Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 48, Winter 2024 p: 22-30

"Research Paper"

Investigation of Carotenoid Content in the Color Change of Potato Mutant Produced by Gamma Irradiation

Reza Madankan[1], Seyedeh Sanaz Ramezanpour[2], Hassan Soltanloo[3], Davoud Hassanpanah[4] and Mohamad Reza Rahemi[5]

1- Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, (Corresponding author: ramezanpours@gau.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
5- Faculty member of Nuclear Agriculture Research Institute, Karaj
Received: 23 may, 2023 Accepted: 23 August, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objectives: Potato (*solanum tubrusum*) is the fourth staple food after rice, wheat and corn. It is the most important tuberous crop. Potato color flesh is one of the most important parameters in food industry and marketability. The flesh color of the tetraploid cultivars range from white to cream and yellow to dark yellow. There are a few cultivars with red or blue/pink flesh color. Based on mutant clones containing superior quantitative and qualitative traits and flesh color change in Caesar potato variety, this research was carried out with the aim of determination of the reason of color flesh change in Caesar mutant.

Material and Methods: Mutant and parent (Caesar) clone were cultivated in research farm of Ardabil Agriculture Research Center in 1397. Sampling was done in 4 replications for each clone. Changes in total carotenoid and its components were performed by spectroscopy-UV and HPLC-chromatography, respectively.

Results: Carotenoid content in mutant clone was 319.54(µg/100 FW) and in parent clone was 246.36 (µg/100 FW). This result showed that content of total carotenoid in mutant was 1.3 times the carotenoid content of the parent. HPLC results showed that Lutein content was increased in mutant in comparison to parent, whereas, violaxantin was higher in parent that mutant clone.

Conclusion: Based on our results total carotenoid content along with lutein play an important role in potato color flesh change. Our finding is in accordance with results of other researches that showed that flesh color change from cream (parent) to yellow (mutant) was affected by total carotenoid content generally and lutein specifically.

Keywords: Caesar, Carotenoid, Chromatography, Lutein, Marfona, Mutant, Potato

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی محتوی کارتنوئید در تغییر رنگ جهش‌یافته سیب‌زمینی ایجاد شده با پرتو گاما

رضا معدن‌کن[۱]، سیده ساناز رمضانپور[۲]، حسن سلطانلو[۳]، داود حسن‌پناه[۴] و محمدرضا راحمی[۵]

۱- دانشجوی دکتری گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲- دانشیار،گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
(نویسنده مسوول: ramezanpours@gau.ac.ir)
۳- دانشیار،گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۵- پژوهشگر پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱
صفحه: ۲۲ تا ۳۰

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: سیب‌زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* گیاهی است یکساله از تیره سولاناسه، که برای استفاده از غده زیرزمینی آن کشت می شود. سیب‌زمینی چهارمین ماده غذایی مهم دنیا بعد از برنج، گندم و ذرت است و تنها و مهم‌ترین غذای غده‌ای دنیا می‌باشد. رنگ گوشت سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین فاکتورها در سیب‌زمینی می‌باشد. رنگ گوشت در اغلب ارقام تتراپلوئید سیب‌زمینی دامنه‌ای از سفید تا کرم و زرد تا زرد تیره دارد. تعداد کمی از ارقام به رنگ گوشت قرمز یا آبی/صورتی وجود دارند. زرد بودن رنگ گوشت سیب‌زمینی یکی از فاکتورهای تأثیرگذار برای انتخاب و معرفی ارقام در داخل کشور می‌باشد. با توجه به ایجاد کلون جهش‌یافته با خصوصیات کمی و کیفی برتر و با تغییر رنگ گوشت سیب‌زمینی از رقم کایزر که از ارقام با خصوصیات بسیار خوب می‌باشد؛ این تحقیق با هدف مشخص شدن دلایل تغییر رنگ کلون حاصل از ایجاد جهش فیزیکی پرتو گاما در رقم کایزر به‌انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها: جهت تعیین تغییرات محتوی کل و اجزا کاروتنوئید، تعداد ۴ تکرار از کلون‌های تغییر رنگ زرد سیب‌زمینی جهش‌یافته حاصل از پرتوتابی گاما به‌همراه شاهد والدی رقم‌های کایزر و مارفونا که در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات اردبیل کشت گردیده بود با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی اسپکتروفتومتری،کروماتوگرافی مایع با کارکرد بالا و مقایسه کیفی، رنگ پوست و گوشت آنها مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: مطابق نتایج حاصل از اسپکتروفتومتری، میزان کاروتنوئید کل لاین‌های جهش‌یافته کایزر و مارفونا به‌ترتیب برابر با ۳۱۹/۵۴ و ۳۴۴/۰۹ میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن تر گوشت سیب‌زمینی بوده و در رقم‌های والدی (شاهد) آنها به‌ترتیب برابر با ۲۴۶/۳۶ و ۲۹۲/۷۳ میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که محتوی کاروتنوئید کل این دو لاین جهش‌یافته به‌ترتیب ۱/۳ و ۱/۱۸ برابر محتوی کاروتنوئید والد خود می‌باشد. نتایج بررسی محتوی اجزا کاروتنوئید نشان داد محتوی لوتئین در کلون‌های جهش‌یافته نسبت به شاهد افزایش داشته و نسبت ویالازانتین در ارقام مادری (شاهد) نسبت به کلون‌های جهش‌یافته بیشتر بوده است.

نتیجه‌گیری: مطابق نتایج حاصله که منطبق بر بررسی منابع انجام شده بود مشخص شد محتوی کاروتنوئید کل در تغییر رنگ پوست و گوشت سیب‌زمینی نقش مهمی را ایفا می‌نماید و همچنین افزایش میزان لوتئین نیز در این امر نقش دارد و به‌نظر می‌رسد عامل تغییر رنگ گوشت سیب‌زمینی کلون جهش‌یافته حاصل نسبت به شاهد در وهله اول افزایش محتوی کاروتنوئید کل و همچنین افزایش میزان محتوی لوتئین آن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جهش‌یافته، سیب‌زمینی، کاروتنوئید، کایزر، کروماتوگرافی، لوتئین، مارفونا

مقدمه

سیب‌زمینی با نام علمی *Solanum tuberosum* گیاهی است یکساله از تیره سولاناسه، که برای استفاده از غده زیرزمینی آن کشت می‌شود. سیب‌زمینی چهارمین ماده غذایی مهم دنیا بعد از برنج، گندم و ذرت است و تنها و مهم‌ترین غذای غده‌ای دنیا می‌باشد (Ezekiel et al., 2013). منشا سیب‌زمینی کوه‌های آند در بولیوی و پرو می‌باشد (Vesali et al., 2021). سیب‌زمینی یک محصول غذایی کارآمد با تولید ماده خشک و پروتئین و مواد معدنی (مغذی) در واحد سطح در مقایسه با غلات می‌باشد. علاوه بر انرژی و پروتئین، سیب‌زمینی حاوی شماری از مواد غذایی مفید گیاهی برای سلامتی از قبیل فنولیک‌ها[۱]، فلاونوئیدها[۲]، ترکیبات آهن‌دار[۳]، کوکوآمین‌ها[۴] آنتوسیانین‌ها[۵] و کاراتنوئیدها[۶] می‌باشد (Ezekiel et al., 2013). ۱۸۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی ایران زیرکشت سیب‌زمینی بوده و به‌طور متوسط در این اراضی ۲۷ تن در هکتار محصول تولید می‌شود (Hassanpanah & Hoseinzadeh, 2007).

رنگ گوشت سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین فاکتورها در سیب‌زمینی می‌باشد. رنگ گوشت و پوست سیب‌زمینی بسته به مواد تشکیل دهنده آن از سفید تا قرمز تیره وجود دارد. رنگ گوشت در اغلب ارقام تتراپلوئید سیب‌زمینی دامنه‌ای از سفید تا کرم و زرد تا زرد تیره دارد. تعداد کمی از ارقام به رنگ گوشت قرمز یا آبی/صورتی وجود دارند (Wolters et al., 2010). ارقام سیب‌زمینی با رنگ گوشت زرد برای تازه‌خوری مناسب هستند (Hasani et al., 2020).

زرد بودن رنگ گوشت سیب‌زمینی یکی از فاکتورهای تأثیرگذار برای انتخاب و معرفی ارقام در داخل کشور می‌باشد. رنگ گوشت از جمله صفات کیفی بوده و توسط تعداد معدودی ژن کنترل می‌شود، به‌همین دلیل امکان اصلاح این صفت با سهولت بیشتری امکان‌پذیر است. یکی از روش‌های اصلاح گیاهان، استفاده از عوامل جهش‌زای فیزیکی همانند اشعه گاما به‌منظور ایجاد جهش در ژن‌های کنترل کننده این صفت و در نتیجه تغییر رنگ گوشت غده می‌باشد. در این روش سعی می‌شود صفتی مطلوب بدون تغییر یا کمترین

1- Phenolics 2- F Lavonoids 3- Folates 4- Kukoamines 5- Anthocyanins 6- Carotenoids

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]

تغییر در سایر صفات گیاه ایجاد شود (Ahloowalia, 1982, 1990).

براساس نتایج آزمایشات سال‌های قبل، رقم کایزر که دارای شرایط پرمحصولی و متحمل به تنش کم‌آبی و رنگ گوشت غده سفید متمایل به زرد و رقم مارفونا با رنگ گوشت زرد کم‌رنگ به‌منظور ایجاد ارقام جدید با استفاده از اصلاح به‌روش جهش با خصوصیات بازارپسندی انتخاب شدند (Hassanpanah & Hoseinzadeh, 2007). با تغییر رنگ گوشت غده به رنگ زرد (موردپسند بازار) در این ارقام با استفاده از پرتوتابی، می‌توان باعث افزایش سطح زیرکشت آن و کمک به تولید داخل و در نهایت باعث افزایش سطح درآمد زارعین نمود (Hassanpanah et al., 2015). رنگ گوشت غده‌های سیب‌زمینی بایستی در زمان برداشت و قبل از اینکه در معرض نور خورشید قرار بگیرند تعیین شود.

در پژوهشی که توسط حسن‌پناه و همکاران (Hassanpanah& Hoseinzadeh, 2007; Hassanpanah et al., 2015) با هدف اصلاح رقم کایزر و مارفونا انجام گرفت ژنوتیپ‌های انتخابی دارای عملکرد غده بالا، تعداد و وزن غده در بوته بیشتر، غده‌های یکنواخت، عمق چشم سطحی و رنگ پوست و گوشت غده زرد بودند.

رنگدانه‌های موجود در سیب‌زمینی در سه گروه آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها تقسیم می‌شوند که بسته به رنگ گوشت سیب‌زمینی مقدار آن‌ها متفاوت می‌باشد (Ezekiel et al., 2013).

آنتوسیانین‌ها گروهی از رنگدانه‌های پلی‌فنولی هستند که در سرسلسله گیاهان یافت می‌شوند (Liu et al., 2018). در طبیعت بیش از ۶۰۰ نوع آنتوسیانین تاکنون شناسایی شده است(Smeriglio et al., 2016) شش آنتوسیانین مهم در گیاهان پلارگونیدین[1]، سیانیدین[2]، پتونیدین[3]، دلفینیدین[4]، پئونیدین[5] و مالویدین[6] هستند (Kong et al., 2003).

از دیگر رنگدانه‌های مهم سیب‌زمینی فلاونوئیدها می‌باشند که در دو گروه عمده فلاون[7] و فلاونول[8] دسته‌بندی می‌شوند (Liu et al., 2018). عمده‌ترین فلاونوئیدهای سیب‌زمینی عبارتند از اپیکتچین[9]، کتچین[10]، اریدیکتیول[11]، کامپیفرول[12]و نارنجنین[13] و از فلاونول‌ها روتئین[14] می‌باشد (Brown, 2005). فلاونوئیدها پیش‌ساز مسیر آنتوسیانین‌ها نیز هستند (Ezekiel et al., 2013).

گزارش‌هایی از رنگدانه طبیعی که ما امروزه به‌عنوان کاروتنوئید می‌شناسیم به سال ۱۸۱۷ در فلفل قرمز برمی‌گردد (Braconnot, 1817). امروزه بیش از ۶۰۰ نوع از کاروتنوئیدها از ایزومرهای سیس و ترانس شناخته شده‌اند (Fraser & Bramley, 2004). کاروتنوئیدها مواد چربی دوست با خصوصیت جذب نوری خاص زنجیره کربنی، با عامل رنگی طویل از پیوندهای دوگانه، همچنین مسئول واکنش‌پذیری کاروتنوئیدها با عوامل اکسید کننده و رادیکال آزاد هستند (Britton, 1991, 1995). کاروتنوئیدها اغلب به‌عنوان رنگدانه در برگ‌ها، میوه‌ها، سبزیجات و گل‌ها شناخته می‌شوند. حداکثر جذب نوری آنها بین ۴۶۰ تا ۵۵۰ نانومتر است و بنابراین به رنگ‌های قرمز، نارنجی و زرد به‌چشم دیده می‌شوند (Britton, 1995). شاید شناخته شده‌ترین مشتق کاروتنوئید ویتامین A باشد، که در تغذیه بشر برای پیش‌ساز ویتامین A برای جلوگیری از بیماری‌های مختلف از قبیل کوری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مهم می‌باشند (Cazzonelli, 2011; Cazzonelli et al., 2010). لوتئین یک کاروتنوئید پایدار در مقابل گرما و زآزانتین کاروتنوئیدهای غالب در غده سیب‌زمینی هستند. آنها یک نقش کلیدی در ممانعت از تخریب پیشرفته ماکولا[15] بوسیله محافظت سلول‌های نورگیر از رادیکال اکسیژن آزاد تولید شده بوسیله نور بازی می‌کنند (Schalch, 1992). به‌علاوه اعتقاد بر این است که لوتئین به کاهش سرطان ریه کمک می‌کند (Khachik et al., 1992).

یکی از مهم‌ترین مسیرهای تولید رنگدانه در گیاهان مربوط به مسیر بیوسنتزی کاروتنوئید می‌باشد (Dhar et al., 2015). رنگ گوشت در اغلب ارقام تتراپلوئید سیب‌زمینی دامنه‌ای از سفید کرم و زرد تا زرد تیره می‌باشد. رنگ زرد به‌وسیله حضور کاروتنوئیدهای ویژه ایجاد می‌شود. کاروتنوئیدهای اصلی در ارقام سیب‌زمینی زآزانتین[16]، ویالازانتین[17]، آنترازانتین[18] و لوتئین[19] می‌باشند (Breithaupt & Bamedi, 2002; Brown et al., 1993; Ezekiel et al., 2013; Nesterenko & Sink, 2003; Valcarcel et al., 2015).

کاروتنوئید در گوشت همه سیب‌زمینی‌ها وجود دارد (Brown, 2005) و رنگ نارنجی و زرد گوشت سیب‌زمینی به‌ترتیب به‌دلیل وجود زآزانتین و لوتئین می‌باشد (Ezekiel et al., 2013).

روش‌های کروماتوگرافی معمولاً برای جداسازی، شناسایی کاروتنوئیدها در نمونه‌های غذایی، خونی و بافت‌های گیاهی استفاده می‌شود (Kopec et al., 2012).

این تحقیق با هدف بررسی دلایل بیوشیمیایی تغییر رنگ کلون‌های جهش‌یافته ایجاد شده از ارقام کایزر و مارفونا با صفات کمی و کیفی بهتر به‌منظور معرفی ارقام جدید انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

ماده گیاهی: با توجه به اهمیت استفاده از ماده گیاهی هملوگ در انجام تحقیقات (Liu et al., 2018) و نقش بسیار مهم آن در بررسی نتایج بنابراین برای انجام این بررسی از دو کلون جهش‌یافته تغییر رنگ یافته پوست و گوشت سیب‌زمینی با استفاده از اشعه گاما به‌همراه ارقام شاهد مادری استفاده گردید. کاشت کلون‌های جهش‌یافته به‌همراه شاهد در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات اردبیل انجام شد. نمونه‌ها از کلون‌های جهش‌یافته و شاهد (والد) در ۴ تکرار مجزا (غده) از مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات اردبیل برداشت و به‌منظور جلوگیری از تغییرات احتمالی در ترکیبات آن بلافاصله به تانک ازت منتقل گردید و سپس در یخچال ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

رنگ پوست و گوشت: رنگ پوست غده از ویژگی‌های هر کلون و رقم محسوب شده و در ۷ گروه رتبه‌بندی شد (پوست سفید معادل یک و پوست با لکه‌های آبی معادل۷).

1-Pelargonidin 2- Cyanidin 3- Petunidin 4- Delphinidin 5- Peonidin 6- Malvidin
7- Flavone 8- Flavonol 9- Epicatechin 10- Catechin 11-Erodictyol 12- Kaempeferol
13- Naringenin 14- Rutin 15-Macula 16- Zeaxanthin 17- Violaxanthin 18- Antheraxanthin
19- Lutein

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]

رنگ گوشت غده در زمان برداشت از غده‌هایی صورت گرفت که آفتاب ندیده بود. برای این‌منظور رنگ گوشت مواد آزمایشی براساس شدت رنگ گوشت در دامنه ۱ تا ۹ گروه‌بندی شد (سفید شیری معادل یک و زرد خیلی پررنگ معادل۹).

استخراج کاروتنوئیدها: برای استخراج کاروتنوئید ۳ میلی‌لیتر استون به یک گرم پودر گوشت سیب‌زمینی (برابر با ۲/۵ گرم گوشت تر سیب‌زمینی) از هر نمونه ۴ تکرار در داخل تیوپ‌ها اضافه و برای مدت ۱۰ دقیقه ورتکس گردید. محلول در دور g ۱۵۰۰ و به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و نگهداری شد و ۳ میلی‌لیتر استون مجددا به محلول اولیه اضافه و مراحل تکرار گردید. پس از استخراج مجدد ۳ میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و به ۱ میلی‌لیتر قبلی اضافه شد. از این محلول برای اندازه‌گیری کاروتنوئید کل به‌وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر استفاده شد. به‌منظور مشخص کردن ترکیب کاروتنوئید با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارکرد بالا به محلول استخراج شده فوق، محلول تترا هیدرو فوران به‌علاوه BHT ۰/۱ درصد اضافه نموده و اقدام به فیلتر ۰/۲ میکرومتر می‌شود (Ishiguro et al., 2010).

تعیین محتوی کل کاروتنوئید و ترکیب آن: با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در محدوده جذب ۳۶۰ تا ۷۰۰ نانومتر اقدام به سنجش کاروتنوئید کل نمونه‌ها شد (دستگاه Cintra6, GBC). کاروتنوئید کل با استفاده از رابطه۱ در بالاترین جذب محاسبه شد (Aflaki, 2012). تعیین جز کاروتنوئیدها با استفاده از دستگاه HPLC Agilent 1100 و ستون Agilent, Zorbax Eclips XDB-C18, 4.6×150mm, 5µm و شرایط جریان 0.95ml/min و با استفاده از حلال یک (A) شامل استونیتریل و آب به نسبت ۷۰ به ۳۰ و حلال دو (B) شامل استونیتریل، متانول و اتانول به نسبت۱۰،۱۰،۸۰ و تری‌اتیل آمین ۰/۰۵ درصد و در طول موج جذبی ۴۵۰ نانومتر انجام شد (Ishiguro et al., 2010).

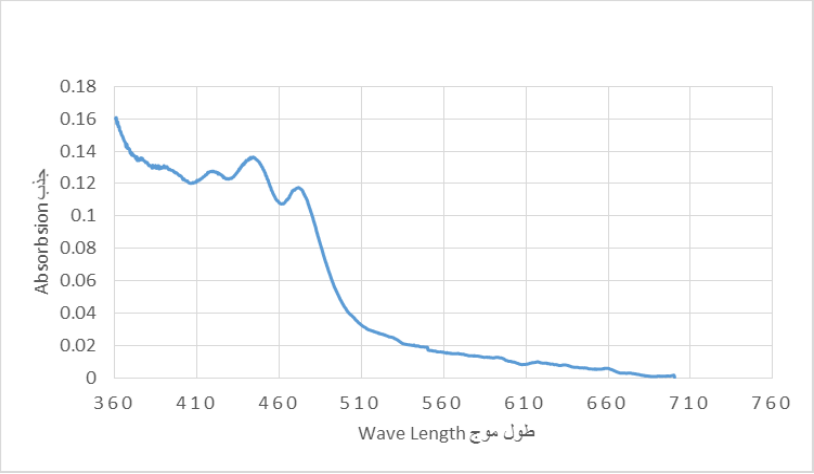
رابطه ۱:

$$C = \left(\frac{A}{E^{1\%}_{1cm}}\right) \times \left(\frac{V}{M}\right) \times \left(\frac{10^6 \mu g}{1g}\right) \times D$$

C: غلظت (µg/g)
A: جذب در ۴۵۰ نانومتر
V: حجم در محلول (cc)
$E^{1\%}_{1}$: جذب ویژه (cm^{-1})، 2500 for carotenoid
M: جرم نمونه (g)
D: فاکتور رقت

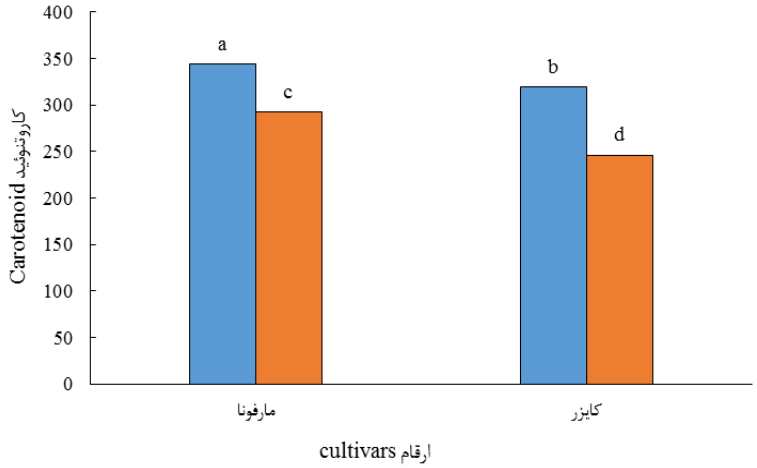
نتایج و بحث

مطابق نتایج حاصل از اسپکتروفتومتری (شکل ۱) میزان کاروتنوئید کل در جهش‌یافته و شاهد در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار نشان داد. میانگین میزان کاروتنوئید کل لاین‌های جهش‌یافته کایزر و مارفونا به‌ترتیب برابر با ۳۱۹/۵۴ و ۳۴۴/۰۹ میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن تر گوشت سیب‌زمینی بوده و در رقم‌های والدی (شاهد) آنها به‌ترتیب برابر با ۲۴۶/۳۶ و ۲۹۲/۷۳ میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که محتوی کاروتنوئید کل این دو لاین جهش‌یافته به‌ترتیب ۱/۳ و ۱/۱۸ برابر محتوی کاروتنوئید والد خود می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۱- طیف اسپکتروسکوپی کاروتنوئید کل در طول موج ۳۶۰-۷۶۰ نانومتر
Figure 1. Spectral spectroscopy of total carotenoid at wavelength 360-760 nm

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]



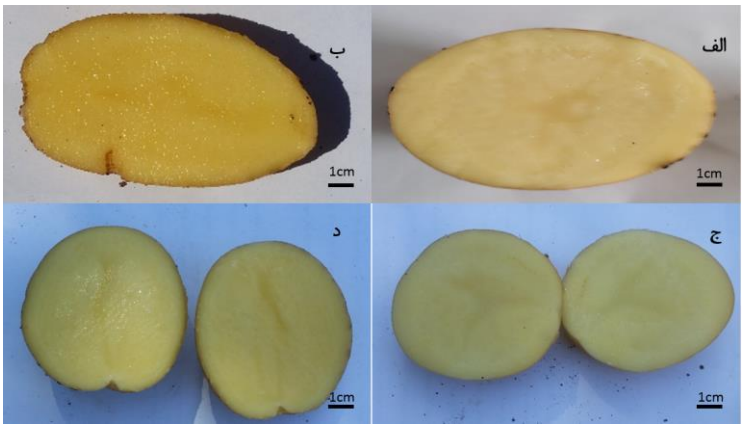
شکل ۲- مقایسه میانگین کاروتنوئید کل در کلون‌های جهش‌یافته و شاهد ارقام کایزر و مارفونا
میانگین‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد ندارند.
Figure 2. Average comparison of total carotenoid in mutant and control clones of Caesar and Marfona cultivars
Means with same letters show non-significant difference at $p<0.01$

براساس بررسی کیفی صورت گرفته رنگ پوست هر دو کلون جهش‌یافته از سفید مایل به زرد به رنگ زرد و رنگ گوشت از کرمی مایل به زرد به رنگ زرد تغییر یافت (شکل ۳ و ۴). براون و همکاران (Brown et al., 2005) نشان دادند که محتوی کل کاروتنوئید سیب‌زمینی در سیب‌زمینی‌هایی با رنگ گوشت سفید، رنگ زرد روشن و رنگ زرد تیره به‌ترتیب ۴۰ تا ۱۳۰، ۱۰۱ تا ۲۷۱ و ۵۰۹ تا ۷۹۵ میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن تر گوشت سیب‌زمینی بوده است. همچنین در تحقیق دیگر که توسط براون و همکاران (Brown et al., 2008) در ارتباط با بررسی محل کشت و روش پخت سیب‌زمینی انجام گرفت مشخص شد که واریته‌های با رنگ گوشت سفید حاوی ۵۰ تا ۱۰۰ میکروگرم کاروتنوئید در ۱۰۰ گرم وزن تر بوده است و واریته‌هایی با رنگ گوشت زرد دارای محتوی کاروتنوئید کل ۱۰۰ تا ۳۵۰ میکروگرم در ۱۰۰ گرم وزن تر اعلام نمودند. والکارل و همکاران (Valcarcel et al., 2015) سطوح بالاتری از کاروتنوئیدها کل در پوست غده‌های سیب‌زمینی در رقم بورن با حداکثر مقادیر ۲۸ و ۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به‌ترتیب در پوست و گوشت گزارش کردند. همچنین اعلام کردند ارقام با پوست یا گوشت زرد نیز دارای محتوای کاروتنوئید کل بالاتری نسبت به ارقام با رنگ زرد بسیار کم‌رنگ یا سفید بودند. به‌طور متوسط، محتوای کاروتنوئید کل پوست سیب‌زمینی دو و نیم تا سه برابر بیشتر از گوشت بود. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که گوشت زرد تیره دارای بالاترین میانگین کاروتنوئید بود ولی تفاوت معنی‌داری با گوشت زرد روشن ندارد (Valcarcel et al., 2015). در مطالعه دیگری که توسط لو و همکاران (Lu et al., 2001) انجام گرفت اعلام نمودند که رنگ زرد گوشت سیب‌زمینی با محتوی کاروتنوئید آن همبستگی مثبت دارد. مطابق نتایج فوق که با یافته‌های تحقیق حاضر منطبق می‌باشد جهش‌یافته با رنگ گوشت زرد نسبت به والد (شاهد) دارای محتوی کاروتنوئید کل بیشتری می‌باشد. مقایسه نتایج تغییر شدت رنگ اندازه‌گیری شده بر اساس شاخص کیفی با میزان کاروتنوئید کل اندازه‌گیری شده حاکی از وجود همبستگی مثبت می‌باشد. بدین معنی که با تغییر محتوی کاروتنوئید کل شاخص رنگ پوست و گوشت نیز با همسویی مثبت تغییر یافته است (جدول ۱).



شکل ۳- شکل ظاهری و رنگ پوست غده‌های سیب‌زمینی الف- رقم کایزر (شاهد)، ب- کلون جهش‌یافته کایزر، ج- رقم مارفونا (شاهد)، د- کلون جهش‌یافته مارفونا
Figure 3. A- Shape and skin color of potato tubers a) Caesar, b- Caesar mutant, c- Marfona, d- Marfona mutant

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]



شکل ۴- رنگ گوشت غده‌های سیب‌زمینی الف- رقم کایزر (شاهد)، ب- کلون جهش‌یافته کایزر، ج- رقم مارفونا (شاهد)، د- کلون جهش‌یافته مارفونا

Figure 4. A- Flesh color of potato tubers a) Caesar, b- Caesar mutant, c- Marfona, d- Marfona mutant

جدول ۱- ضریب همبستگی پیرسون محتوی کاروتنوئید با رنگ پوست و گوشت

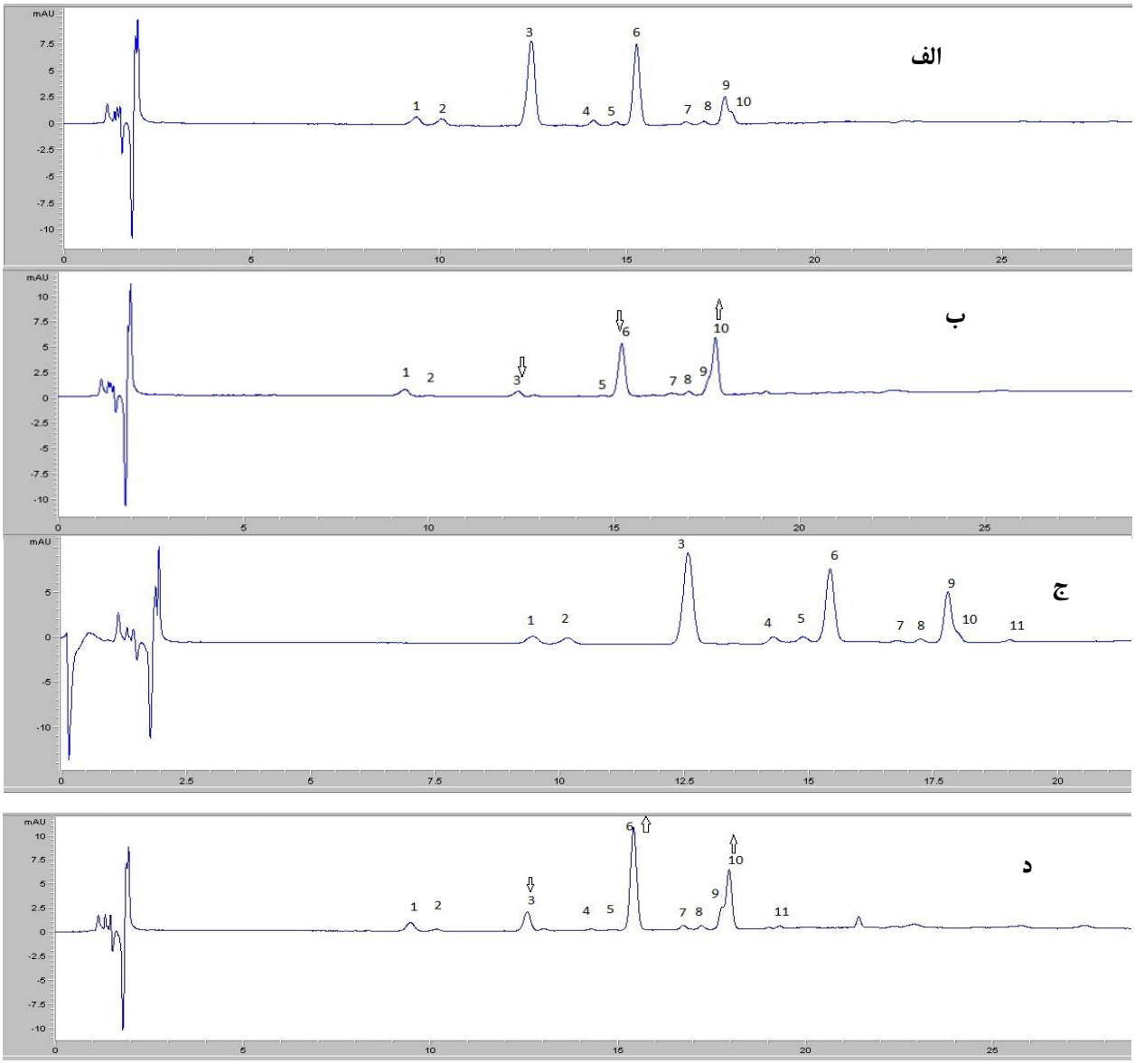
Table 1. Pearson correlation coefficient of total carotenoid content with skin and flesh color

	Flesh رنگ گوشت	Skin رنگ پوست	Cart کاروتنوئید
Flesh رنگ گوشت	1	0.91	0.90
Skin رنگ پوست		1	0.84
Cart کاروتنوئید			1

ترکیبات کاروتنوئید به‌وسیله روش کروماتوگرافی مایع با کارکرد بالا و با استفاده از دستگاه Agilent 1100 انجام گردید. نتایج به‌صورت گراف‌های کروماتوگرافی ارائه شد (شکل ۵). در کروماتوگراف‌ها ۱۰ پیک دیده شد، که اولین پیک در دقیقه ۹ و آخرین پیک در دقیقه ۱۷/۸ مشاهده شد. هر پیک نمایانگر یکی از اجزا تشکیل دهنده کاروتنوئید کل سیب‌زمینی بوده است. با توجه به بررسی منابع (Burgos et al., 2009; Ishiguro et al., 2010; Khan et al., 2016; Sulli et al., 2017) و مقایسه آن با کروماتوگرافی حاضر و با توجه به اهمیت پیک‌های تغییر یافته مشخص گردید که پیک‌های ۳، ۶ و ۱۰ به‌ترتیب ویالازانتین، آنترازانتین و لوتئین بودند. نتایج نشان داد که روند تغییر در پیک‌های ۳ و۱۰ (به‌ترتیب ویالازانتین و لوتئین) در هر دو کلون جهش‌یافته حاصله مشابه هم بود به‌طوری که روند تغییرات ویالازانتین در جهش‌یافته‌ها نسبت به شاهدها کاهشی بود و برعکس، این روند برای لوتئین در جهش‌یافته‌های حاصله نسبت به شاهدها افزایشی بود. پیک شماره ۶ که مربوط به آنترازانتین می‌باشد روند تغییرات متفاوتی را در کلون‌های جهش‌یافته‌ها نسبت به ارقام مادری خود نشان داد. در جهش‌یافته کایزر میزان آن نسبت به شاهد روند کاهشی را نشان داد در حالیکه در جهش‌یافته مارفونا این روند نسبت به شاهد افزایشی بود. بریتهاپت و بامدی (Breithaupt & Bamedi, 2002) الگوی کاروتنوئیدی چهار رقم سیب‌زمینی گوشت زرد و چهار رقم گوشت سفید را بررسی کردند. الگوی کاروتنوئیدی غالب ویولازانتین، آنترازانتین، لوتئین و زآزانتین بود (Breithaupt & Bamedi, 2002). بورگوس و همکاران (Burgos et al., 2009) گزارش کردند که مقادیر قابل توجه و غالب زآزانتین و آنترازانتین در سیب‌زمینی‌های با گوشت زرد پررنگ یافت شد در حالی‌که مشخصات کاروتنوئیدی سیب‌زمینی زرد متشکل از ویولازانتین، آنترازانتین، لوتئین و زآزانتین بود و سیب زمینی‌های با گوشت کرمی از بتاکاروتن، ویولازانتین و لوتئین تشکیل شده بود (Burgos et al., 2009).

در مطالعه‌ای توسط سولی و همکاران (Sulli et al., 2017) با هدف گروه‌بندی رنگ گوشت سیب‌زمینی با استفاده از محتوی کاروتنوئید با استفاده از روش کروماتوگرافی انجام گردید نشان داده شد که گروه با رنگ گوشت سفید، محتوی کاروتنوئید کل پائینی داشتند. محتوی ویالازانتین و لوتئین با کاروتنوئید کل نسبت عکس داشتند به‌نحوی که ژنوتیپ‌هایی که دارای نسبت بالاتر ویالازانتین به کاروتنوئید کل بودند از نسبت پائین‌تر لوتئین نسبت به کاروتنوئید کل برخوردار بودند. بر همین اساس آنها از محتوی لوتئین و آنترازانتین برای تفکیک کلون با گوشت سفید و زرد استفاده کردند. اگرچه در نتایج ارائه شده در مقاله فوق ژنوتیپ‌هایی با نتایج مخالف نظر نویسنده مقاله وجود داشت که می‌تواند با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق انطباق داشته باشد. این تناقضات در ژنوتیپ‌هایی که غلظت کاروتنوئید آنها کمتر از ۳۵۰ میکروگرم در ۱۰۰ گرم ماده تر است دیده می‌شود (شکل ۳). مطابق مقالات براون و همکارن (Brown, 2005, 2008; Sulli et al., 2017) و سولی و همکاران (Sulli et al., 2017) محتوی لوتئین برای تفکیک ژنوتیپ‌های سفید و زرد استفاده شدند. مطابق نتایج مورد اشاره کلون‌های جهش‌یافته از محتوی لوتئین بالاتری نسبت به ارقام مادری (شاهد) برخوردار بوده و می‌توان افزایش رنگ زرد آن را به افزایش محتوی لوتئین هم نسبت داد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]



شکل ۵- کروماتوگرام کروماتوگرافی مایع با کارکرد بالا غده‌های سیب‌زمینی الف- شاهد کایزر (والد)، ب- کلون جهش‌یافته کایزر، ج- شاهد مارفونا (والد)، د- کلون جهش‌یافته مارفونا در ۴۵۰ نانومتر. پیک‌های احتمالی شناسایی شده ۳- ویالوزانتین ۶- آنترازانتین ۱۰- لوتئین
Figure 5. HPLC chromatograms of a) Caesar, b) Caesar mutant, c) Marfona, d) Marfona mutant at 450 nm. Tentative peak identification: 3. Violaxanthin, 6. Antheraxanthin, 10. Lutein

نتیجه‌گیری کلی

مطابق نتایج حاصله که منطبق بر بررسی منابع انجام شده بود مشخص شد محتوی کاروتنوئید کل در تغییر رنگ گوشت سیب‌زمینی نقش مهمی را ایفا می‌نماید. مقایسات کیفی صورت گرفته در پوست و گوشت سیب‌زمینی نشان داد که این صفات با محتوی کاروتنوئید کل همبستگی مثبت داشت. همچنین افزایش میزان لوتئین نیز در این امر نقش دارد و به‌نظر می‌رسد عامل تغییر رنگ پوست و گوشت سیب‌زمینی کلون جهش‌یافته حاصل نسبت به شاهد در وهله اول افزایش محتوی کاروتنوئید کل و همچنین افزایش میزان محتوی لوتئین آن می‌باشد. برای بررسی دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود تحقیقات مولکولی در این خصوص به انجام رساند.

تشکر و قدردانی

با سپاس از تمام کسانی که در انجام این تحقیق یاریگر ما بودند به‌ویژه دانشگاه گرگان و مرکز تحقیقات سیب‌زمینی اردبیل و همچنین استاد ارجمند جناب آقای دکتر جواد فصیحی.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]

منابع

Aflaki, N. (2012). *Optimization of carotenoid extraction in peel and flesh of cantaloupe (Cucumis melo L.) with ethanol solvent* Université Laval].

Ahloowalia, B. (1982). Plant regeneration from callus culture in potato. *Euphytica*, *31*(3), 755-759.

Ahloowalia, B. (1990). In vitro radiation induced mutagenesis in potato. The Impact of Biotechnology on Agriculture: Proceedings of the International Conference:"The Meeting Point Between Fundamental and Applied in vitro Culture Research", held at Amiens (France), July 10–12, 1989,

Braconnot, H. (1817). Examen chemique du Piment, de son principe âcre, et de celui des plantes de la famille des renonculacées (Chemical investigation of the chili pepper, of its pungent principle [constituent, component], and of that of plants of the family Ranunculus). Annales de Chemie et de Physique,

Breithaupt, D. E., & Bamedi, A. (2002). Carotenoids and carotenoid esters in potatoes (Solanum tuberosum L.): new insights into an ancient vegetable. *Journal of agricultural and food chemistry*, *50*(24), 7175-7181.

Britton, G. (1991). *Main lectures presented at the Ninth International Symposium on Carotenoids: held in Kyoto (Japan) 20-25 May 1990*. Blackwell.

Britton, G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal*, *9*(15), 1551-1558.

Brown, C. (2005). Antioxidants in potato. *American Journal of Potato Research*, *82*, 163-172.

Brown, C. (2008). Breeding for phytonutrient enhancement of potato. *American Journal of Potato Research*, *85*, 298-307.

Brown, C., Edwards, C., Yang, C.-P., & Dean, B. (1993). Orange flesh trait in potato: Inheritance and carotenoid content. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *118*(1), 145-150.

Burgos, G., Salas, E., Amoros, W., Auqui, M., Munoa, L., Kimura, M., & Bonierbale, M. (2009). Total and individual carotenoid profiles in Solanum phureja of cultivated potatoes: I. Concentrations and relationships as determined by spectrophotometry and HPLC. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(6), 503-508.

Cazzonelli, C. I. (2011). Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*, *38*(11), 833-847.

Cazzonelli, C. I., Nisar, N., Hussain, D., Carmody, M. E., & Pogson, B. J. (2010). Biosynthesis and Regulation of Carotenoids in Plants—micronutrients, vitamins and health benefits. *Plant Developmental Biology-Biotechnological Perspectives: Volume 2*, 117-137.

Dhar, M. K., Sharma, R., Koul, A., & Kaul, S. (2015). Development of fruit color in Solanaceae: a story of two biosynthetic pathways. *Briefings in Functional Genomics*, *14*(3), 199-212.

Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato—a review. *Food Research International*, *50*(2), 487-496.

Fraser, P. D., & Bramley, P. M. (2004). The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in lipid research*, *43*(3), 228-265.

Hasani, F., Moslemkhany, C., Tahernezhad, Z., & Jazayeri NooshAbadi, M. (2020). Adaptation and Yield Stability Evaluation of New Potato Genotypes Using GGE Biplot Method. *Journal of Crop Breeding*, *12*(35), 91-101(In Persian).

Hassanpanah, D., & Hoseinzadeh, A. A. (2007). *Methodology and evaluation of resistanceresource to drought stress and path analysis of yield and yield components in potatocultivars*. A. P. Final Report of Research Center of Agriculture and Natural Resources.

Hassanpanah, D., Rahimi, M., & Vedadi, S. (2015). Evaluation of genetic diversity of potato genotypes for some traits irradiated with gamma ray in Caesar cultivar. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(34 (2)), 215-230.

Ishiguro, K., Yoshinaga, M., Kai, Y., Maoka, T., & Yoshimoto, M. (2010). Composition, content and antioxidative activity of the carotenoids in yellow-fleshed sweetpotato (Ipomoea batatas L.). *Breeding Science*, *60*(4), 324-329.

Khachik, F., Englert, G., Daitch, C. E., Beecher, G. R., Tonucci, L. H., & Lusby, W. R. (1992). Isolation and structural elucidation of the geometrical isomers of lutein and zeaxanthin in extracts from human plasma. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, *582*(1-2), 153-166.

Khan, M. Z., Takemura, M., Maoka, T., Otani, M., & Misawa, N. (2016). Carotenoid analysis of sweetpotato Ipomoea batatas and functional identification of its lycopene β-and ε-cyclase genes. *Zeitschrift für Naturforschung C*, *71*(9-10), 313-322.

Kong, J.-M., Chia, L.-S., Goh, N.-K., Chia, T.-F., & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, *64*(5), 923-933.

Kopec, R. E., Cooperstone, J. L., Cichon, M. J., & Schwartz, S. J. (2012). Analysis methods of carotenoids. *Analysis of Antioxidant-Rich Phytochemicals*, 105-148.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]

Liu, F., Yang, Y., Gao, J., Ma, C., & Bi, Y. (2018). A comparative transcriptome analysis of a wild purple potato and its red mutant provides insight into the mechanism of anthocyanin transformation. *PLoS One*, *13*(1), e0191406.

Lu, W., Haynes, K., Wiley, E., & Clevidence, B. (2001). Carotenoid content and color in diploid potatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *126*(6), 722-726.

Nesterenko, S., & Sink, K. C. (2003). Carotenoid profiles of potato breeding lines and selected cultivars. *HortScience*, *38*(6), 1173-1177.

Schalch, W. (1992). Carotenoids in the retina—a review of their possible role in preventing or limiting damage caused by light and oxygen. *Free radicals and aging*, 280-298.

Smeriglio, A., Barreca, D., Bellocco, E., & Trombetta, D. (2016). Chemistry, pharmacology and health benefits of anthocyanins. *Phytotherapy research*, *30*(8), 1265-1286.

Sulli, M., Mandolino, G., Sturaro, M., Onofri, C., Diretto, G., Parisi, B., & Giuliano, G. (2017). Molecular and biochemical characterization of a potato collection with contrasting tuber carotenoid content. *PLoS One*, *12*(9), e0184143.

Valcarcel, J., Reilly, K., Gaffney, M., & O'Brien, N. (2015). Total carotenoids and l-ascorbic acid content in 60 varieties of potato (Solanum tuberosum L.) grown in Ireland. *Potato Research*, *58*, 29-41.

Vesali, m., baradaran, r., hasanpanah, d., & Soqa al-Islami, m. j. (2021). Determining the Tolerance of Hybrids from Combination of Potato Cultivars to Different Aridity Conditions in Ardabil Province [Research]. *Journal of Crop Breeding*, *13*(37), 146-158. https://doi.org/10.52547/jcb.13.37.146 (In Persian).

Wolters, A.-M. A., Uitdewilligen, J. G., Kloosterman, B. A., Hutten, R. C., Visser, R. G., & van Eck, H. J. (2010). Identification of alleles of carotenoid pathway genes important for zeaxanthin accumulation in potato tubers. *Plant molecular biology*, *73*, 659-671.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.22]