

국내에서 상용되는 농산물의 카로티노이드 함량 분석

박혜진 · 이주홍* · 권누리* · 강혜정* · 김주형** · 박진주*** · †엄현주

충청북도농업기술원 지방농업연구소, *충청북도농업기술원 연구원,
충청북도농업기술원 지방농업연구소, *국립농업과학원 농식품자원부 농업연구소

Analysis of Carotenoids in Commonly Consumed Agricultural Products in Korea

Hye Jin Park, Juhong Lee*, Nu Ri Kwon*, Hye Jeong Kang*, Ju-Hyoung Kim**, Jinju Park*** and †Hyun-Ju Eom

Associate Researcher, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea

*Researcher, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea

**Senior Researcher, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea

***Associate Researcher, Dept. of Agro-Food Resources, NAAS, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract

A total of 51 vegetables and fruits, commonly consumed agriculture products in Korea, were analyzed for their α -carotene, β -carotene, and β -cryptoxanthin contents as provitamin A. The beta-carotene content ($\mu\text{g}/100\text{ g}$) was high in a few green leaf vegetables such as coriander (5,924.07), gegeol radish leaf (5,855.72), and curried mallow (5,138.01), while α -carotene and β -cryptoxanthin contents were not detected. The β -carotene in 8 kinds of 20 general vegetables was detected in the range of 214.06~1,437.67 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, while α -carotene was detected at 460.17 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ in only old pumpkin. The β -cryptoxanthin was detected in the range of 106.55~315.49 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ in Japanese elm, watermelon, white cucumber, and lettuce. However, carotenoids were not detected in 10 kinds of agricultural products including oriental melon, potato, etc. In fruits, the beta-carotene contents ranged from 165.72~3,997.39 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, showing maximum value in apple mango and minimum value in persimmon. The β -cryptoxanthin was detected at 232.22 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ in only passion fruit, while the α -carotene was detected at 77.25 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ in only darae. Thus, based on the analyzed results of carotenoids of agriculture products consumed or cultivated in Korea, and it was found that green leaf vegetables comprise high beta-carotene overall.

Key words: carotenoid, provitamin A, agricultural products, HPLC

서론

카로티노이드(carotenoid)는 황색, 적색, 자주색 등을 띠는 테트라테르펜(tetraterpene) 색소로서, 자연계에 가장 널리 분포하고 있으며, 식물 뿐만 아니라 세균, 곰팡이, 동물에도 존재한다(Maoka T 2020). 카로티노이드는 다시 카로틴류(carotenes)와 잔토티필류(xanthophylls) 두 종류로 나뉘는데, 전자에는 잘 알려진 베타카로틴(β -carotene)을 포함하여 알파카로틴(α -carotene), 라이코펜(lycopene) 등이 존재하고, 잔토티필류에는 베타크립토티잔틴(β -cryptoxanthin), 루테인(lutein), 캡산틴(capsanthin) 등

다수가 포함되어 있다(Sauberlich 등 1975; Hwang 등 2010). 일반적인 카로티노이드는 항산화 효과, 노화예방, 항암, 심혈관 질환 예방, 면역 활성화 등의 기능성이 알려져 있다(Raju 등 2007; Leong & Oey 2012).

한편, 카로티노이드 중 일부는 프로비타민 A의 역할을 하여 체내에 흡수되었을 때 비타민 A로 전환되는데, 카로티노이드에는 알파카로틴, 베타카로틴, 베타크립토티잔틴이 포함되며(Olmedilla-Alonso 등 2020), free radical을 소거함으로써 항산화 기능을 가진다(Hix 등 2004). 이런 비타민 A는 생존에 필수적인 지용성 비타민으로써 성장, 시각 유지, 면역, 세포

† Corresponding author: Hyun-Ju Eom, Associate Researcher, Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea. Tel: +82-43-220-5691, Fax: +82-43-220-5679, E-mail: hyunjueom@korea.kr

증식, 분화 등의 생리적으로 중요한 역할을 하며, 결핍 시에는 야맹증, 안구건조증에 걸릴 뿐 아니라 심할 경우 실명에 이르게 된다(Gilbert C 2013). 이런 비타민 A는 앞서 말한 식물성 식품군에서 발견되는 카로티노이드 형태와 동물성 식품군에서 발견되는 레티놀(retinol) 형태로 발견된다(National Institutes of Health 2022).

미국인과 유럽인의 경우 비타민 A 급원식품을 섭취할 때, 동물성 레티놀과 식물성 카로티노이드의 섭취가 각각 65%, 35% 비율을 이루고 있으나(Weber & Grune 2012), 식물성 식품으로 대부분의 비타민 A를 섭취하는 한국인들은 카로티노이드의 형태로 87%를 섭취한다(Kim Y 2016). 동물성 식품을 통해 섭취하는 레티놀은 식물성 식품으로 섭취하는 카로티노이드보다 활성이 높지만, 우리나라 국민들은 비타민 A 대부분을 당근, 시금치, 상추 등의 식물성 식품에 함유된 카로티노이드로 섭취하므로, 동물성 식품의 섭취가 이마저 적은 사람들은 비타민 A 섭취가 권장량에 도달하기 어렵다(Kim 등 2016). 이에 따라 국민 건강의 증진을 도모하기 위하여 식물성 카로티노이드 함량에 대한 데이터베이스 구축이 필요하다.

따라서 본 연구는 국내에서 상용되는 농산물 자원을 바탕으로 이에 함유된 식물성 비타민 A인 카로티노이드(알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토잔틴) 함량을 분석하고, 향후 국가식품성분표 발간에 활용 및 국민영양평가의 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에서 사용한 모든 시료는 국민이 상용하는 농산물 또는 농가에서 재배되는 작물들을 위주로 선정하여 분석하였다. 영양부추와 같은 잎을 포함하는 엽채류 16종, 엽채류를 제외한 참두릅이나 호박과 같은 일반적인 채소류 20종, 백향과 등의 과일 15종을 2019년부터 2021년까지 국립농업과학원(Jeonju, Korea)으로부터 제공받았으며, 액체질소로 급속 냉동한 후 마쇄한 상태로 제공받은 시료는 분석일까지 -70°C 에서 보관하였다. 카로티노이드에 속하는 알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토잔틴($\geq 95\%$ HPLC, 032-17991, Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Japan)는 표준품을 구입해 검량선을 작성하였다. 또한 일반 시약(normal-grade)인 magnesium sulfate anhydrous, butylhydroxytoluene(BHT), potassium hydroxide, ethanol, pyrogallol과 특급시약(HPLC-grade)인 n-hexane, ethyl acetate, chloroform, acetonitrile, methanol을 정량을 위한 기기분석에서 사용하였다.

2. 표준용액 조제

표준용액을 만들기 위하여 알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토잔틴 10 mg을 각각 chloroform에 용해한 후, 알파카로틴과 베타크립토잔틴은 $10 \mu\text{g/mL}$ 농도로 베타카로틴은 $50 \mu\text{g/mL}$ 로 희석하여 표준용액을 제조하였다. 표준용액을 제조한 후 -20°C 에서 보관해 두었다가 사용하였으며, 분석 시 질소로 n-hexane을 제거한 후 chloroform과 acetonitrile(4:6, v/v)에 다시 용해하여 사용하였다.

3. 추출방법

100 mL 추출관에 균질화된 시료 4 g과 20 mL의 6%의 pyrogallol ethanol 용액을 넣고, vortex mixer를 이용해 시료와 잘 섞이도록 혼합하였다. 이후 30초 간 추출관의 공기를 질소로 치환한 뒤 sonication을 5분 동안 진행하였다. 검화를 위해 60% KOH 용액 8 mL를 추출관에 넣고, 질소 치환 후에 냉각관을 연결하였다. 다음으로 75°C , 120 rpm shaking water bath(BS-21, Lab Companion, Jeiotech, Daejeon, Korea)에서 50분간 검화를 진행한 뒤, ice box에서 추출관을 1시간 동안 냉각하였다. 이후 2% NaCl 용액 30 mL를 넣어주고, 추출관에 0.01% BHT를 첨가한 추출용매 ethyl acetate와 n-hexane 혼합용액(15:85, v/v) 20 mL를 주입한다. 이것을 1분동안 vortex mixer로 진탕하고 방치하여 층분리를 일으켰다. 이 추출과정을 추출용매 20 mL씩 두 번 더 가하여 반복하였다. 이때 얻은 상등액을 magnesium sulfate anhydrous가 포함된 여과지로 여과하여 수분을 제거하고 50 mL 부피플라스크에 옮겨 담아 정용하였다. 정용한 추출액 10 mL를 25 mL screw-cap vial로 취해 질소로 용매를 완전히 제거한다. 이것을 chloroform과 acetonitrile 혼합용액(40:60, v/v) 1 mL 가하여 vortex mixer로 혼합하여 용해시켜 10-20배 농축하였다. 용해된 액을 PTFE $0.45 \mu\text{m}$ disposable syringe filter(Hydrophobic, DISMIC-13JP, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)로 한번 더 여과한 뒤 HPLC 분석으로 카로티노이드의 함량을 정량하였다(Kim 등 2017; Park 등 2018; Eom 등 2019; Eom 등 2021).

4. HPLC 조건

카로티노이드의 정량은 HPLC(Agilent, Santa Clara, USA)를 이용했으며, 자외부흡광검출기(Felxar UV/VIS LC Detector, Agilent)를 장착해 진행하였다. 또한 본 HPLC는 Ascentis RP-Amide column($5 \mu\text{m}$, $4.6 \times 150 \text{ mm}$, SUPELCO, Sigma-Aldrich, Spruce, MO, USA)와 pump(Flexar Quaternary LC pump, Agilent)을 사용했다. 컬럼의 온도는 컬럼오븐(Flexar peltier LC column oven, Agilent)을 이용하여 35°C 로 유지하였으며, 자외부흡광검출기의 파장은 excitation 파장 473 nm 를 이용하였고 유속은 1.0 mL/min 로 하였다. 시료의 1회 주입량은 $20 \mu\text{L}$ 였다. 이

동상은 1 L acetonitrile과 methanol을 혼합한 용매(7:3, v/v)를 degassing하여 사용하였다.

5. 분석방법의 검증

본 연구의 분석방법 검증은 multivitamin/multielement tablets (SRM[®]-3280)을 표준인증물질(Standard Reference Material, SRM)로 분석하고, 참값 대비 분석 값의 회수율(recovery, %)을 구하였다. 상대 표준편차가 10% 이내인 분석치를 분석관리물질인 시료를 10회 이상 분석하여 얻었고, 분석치의 평균값을 기준으로 관리 상·하한선(upper and under control line, mean of analyte content \pm 2 \times standard deviation)과 조치 상·하한선(upper and under action line, mean of analyte content \pm 3 \times standard deviation) 기준을 설정하였다. 본 기준으로 시료가 분석되는 전체 기간 동안 QC(quality control) chart를 분석품질관리 지표로 사용하여 작성하였다. 분석관리차트의 기준값을 설정한 후에 매회 시료 분석시마다 분석관리시료를 같이 분석해, 그 값을 차트에 기록함으로써 분석이 바르게 진행되는지 확인하여 분석의 품질을 관리하였다(Shin 등 2015; Park 등 2018; Eom 등 2019).

결과 및 고찰

1. 분석방법의 검증

국내 과채류에 포함된 카로티노이드 신뢰성 분석방법을 알아보기 위하여, 참값을 이미 알고 있는 표준인증물질인 multivitamin/multielement tablets(SRM[®]-3280)의 카로티노이드 중 베타카로틴 함량만을 측정하였다(Table 1). 이때, 피크의 분리정도는 표준용액과 표준인증물질을 비교하여 확인하였다(Fig. 1). 검증 결과, 표준인증물질의 참값은 514 mg/g, 분석 결과 503 mg/g, 회수율(recovery, %)은 97.9%였다. 실제 참값에 대한 분석 값의 근접도를 나타내는 ‘정확도(accuracy)’의 허용기준은 일반적으로 90~110%이다(KFDA 2011; Shin 등 2015). 따라서 베타카로틴 함량분석에서 표준인증물질이 정확함을 확인하였다. 또한, 농촌진흥청에서 제공받은 브로콜리+표고버섯 혼합물로 QC차트를 작성하여 사용된 분석방법을 검증하였으며, 시료를 10회 이상 기준 값을 정하기 위해 반복해 분석하여 평균값을 얻었다. 평균값의 상·하위 10%

Table 1. Accuracy of beta-carotene analysis

CRM	Reference value ($\mu\text{g/g}$)	Analytical value ($\mu\text{g/g}$)	Recovery (%)
SRM [®] -3280 ¹⁾	514 \pm 87	503 \pm 4.6	97.9

¹⁾ SRM: standard reference material of multivitamin/multielement tablets.

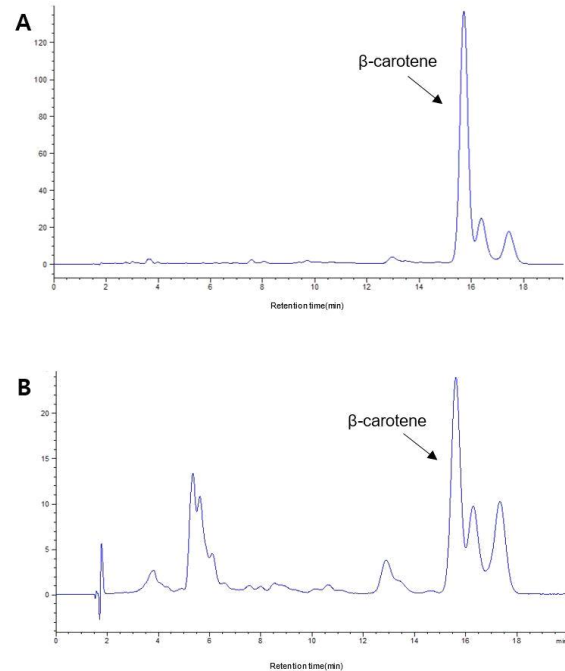


Fig. 1. Analytical HPLC chromatogram of beta-carotene standard (A) and SRM[®]-3280 (B).

를 이것의 기준 값으로 하여 관리 상한선 및 하한선(upper and under control line)으로 정하고, 분석품질관리를 진행하였다. 분석한 데이터가 모두 관리 상한선과 하한선의 범위 내에 있었으며, 이를 통해 분석이 정밀한 관리 하에 진행되었음을 확인하였다(Fig. 2).

2. 엽채류의 카로티노이드 함량

채소류 중 16종 엽채류의 알파카로틴, 베타카로틴, 베타크립토잔틴 함량을 검화법으로 분석한 결과는 Table 2와 같다.

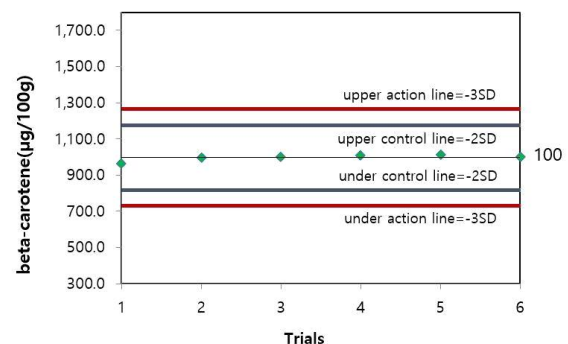


Fig. 2. Quality control charts of beta-carotene. S.D.: standard deviation.

Table 2. The content of carotenoids in green leaf vegetable

(Unit: $\mu\text{g}/100\text{ g}$)

Sample	α -Carotene	β -Carotene	β -Cryptoxanthin
<i>Allium anisopodium</i>	ND	1,350.93 \pm 16.93	ND
Leek (<i>Allium tuberosum</i>)	ND	1,423.27 \pm 31.55	ND
Small water dropwort (<i>Oenanthe javanica</i>)	ND	2,026.84 \pm 9.78	ND
Water spinach (<i>Ipomoea aquatica</i>)	ND	3,551.27 \pm 565.98	ND
Coriander (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	ND	5,924.07 \pm 1,426.40	ND
Romaine lettuce (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>longiflora</i>)	ND	1,331.17 \pm 3.57	ND
Parsley (<i>Petroselinum crispum</i>)	ND	1,367.29 \pm 6.20	ND
Butterbur (<i>Petasites japonicus</i>)	ND	5,022.25 \pm 52.32	ND
Aedum (<i>Sedum sarmentosum</i>)	ND	1,026.74 \pm 9.94	ND
Curried mallow (<i>Malva verticillata</i>)	ND	5,138.01 \pm 193.87	ND
Tah tasai chinese cabbage (<i>Brassica campestris</i> var. <i>narinosa</i>)	ND	1,224.01 \pm 68.76	ND
Crown daisy (<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.)	ND	958.97 \pm 52.44	ND
Gegeol radish leaf (<i>Raphanus sativus</i> var. <i>sativus</i>)	ND	5,855.72 \pm 287.47	ND
Young radish (<i>R. sativus</i> var. <i>sativus</i>)	ND	1,465.77 \pm 3.20	ND
Altari radish leaf (<i>R. sativus</i>)	ND	1,804.64 \pm 95.44	ND
Korean radish leaf (<i>R. sativus</i>)	ND	1,454.59 \pm 28.69	ND

All values represent mean \pm S.D.

ND: not detection.

채소류와는 달리 엽채류에서는 상당히 높은 베타카로틴이 검출되었는데, 그 함량은 958.97~5,924.07 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 범위를 보였고, 알파카로틴과 베타크립토잔틴은 검출되지 않았다. 베타카로틴이 가장 많이 검출된 것은 고수(*Coriandrum sativum* L.)로 5,924.07 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 이었고, 다음으로 게겔무 잎(*gegeol radish leaf, Raphanus sativus* var. *sativus*, 5,855.72 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), 아욱(*curried mallow, Malva verticillate*, 5,138.01 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) 및 머위(*butterbur, Petasites japonicus*, 5,022.25 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) 순으로 상당히 높은 함량의 베타카로틴을 포함하고 있어 카로티노이드의 중요 급원식품으로 사용할 수 있을 것이라고 예상된다. 고수의 경우 국내 데이터(RDA, 2016, 이하 RDA)에는 베타카로틴 정보가 업데이트 되지 않았으며, USDA(2022, 이하 USDA)의 결과는 베타카로틴, 알파카로틴 및 베타크립토잔틴이 각각 3,930, 36 및 202 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 베타카로틴의 함량은 본 연구진의 결과보다는 다소 적게 검출되었으나 알파카로틴 및 베타크립토잔틴이 검출되어 본 연구진 분석결과와는 상이하게 나타났다. 자주 식단에 오르는 돌미나리(*small water dropwort, Oenanthe javanica*)와 호부추(*leek, Allium tuberosum*)도 다소 높은 함량의 베타카로틴이 확인되었다. 돌미나리(2,026.84 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)의 경우 MEXT(2015, 이하 MEXT) 1,900 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 과 RDA 1,320 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 보다는 다소 높게 측정되었다. 반대로 호부추(1,423.27 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)의 베타카로틴은 MEXT 3,500 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 분석 결과와 Hwang 등(2016)의 연구

에서 2,131 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 함량에 비해 낮은 값을 보였다. 부추 중 실부추라고도 불리는 영양부추(*Allium anisopodium*)는 1,350.93 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 측정되어 호부추와 품종은 다르지만 유사한 베타카로틴 수치를 보였다. 공심채(*water spinach, Ipomoea aquatica*)에 존재하는 베타카로틴은 3,551.27 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 분석되어, 기존의 MEXT와 RDA에서 분석된 4,300 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 과는 다소 낮은 함유량을 보였으나 공심채 자체는 지역을 불문하고 높은 베타카로틴 수치를 보였다. 파슬리에 존재하는 베타카로틴은 1,367.29 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 분석되었고, RDA 2,941 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, MEXT 7,400 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 및 USDA 5,050 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 에 비해 월등히 낮은 양으로 검출되어 상이한 결과를 나타냈다. 국민이 상용하는 엽채류 중 아욱(5,138.01 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)의 경우 본 연구에서는 상당히 높은 함량으로 검출이 되었는데, 다른 연구(Hwang 등 2016)에서 생잎보다 데쳤을 때 아욱의 베타카로틴이 3,900에서 4,252 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 본 연구와는 다소 차이가 있지만 여전히 높은 함량을 함유하고 있었다. 김치 재료나 묵나물의 형태로 많이 쓰이는 게겔무 잎, 열무(*young radish, Raphanus sativus* var. *sativus*), 알타리의 무청(*altari radish leaf, Raphanus sativus*) 및 조선무의 무청(*Korean radish leaf, Raphanus sativus*)에서 베타카로틴의 함량은 5,855.72, 1,465.77, 1,804.64 및 1,454.59 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 게겔무의 잎에서 다른 세 종류보다 3-4배 가량 높은 함량이 검출되었으며, RDA 무청(왜무 잎, 생것)에서 5,005 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, 무청

(조선무 잎, 생것)에서는 166 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 검출되어 품종에 따라 상이한 결과를 나타냈으며 본 연구결과 중 조선무의 무청과는 큰 차이가 있었다. MEXT 내 무청(Japanese radishes, Daikon, leaves, raw)에서 3,900 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 베타카로틴이 검출되어 뿌리에는 없는 베타카로틴이 잎에는 다량 존재함을 알 수 있다. 엽채류 실험 결과는 국내외 타 식품성분표 자료 및 논문의 분석값과 다소 차이가 있었으며, 이런 결과는 재배 시기, 지역 및 품종 등에 따른 차이로 보인다.

3. 엽채류를 제외한 채소류의 카로티노이드 함량

엽채류를 제외한 채소류 20종은 검화법으로 카로티노이드(알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토잔틴)를 분석하였으며, Table 3에 정리하였다. 20종 채소 중 8종에서 베타카로틴이 214.06~1,437.67 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 검출되었고, 늙은 호박(old pumpkin, *Cucurbita moschata*)에서는 베타카로틴 뿐만 아니라 알파카로틴이 460.17 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 검출되었다. 또한 20종 채소 중 참두릅(*Aralia elata*), 수박(water melon, *Citrullus lanatus*), 백다다기오이(white dadagi cucumber, *Cucumis sativus* L.) 및 양

상추(Lettuce, *Lactuca sativa* L.) 4종에서만 베타크립토잔틴이 106.55~315.49 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 범위로 검출되었으며, 참외(oriental melon, *Cucumis melo* L.), 감자(potato, *Solanum tuberosum* L.) 등 10종에서는 어떠한 카로티노이드도 전혀 검출되지 않았다.

채소류 20종 중 베타카로틴이 가장 높게 검출된 것은 단호박(sweet pumpkin, *C. maxima* Duchesne)으로 1,437.67 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 이었고, 가장 낮은 것은 양하(Japanese ginger, *Zingiber mioga*)에서 214.06 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 이었다. 늙은 호박의 경우 베타카로틴이 852.92 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 검출되었는데, 호박품종 중 유일하게 알파카로틴을 460.17 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 함유하고 있었고, 4가지 호박품종은 베타크립토잔틴을 함유하고 있지 않았으며, 주키니 호박(zucchini, *C. pepo*)은 베타카로틴을 1,287.57 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 함유하고 있어, 품종에 따라 카로티노이드 함량과 종류가 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 주키니호박과 늙은 호박의 품종별 알파카로틴, 베타카로틴 및 루테인+시아잔틴을 분석한 선행연구에서도 다양한 함량을 나타낸다고 보고하였다(Murkovic 등 2002). 특히, 본 연구진의 결과에서는 알파카로틴이 늙은 호박에서만 검출되었으나, Murkovic 등(2002)의 논문에서는

Table 3. The contents of carotenoids in general vegetables except green leaf vegetable

(Unit: $\mu\text{g}/100\text{ g}$)

Sample	α -Carotene	β -Carotene	β -Cryptoxanthin
Old pumpkin (<i>Cucurbita moschata</i> Duch.)	460.17±22.62	852.92±27.00	ND
Squash (<i>C. moschata</i>)	ND	220.32±0.09	ND
Sweet pumpkin (<i>C. maxima</i> Duchesne)	ND	1,437.67±13.85	ND
Zucchini (<i>C. pepo</i>)	ND	1,287.58±37.75	ND
<i>Aralia elata</i>	ND	757.66±0.97	276.22±4.92
Eggplant (<i>Solanum melongena</i> L.)	ND	242.92±2.07	ND
Japanese ginger (<i>Zingiber mioga</i>)	ND	214.06±1.69	ND
Water melon (<i>Citrullus lanatus</i>)	ND	557.31±37.95	315.49±15.60
Oriental melon (<i>Cucumis melo</i> L.)	ND	ND	ND
Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	ND	ND	ND
Bitter melon (<i>Momordica charantia</i> L.)	ND	ND	ND
Altari radish root (<i>Raphanus sativus</i>)	ND	ND	ND
Korean radish root (<i>R. sativus</i>)	ND	ND	ND
Cabbage (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	ND	ND	ND
Yacon (<i>Polymnia sonchifolia</i>)	ND	ND	ND
Mungbean sprouts (<i>Vigna radiata</i> L.)	ND	ND	ND
White dadagi cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L.)	ND	ND	106.55±1.47
Chichung cucumber (<i>C. sativus</i> L.)	ND	ND	ND
Garlic (<i>Allium sativum</i>)	ND	ND	ND
Lettuce (<i>Lactuca sativa</i> L.)	ND	ND	281.45±8.18

All values represent mean±S.D.

ND: not detection.

0~7,500 µg/100 g 함량을 보여 품종별로 다양한 함량을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, 애호박의 베타카로틴(220.32 µg/100 g)은 일본 문부성(MEXT)에서는 310 µg/100 g, 국내 식품 분석표(RDA)에서는 270 µg/100 g으로 나타났다.

가지(Eggplant, *Solanum melongena* L.)의 베타카로틴 함량은 242.92 µg/100 g으로 미국 농무부(USDA) 분석인 14 µg/100 g보다 약 17배, RDA와는 52 µg/100 g으로 약 5배 높게 검출되었다. 양하의 베타카로틴은 214.06 µg/100 g으로 RDA 170 µg/100 g와 큰 차이가 없었으나, MEXT 측정값인 27 µg/100 g 보다는 훨씬 높게 검출되었다. 수박 빨간색의 가식부위(water melon, *Citrullus lanatus*)에는 베타카로틴 557.31 µg/100 g 및 베타크립토탄틴 315.49 µg/100 g이 분석되었는데, USDA에서는 베타카로틴 303 µg/100 g 및 베타크립토탄틴 78 µg/100 g으로 검출되어 본 연구진의 분석결과보다는 다소 낮게 검출되었고, RDA에서는 베타카로틴이 835 µg/100 g, MEXT에서는 830 µg/100 g으로 본 연구보다는 다소 높게 측정되었다. 알타리무(altari radish root, *Raphanus sativus*)와 조선무(Korean radish root, *Raphanus sativus*)의 뿌리에는 어떤 카로티노이드도 검출되지 않았고, USDA에서도 oriental radishes(raw) 시료의 경우 세가지 카로티노이드 모두 검출되지 않았다. 오이의 경우는 상이한 결과가 나타났는데, 본 연구에서는 백다다기오이(white dadagi cucumber, *Cucumis sativus* L.)의 경우 베타크립토탄틴만 106.55 µg/100 g으로 검출되고,

취청오이(Chichung cucumber, *Cucumis sativus* L.)의 경우는 검출되지 않았지만, USDA의 데이터는 껍질이 있는 오이 및 없는 오이에서 세가지 카로티노이드가 검출되었고, 특히 껍질이 있는 오이(cucumber with peel, raw)의 경우 베타카로틴 45, 알파카로틴 11 및 베타크립토탄틴 26 µg/100 g이 각각 분석되어 본 연구진의 분석결과와는 차이가 있었다. 또한 RDA에는 백다다기오이 61, 취청오이 184 µg/100 g으로 베타카로틴이 검출되어 오이의 품종 및 지역에 따라서 다양한 함량의 차이를 보임을 알 수 있었다. 그 외에 양배추(cabbage, *Brassica oleracea* var. *capitata*), 야콘(yacon, *Polymnia sonchifolia*), 숙주(mungbean sprouts, *Vigna radiata* L.), 마늘(garlic, *Allium sativum*) 등에서는 3종류의 카로티노이드가 검출되지 않았다.

4. 과일류의 카로티노이드 함량

과일류 카로티노이드 함량은 검화법을 이용해 총 15종을 분석하였고, 그 결과를 Table 4로 나타내었다. 과일류의 베타카로틴 함량 범위는 165.72~3,997.39 µg/100 g으로 애플망고(apple mango, *Mangifera indica* L.)에서 최대값이, 단감(persimmon, *Diospyros kaki*)에서 최소값이 나타났다. 백향과(passion fruit, *Passiflora edulis*)는 베타카로틴이 861.09 µg/100 g으로서 다소 높게 검출되었는데, 특히 15종 중 유일하게 베타크립토탄틴이 232.22 µg/100 g의 함량으로 검출되었다. 백향과의 경우 RDA 698 µg/100 g 및 USDA 743 µg/100 g과 유사한 결과를

Table 4. The content of carotenoids in fruits

(Unit: µg/100 g)

Sample	α-Carotene	β-Carotene	β-Cryptoxanthin
Passion fruit (<i>Passiflora edulis</i>)	ND	861.09±59.28	232.22±7.98
Gold kiwifruit (<i>Actinidia chinensis</i>)	ND	213.53±3.18	ND
Green kiwifruit (<i>A. deliciosa</i>)	ND	220.84±1.71	ND
Plum (<i>Prunus salicina</i> Formosa)	ND	396.09±1.70	ND
Plum (<i>P. salicina</i> Lindl. cv. Soldam)	ND	380.43±0.60	ND
Blackberry (<i>Rubus fruticosus</i>)	ND	455.43±8.58	ND
Blackcurrant (<i>Ribes nigrum</i> L.)	ND	430.89±1.16	ND
Persimmon (<i>Diospyros kaki</i>)	ND	165.72±1.74	ND
Bansi (<i>D. kaki</i>)	ND	208.06±11.18	ND
Soft persimmon (<i>D. kaki</i>)	ND	188.56±0.45	ND
Apple (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	ND	ND	ND
Cherry (<i>Prunus pauciflora</i> Bunge)	ND	ND	ND
Fig (<i>Ficus carica</i> L.)	ND	ND	ND
Darae (<i>Actinidia arguta</i> Planch.)	77.25±1.01	646.13±3.64	ND
Apple mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	ND	3,997.39±62.33	ND

All values represent mean±S.D.

ND: not detection.

보였고, 특히 USDA 자료에는 베타크립토잔틴이 41 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 이 있다고 보고해 본 연구와 경향성은 있었으나 그 함량이 약 6배 이상 차이가 났다.

키위의 베타카로틴은 골드키위(gold kiwifruit, *Actinidia chinensis*) 213.53 $\mu\text{g}/100\text{g}$, 그린키위(green kiwifruit, *Actinidia deliciosa*) 220.84 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 품종은 다르지만 유사한 값을 나타냈다. 골드키위의 경우 RDA에는 46 및 MEXT 38 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 이 검출되었고, 본 연구진이 분석한 선행연구(Eom 등 2019)에서는 골드키위가 7.29 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 검출되어 키위의 재배 시기와 품종 등에 따른 차이가 나타났다.

자두의 베타카로틴은 후무사(plum, *Prunus salicina* Formosa)와 피자두(plum, *Prunus salicina* Lindl. cv. Soldam) 각각 396.09, 380.43 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 품종은 다르지만 유사한 값을 나타냈다. USDA에는 베타카로틴과 베타크립토잔틴이 190, 35 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 이 있다고 보고하였다. 또한 MEXT에서는 자두(Japanese plums, raw)에서 베타카로틴과 베타크립토잔틴이 각각 76 및 6 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되었고, 또 다른 자두품종(European plums, raw)에서는 베타카로틴과 베타크립토잔틴이 각각 450 및 546 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되었다고 보고하여 European종의 품종과 유사한 베타카로틴 함량을 나타냈지만, 베타크립토잔틴은 검출되지 않아 카로티노이드 종류가 다르게 검출되었다.

베리류 중 특히 항산화물질이 풍부하다고 알려진 블랙베리(blackberry, *Rubus fruticosus*)와 비타민 C 함량이 풍부한 블랙커런트(blackcurrant, *Ribes nigrum* L.)(Okatan V 2020)의 베타카로틴 함량은 블랙베리가 455.43, 블랙커런트 430.89, $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되어 다소 높은 함량이 검출되었다. 블랙베리의 경우 RDA 식품분석표에는 100 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 및 USDA 128 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 에 비해 높은 함량이 검출되었고, 블랙커런트는 베타카로틴의 대한 정보가 없었다. Marinova와 Ribarova(2007)의 연구진이 불가리아 국가성분표를 위해 분석한 불가리아산 몇 종의 베리류 중 블랙베리는 101.4, 블랙커런트가 61.6 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 이 검출되어 국내 생산 베리류에서 다소 높은 베타카로틴이 검출되어 품종간, 지역간 함량의 차이를 나타냈다.

감의 경우는 건조한 상태나 숙성된 정도에 따라 크게 3가지 형태로 국내에서 상용되고 있는데, 단감, 반시(bansi, *Diospyros kaki*) 및 홍시(soft persimmon, *Diospyros kaki*)의 베타카로틴의 함량이 각각 165.72, 208.06 및 188.56 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되었다. USDA의 감(Japanese, raw)에는 베타카로틴과 베타크립토잔틴이 각각 253 및 1,450 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되어 베타카로틴 함량은 유사하였으나, 본 연구에서는 검출되지 않은 베타크립토잔틴이 다량 검출되어 상이한 결과를 나타냈다. 또한 MEXT 자료에서는 알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토잔틴이 각각 17, 160 및 500 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되어 본 연구와 베타카로틴 함량은 유사하였으나, 다른 카로티노

이드류에서는 상이한 결과가 나타나 좀더 세밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사과(apple, *Malus domestica* Borkh.), 체리(cherry, *Prunus pauciflora* Bunge) 및 무화과(fig, *Ficus carica* L.)에서는 베타카로틴 뿐만 아니라 나머지 두 종의 카로티노이드도 전혀 검출되지 않았으며, 다래(*Actinidia arguta* Planch)에서는 과일 중 유일하게 알파카로틴이 77.25 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 검출되었다. 마지막으로 망고 중 Irwin 품종인 애플망고(An 등 2015)는 국내에서 많이 섭취하고 있으며, 특히 베타카로틴이 3,997.39 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 검출되어 과일 중 카로티노이드가 다량 함유되어 카로티노이드의 중요한 급원식품으로 사용할 수 있을 것이라고 예상된다.

요약 및 결론

본 연구는 우리나라 국민의 대다수가 비타민 A의 급원식품으로 동물성(레티놀) 형태보다는 식물성(카로티노이드) 형태로 섭취하고 있어, 식물성 카로티노이드 함량에 대한 데이터베이스 구축을 하고자, 체내에 흡수되었을 때 비타민 A로 전환되는 알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토잔틴 3종의 카로티노이드의 함량을 분석하여 신뢰도 있는 데이터를 제공하고자 하였다. 국민이 상용하는 농산물 또는 농가에서 재배되는 작물들을 위주로 영양부추와 같은 잎을 포함하는 엽채류 16종, 엽채류를 제외하고 호박과 같은 채소류 20종, 백향과 등의 과일 15종에 채소류 20종 총 51종을 선정하여 분석한 결과, 16종 엽채류에서는 베타카로틴이 958.97~5,924.07 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 범위를 보였고, 알파카로틴과 베타크립토잔틴은 검출되지 않았다. 베타카로틴이 가장 많이 검출된 것은 고수(5,924.07 $\mu\text{g}/100\text{g}$), 다음으로 계갈무 잎(5,855.72 $\mu\text{g}/100\text{g}$), 아욱(5,138.01 $\mu\text{g}/100\text{g}$) 및 머위(5,022.25 $\mu\text{g}/100\text{g}$) 순으로 상당히 높은 함량을 포함하고 있어 카로티노이드의 중요 급원식품으로 사용할 수 있을 것이라고 예상된다. 다음으로 엽채류를 제외한 채소류에서 베타카로틴의 경우 호박을 포함하여 8종에서 214.06~1,437.67 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 검출되었다. 알파카로틴은 늙은 호박에서만 460.17 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 검출되었고, 참두릅, 수박, 백다다기오이 및 양상추에서만 베타크립토잔틴이 106.55~315.49 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 범위로 검출되었으며, 참외, 감자 등 10종에서는 어떤 카로티노이드도 검출되지 않았다. 마지막으로 과일류의 베타카로틴 함량 범위는 165.72~3,997.39 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 으로 애플망고에서 최대값이, 단감에서 최소값이 나타났다. 백향과는 15종 과일 중 유일하게 베타크립토잔틴이 232.22 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 검출되었고, 다래에서는 유일하게 알파카로틴(77.25 $\mu\text{g}/100\text{g}$)이 검출되었다. 사과, 체리 및 무화과에서는 3종의 카로티노이드가 전혀 검출되지 않았다. 따라서 본

연구에서는 국내에서 많이 소비되거나 재배되는 농식품 자원이 가지고 있는 카로티노이드(알파카로틴, 베타카로틴 및 베타크립토포잔틴)를 분석하였고, 전반적으로 채소류 및 과일류보다는 엽채류에 높은 베타카로틴을 함유하는 것으로 분석되었고, 이런 결과들은 국내에서 재배되는 농산물을 가지고 있는 카로티노이드의 기초 데이터로 이용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 PJ01453707)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- An MR, Keum YS, Lee SK. 2015. Analysis of volatile flavor compounds in Jeju apple mango by using different extraction method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:775-783
- Eom HJ, Jeong YY, Kwon NR, Kim KH, Yeon E, Yoon HS, Ryu Y, Kim IJ. 2021. Nutritional components and physiological activity of 4 wild vegetables (*Salvia plebeia* R. Br, *Angelica acutiloba*, *Gynura procumbens* and *Saururus chinensis* Baill) cultivated in Chungbuk province. *Korean J Food Nutr* 34:398-406
- Eom HJ, Kang HJ, Yoon HS, Kwon NR, Kim Y, Hong ST, Park J, Lee J. 2019. A study on contents of beta-carotene in local agricultural products. *Korean J Food Nutr* 32:335-341
- Gilbert C. 2013. The eye signs of vitamin A deficiency. *Community Eye Health* 26:66-67
- Hix LM, Lockwood SF, Bertram JS. 2004. Bioactive carotenoids: Potent antioxidants and regulators of gene expression. *Redox Rep* 9:181-191
- Hwang IK, Kim JW, Byun JW, Han JS, Kim SH, Park CK. 2010. Essential Food Science. pp.162-164. Suhagsa
- Hwang KH, Shin JA, Lee KT. 2016. True retention and β -carotene contents in 22 blanched vegetables. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45:990-995
- Kim HY, Kim H, Chun J, Chung H. 2017. Changes in β -carotene, vitamin E, and folate compositions and retention rates of pepper and paprika by color and cooking method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:713-720
- Kim SA, Jun S, Joung H. 2016. Estimated dietary intake of vitamin A in Korean adults: Based on the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2007~2012. *J Nutr Health* 49:258-268
- Kim Y. 2016. Recommended intake and dietary intake of vitamin A for Koreans by unit of retinol activity equivalent. *Korean J Community Nutr* 21:344-353
- Korea Food and Drug Administration [KFDA]. 2011. NLS Standard Operating Procedure Analytical Methods. pp. 5-27. Korea Food and Drug Administration
- Leong SY, Oey I. 2012. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. *Food Chem* 133:1577-1587
- Maoka T. 2020. Carotenoids as natural functional pigments. *J Nat Med* 74:1-16
- Marinova D, Ribarova F. 2007. HPLC determination of carotenoids in Bulgarian berries. *J Food Compos Anal* 20:370-374
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology [MEXT]. 2015. Standard Tables of Food Composition in Japan. 7th ed. Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology
- Murkovic M, Mülleder U, Neunteufl H. 2002. Carotenoid content in different varieties of pumpkins. *J Food Compos Anal* 15:633-638
- National Institutes of Health. 2022. Vitamin A and carotenoids. Available from <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminA-HealthProfessional/> [cited 15 June 2022]
- Okatan V. 2020. Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated berry species: A comparative study. *Folia Horti* 32:79-85
- Olmedilla-Alonso B, Rodríguez-Rodríguez E, Beltrán-de-Miguel B, Estévez-Santiago R. 2020. Dietary β -cryptoxanthin and α -carotene have greater apparent bioavailability than β -carotene in subjects from countries with different dietary patterns. *Nutrients* 12:2639
- Park SH, Song W, Chun J. 2018. Analyses of cholesterol, retinol, β -carotene, and vitamin E contents in regional food of South Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47:429-439
- Raju M, Varakumar S, Lakshminarayana R, Krishnakantha TP, Baskaran V. 2007. Carotenoid composition and vitamin A activity of medicinally important green leafy vegetables. *Food Chem* 101:1598-1605
- Rural Development Administration [RDA]. 2016. Korean Food Composition Table. 9th ed. II pp. 1-593. Rural Development Administration
- Sauberlich HE, Hodges RE, Wallace DL, Kolder H, Canham JE, Hood J, Raica N Jr, Lowry LK. 1975. Vitamin A

metabolism and requirements in the human studied with the use of labeled retinol. *Vitam Horm* 32:251-275

Shin JA, Choi Y, Lee KT. 2015. β -Carotene content in selected agricultural foods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:418-424

United States Department of Agriculture [USDA], Agricultural Research Service. 2022. USDA food and nutrient database for dietary studies 2017-2018. Available from <https://>

ars.usda.gov/nea/bhnrc/fsrg [cited 14 August 2022]

Weber D, Grune T. 2012. The contribution of β -carotene to vitamin A supply of humans. *Mol Nutr Food Res* 56: 251-258

Received 17 August, 2022
Revised 05 September, 2022
Accepted 18 September, 2022