F, Pourreza H.R. (2008). Image analysis and dynamic modeling of thin-layer drying of osmotically dehydrated pumpkin. *Journal of Food Processing and Preservation* 32: 88–102.
- Sigge G.O., Hansmann C.F., Joubert E. (2001). Effect of storage conditions, packaging material and metabisulphite treatment on the colour of dehydrated green bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Quality*. 24: 205-18.
- Skrede G. (1985). Color quality of blackcurrant syrups during storage evaluated by Hunter. *Journal of Food Science*. 50: 514-17.
- Vega-Galvez A., Scala K D., Rodriguez K., Lemus-Mondaca R., Miranda M., Lopez J., Perez-Won M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry* 117: 647–53.
- Yam K.L. Papadakis S.E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61: 137-42.

-
- Zhang Y., Liao Y., Ni J., Wu X., Wang H., Chen F. (2007). Kinetic analysis of the degradation and its color change of cyanidin-3-glucoside exposed to pulsed electric field. European food research and technology. 224: 597-603.