

국내산 파프리카의 색상별 phytochemical 및 항산화능 비교

김지선^{1,2} · 안지윤² · 하태열² · 이한철³ · 김선아^{1*}

¹한국방송통신대학교 가정학과, ²한국식품연구원 대사기능연구본부,
³농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예시험장

Comparison of Phytochemical and Antioxidant Activities in Different Color Stages and Varieties of Paprika Harvested in Korea

Ji-Sun Kim^{1,2}, Jiyun Ahn², Tae-Youl Ha², Han-Cheol Rhee³, and Suna Kim^{1*}

¹Food and Nutrition in Home Economics, College of Natural Sciences, Korea National Open University

²Emerging Innovative Technology Division, Korea Food Research Institute

³Protected Horticulture Research Station, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration

Abstract This study qualitatively and quantitatively analyzed various carotenoids, L-ascorbic acid, and tocopherol and their anti-oxidant properties from four varieties (Special, Chelsea, Cupra, and Fiesta) and three different color stages [green (GP), yellow (YP) and red (RP)] of paprika harvested in Korea. Seven carotenoids were identified, mainly lutein in GP (Special: 4.65±0.84 mg/kg fresh weight (fw)) and YP (Fiesta: 5.19±0.05 mg/kg fw), and capsorubin (3.16±0.35 mg/kg fw) and capsanthin (53.70±6.23 mg/kg fw) in Special of RP. RP was the highest in total carotenoids, L-ascorbic acid, and α-tocopherol contents, while GP was the highest in γ-tocopherol content. RP showed the strongest antioxidant activity (IC₅₀=62.40±0.03 μg/mL in an ABTS assay and 182.77±31.74 μg/mL in a DPPH assay). Paprika in different color stages has many phytochemicals even though they have different kinds of carotenoids. Therefore, dietary intake of paprika may be helpful for improving human health.

Keywords: paprika, carotenoids, L-ascorbic acid, tocopherol, antioxidative activity

서 론

파프리카는 대형과의 단고추로서 학명은 *Capsicum annuum* L.이며, 유럽에서는 sweet pepper, pimento, paprika 등으로 부르고 있다. 우리나라에서는 착색이 완료되어 150-200 g의 bell type을 가지는 대과종을 구분하여 파프리카라고 부른다(1). 파프리카는 미성숙과일 때에는 녹색과의 형태를 지니다가 과실이 익어감에 따라 적색과로 색이 변하는데, 과실의 품종에 따라 적색, 황색, 주황색, 녹색, 가지색 등 다양한 색을 가지고 있으며 매운맛이 별로 없고, 단맛이 나기 때문에 샐러드나 구색 채소로 주로 이용된다(2,3). 파프리카는 최근 carotenoids, ascorbic acid, tocopherol, phenolic compounds와 같은 다양한 phytochemical의 좋은 공급원이라는 점이 부각되어 그 소비가 크게 증가하고 있으며, 지속되는 수출 증가로 인해 국내에서는 고소득 작물로 각광받고 있다(3-7). 파프리카는 색상별로 다양한 색소 성분과 그 효능이 보고되고 있는데, β-carotene은 눈 건강 및 압 예방 효과(8,9), lutein과 zeaxanthin은 노인성 황반변증과 초기 동맥경화 예방 효과(10,11),

capsanthin은 동맥경화 및 심장질환의 위험 감소 효과(12,13) 등이 보고되고 있다. Carotenoids의 구조상 특징 중 하나인 이중결합은 산화반응을 종결하고 낮은 산소압에서도 과산화물과 free radical로 인해 조직이 손상되는 것을 보호해준다(13,14). 특히 capsanthin은 capsorubin과 더불어 적색과에 많이 함유되어 있는 carotenoid로 구조 내 3-hydroxy-κ-end group은 활성산소(ROS) 중의 하나인 singlet oxygen에 대해 강력한 quenching activity를 가지며 free radical에 의한 지질 과산화물을 생성한다(15,16).

파프리카의 vitamin C와 E는 중요한 항산화성 물질로서 β-carotene과 함께 활성산소에 의한 세포 내 DNA 손상을 막는다고 보고되고 있다(17). Tocopherol 중 α-tocopherol은 산화적 손상으로부터 세포막을 보호하는 가장 중요한 지용성 항산화 물질로 널리 알려져 있다(18). 또한 γ-tocopherol은 항암효과를 나타내며(19) 역학연구를 통해 심혈관 질환의 위험성을 낮춘다고 보고되었다(20).

소비와 수출이 증가함에 따라 파프리카를 이용한 여러 연구가 진행되고 있으나 국내산 파프리카를 이용한 품종과 그 색상에 따른 성분 분석 및 항산화능 연구는 그리 많이 되어 있지 않으며, 특히 국내산 파프리카의 색상별 carotenoids 성분 분석 및 비교 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 녹색과, 황색과, 적색과 파프리카 중 국내에서 이용되고 있는 품종을 수집하여 색상별 다양한 carotenoids의 조성과 함량을 분석하였다. 동시에 L-ascorbic acid와 α-, γ-tocopherol 함량 분석 및 파프리카의 색상별 항산화능을 측정하여, 파프리카 색상별 특성과 항산화능을 비교하고자 하였다.

*Corresponding author: Suna Kim, Food and Nutrition in Home Economics, College of Natural Sciences, Korea National Open University, Seoul 110-791, Korea
Tel.: 82-2-3668-4771
Fax: 82-2-3668-4188
E-mail: ksuna7@knou.ac.kr
Received May 27, 2011; revised August 1, 2011;
accepted August 4, 2011

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용한 파프리카는 2008년 8월에 수확한 것으로 녹색과(GP) 2종(Cupra, Special), 황색과(YP) 2종(Fiesta, Chelcy), 적색과(RP) 2종(Cupra, Special)을 (주)농산무역(Gimje, Jeonbuk)에서 제공받았다. 화학 성분 분석 및 항산화능을 평가하기 위하여 모든 10 kg의 파프리카 샘플을 비가식부위인 씨와 꼭지를 제거한 후 동결 건조하여 실험에 사용하였다. 분석은 펌프(PU-2089), 자동샘플분석기(AS-2055), UV 검출기(UV-2075), 컬럼오븐(CO-2065) 및 Bowin software(Version 1.50)로 구성된 Jasco사(Jasco, Tyoko, Japan)의 고속액체크로마토그래피(HPLC)를 사용하였다. 항산화능은 UV/VIS 분광광도계(Jasco)를 사용하여 측정하였다.

시약

Carotenoids의 분석에 사용되는 capsorubin, violaxanthin, capsanthin, lutein, zeaxanthin, β -cryptoxanthin, β -carotene은 ChromaDex Inc.(CA, USA)로부터, α -, γ -tocopherol, L-ascorbic acid는 Sigma Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. HPLC용 아세토니트릴과 메탄올, 아세톤은 Burdick & Jackson(SK Chemicals, Ulsan, Korea)에서 구입하여 사용하였으며, 증류수는 Simplicity Water Purification System(Millipore Corporation, Billerica, MA, USA)을 이용하여 18.2 m Ω 수준으로 정제된 것을 사용하였다. 그 외 다른 일반 시약은 Sigma Co.에서 구입하여 사용하였다.

Carotenoids 분석

Carotenoids 분석을 위한 전처리 조건은 다음과 같다. 색상별 파프리카의 시료(2 g)의 색이 다 빠질 때까지 아세톤(30 mL)으로 추출한 후 그 아세톤 추출액 10 mL을 30% KOH/MeOH 2 mL과 혼합하여 빛을 차단한 37°C incubator에서 18시간 동안 검화시켜 그 검화물을 diethylether로 3회 이상 추출하였다. 추출액 중 수분을 제거하기 위해 증류수 20 mL로 3회 반복 첨가 후 10% NaCl 10 mL을 첨가하여 충분히 방치하여 층 분리를 시킨 후 하층액을 회수하였다. 회수된 하층액에 2% Na₂SO₄ 10 mL를 3회 이상 반복 첨가하여 diethylether층을 회수하였다. 회수된 diethylether는 감압 농축한 후 남은 잔여물을 아세톤 10 mL에 녹여 분석에 사용하였다. Carotenoids 분석에 사용된 HPLC 분석 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. HPLC conditions for carotenoids analysis in paprika (*Capsicum annuum* L.)

Column	XTerra RP C18 column (250×4.6 mm, 5 μ m; Waters, Milford, MA, USA)
Mobile phase	A; 15% H ₂ O/CH ₃ OH, v/v B; 50% CH ₃ COCH ₃ /CH ₃ OH, v/v
Gradient program	at 0 min 100% A; at 20 min 55% A; at 26 min 100% A; at 33 min 0% A; at 42 min 100% A; at 45 min 100% A
Flow rate	1.5 mL/min
UV Wavelength	450 nm
Oven temperature	35°C
Injection volume	20 μ L

L-Ascorbic acid와 tocopherol 분석

L-Ascorbic acid 분석은 식품공전(21)에 있는 방법으로 수행하였다. 파프리카 시료 25 g과 4% 메타인산(v/v) 50 mL을 혼합하여 4°C에서 1시간 동안 혼합한 후 원심분리하여 0.45 μ m PVDF syringe filter(Whatman International Ltd., Maidstone, UK)로 여과하여 HPLC 분석용 시료로 사용하였다. L-Ascorbic acid 분석에 사용된 HPLC 분석 조건은 Table 2와 같다.

파프리카의 tocopherol 함량은 Markus 등(22)의 방법을 변형하여 분석하였다. 파프리카 시료 5 g과 메탄올 25 mL을 교반한 후 dichloroethane/MeOH(6 : 1, v/v) 70 mL을 넣어 4°C에서 30분 동안 방치하여 dichloroethane 층을 분리하였다. 잔류하는 수분을 2% Na₂SO₄를 첨가하여 제거하고 감압 농축하여 MeOH에 녹여 10 mL로 정용하였다. Tocopherol 분석에 사용된 HPLC 분석 조건은 Table 3과 같다.

항산화능 측정

항산화능 측정을 위한 전처리는 다음과 같다. 색상별로 구분한 파프리카 5 g를 80% 에탄올 50 mL을 사용하여 추출 및 여과하였으며 진공농축기로 감압 농축하여 에탄올층을 모두 제거한 후 시료로 80% 에탄올로 희석하여 사용하였다. ABTS radical 전자 공여 소거능은 Amao 등(23)의 방법을 이용하여 측정하였다. 2,2'-Azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS) 2.5 mM과 2,2'-azobis(2-amidino-propane) dihydrochloride(AAPH) 1.0 mM을 각각 150 mM NaCl이 포함된 100 mM phosphate-buffered saline (PBS, Gibco, Grand Island, NY, USA) 용액에 녹여 1 : 1로 혼합하고 68°C 항온수조에서 일정 시간 방치하여 ABTS⁺ 양이온을 형성시켜 743 nm에서 흡광도 값이 0.65±0.02가 되도록 조절한 후, 이 용액 900 μ L에 파프리카 건조시료의 에탄올 추출액 100 μ L를 가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후에 흡광도의 변화를 측정하였다. DPPH radical 전자 공여 소거능은 Brand-Williams 등(24)의 방법을 이용하여 측정하였다. 4×10⁻⁴ M 1,1-diphenyl-2-

Table 2. HPLC conditions for L-ascorbic acid analysis in paprika (*Capsicum annuum* L.)

Column	YMC-Pack Polyamine II (4.6×250 mm, 5 μ m; YMC Co., Kyoto, Japan)
Mobile phase	40 mM CH ₃ CN:50 nM NH ₄ H ₂ PO ₄ =7:3, v/v
Flow rate	1.0 mL/min
UV Wavelength	254 nm
Oven temperature	40°C
Injection volume	20 μ L

Table 3. HPLC conditions for tocopherol analysis in paprika (*Capsicum annuum* L.)

Column	YMC-Pack ODS-AM (4.6×250 mm, 5 μ m; Japan)
Mobile phase	100% CH ₃ OH
Flow rate	1.2 mL/min
UV Wavelength	292 nm
Oven temperature	25°C
Injection volume	20 μ L

picrylhydrazyl(DPPH) 메탄올 용액 980 μ L와 파프리카 시료 20 μ L를 혼합하여 상온에서 20분 동안 방치하여 525 nm에서 측정하였다. ABTS와 DPPH radical로 억제된 정도는 시료 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도 차이를 백분율(%)로 나타내었다.

$$(1 - (\text{시료의 흡광도} / \text{대조군의 흡광도})) \times 100$$

통계분석

모든 분석은 3회 이상 반복 수행하였고, 결과는 평균 \pm 표준편차(mean \pm SD)로 기술하였다. 각 실험 결과는 SAS 프로그램(Window Version 8.0; SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 one-way ANOVA와 Duncan's multiple-range test($p < 0.05$)로 비교하였으며, 50% 억제율(IC₅₀ value)은 SIGMA Plot(Windows Version 9.0; Systat Software Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 계산하였다.

결과 및 고찰

Carotenoids 함량의 비교

파프리카에서 색상별, 품종별 carotenoids 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 파프리카에서 검출된 carotenoids는 GP에서 4종, YP에서 5-7종, RP에서 7종이 분석되었다. 총 carotenoids 함량은 GP의 Cupra와 Special 품종이 각각 7.33 \pm 0.26과 7.79 \pm 1.06 mg/kg fw(fresh weight), YP의 Chelsea와 Fiesta 품종이 각각 8.28 \pm 0.64와 9.45 \pm 0.15 mg/kg fw, RP의 Cupra와 Special 품종이 각각 31.20 \pm 6.18과 63.92 \pm 6.77 mg/kg fw가 검출되었으며, RP의 Special 품종의 총 carotenoids의 함량이 다른 파프리카보다 유의하게 높았다. Lutein은 모든 색상의 파프리카에서 검출되었고 그 함량은 GP의 Special 품종과 YP의 Fiesta 품종에서 각각 4.65 \pm 0.84와 5.19 \pm 0.05 mg/kg fw로 다른 것에 비해 유의하게 높았다. 선행 연구 결과 녹색 파프리카에는 lutein 뿐만 아니라 chlorophyll의 함량도 높은 것으로 나타나, 파프리카의 색을 결정하는데 carotenoids가 아닌 chlorophyll이 영향을 주었음을 알 수 있었다(7). 본 연구에서도 황색을 나타내는 lutein 함량이 GP와 YP 간 통계적 차이가 없음에도 불구하고 다른 색을 띄는 까닭은 GP에 함유되어 있는 chlorophyll 때문으로 사료된다. 황색을 나타내는 β -carotene은 2.90 \pm 0.20-4.19 \pm 0.18 mg/kg fw로 모든 파프리카에서 검출되었으며, RP에서 그 함량이 다른 파프리카에 비해 유의하게 높았다. 적색을 나타내는 capsorubin과 capsanthin은 GP의 모든 품종과 YP의 Fiesta 품종에서는 검출되지 않았으며, YP의 Chelsea와 RP의

Cupra와 Special에서 검출되었다. RP의 Cupra와 Special 품종의 capsorubin과 capsanthin 함량은 총 carotenoids의 80-90%를 차지할 정도의 많은 양을 함유하고 있었으며, 특히, Special 종은 Cupra 종에 비하여 capsorubin과 capsanthin의 함량이 2배 정도로 많이 함유되어 있어 동일 색상 내에서도 품종별 색소의 발현 정도에 차이가 있음을 carotenoids 색소의 각 종류별 함량 변화를 통하여 확인하였다. Matsufuji 등(25)은 적색 파프리카 중 Signal 품종에서 capsanthin과 β -carotene 함량이 각각 4.19와 0.36 mg/100 g fw라고 보고하여, 본 결과와 비슷한 결과를 보였다. 일반적으로 파프리카는 과실이 익어감에 따라 그 색이 변화하는 것으로 잘 알려져 있으며, 그 변화하는 색상에 따라 함유하고 있는 carotenoids의 종류와 함량이 달라진다(7,26). 파프리카에서 색상별 carotenoids 함량을 비교 분석한 이전 연구에서도 녹색과보다 적색과의 carotenoids 함량이 6배 많았으며, 이는 적색과에 들어있는 capsanthin의 함량 때문으로 보고하였다(2,7). 본 연구에서 녹색과, 황색과, 적색과의 carotenoids 성분 및 그 함량을 분석 비교한 결과 각 과실 색상에 따른 carotenoids의 성분 및 분포가 달랐으며, 함량 또한 차이가 있음을 알 수 있었다. 각 carotenoids의 기능적 특징을 비추어 볼 때, 파프리카는 좋은 기능성 식품의 소재가 될 수 있을 것으로 사료된다.

L-Ascorbic acid와 tocopherol 함량의 비교

파프리카의 색상별 품종별 L-ascorbic acid와 tocopherol의 함량을 HPLC를 이용하여 측정된 결과는 Table 5와 같다. L-Ascorbic acid 함량은 GP의 Cupra 품종이 65.24 \pm 1.46 mg/100 g fw으로 가장 낮았으며, RP의 Special 품종이 182.94 \pm 3.13 mg/100 g fw으로 가장 높았다. Choi(27)는 국내산 고추를 이용한 L-ascorbic acid 연구에서 파리고추, 홍고추, 풋고추에서 그 함량은 각각 71.58 \pm 14.24와 191.70 \pm 7.92, 84.07 \pm 9.66 mg/100 g fw라고 보고하였으며, Kye 등(28)의 연구에서는 풋고추의 L-ascorbic acid 함량을 각 63.35 \pm 1.95 mg/100 g fw 수준으로 보고하여, 파프리카의 L-ascorbic acid 함량은 고추와 유사하거나 높음을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과, 파프리카는 vitamin C의 좋은 공급원이며, 매운 맛이 적고 단맛이 많으며 다양한 색상을 가지는 파프리카의 특성상 샐러드 같이 파프리카를 생으로 섭취한다면 손쉽게 vitamin C를 섭취할 수 있을 것이라 사료된다.

파프리카의 tocopherol 함량을 분석하기 위하여 α , β , γ , δ 형태의 tocopherol을 분리하였으며, 선행 연구 시, 파프리카의 과실에서는 α , γ -tocopherol이, 잎에서는 α , γ , δ -tocopherol이 검출되었으며, β -tocopherol은 검출되지 않았다(7). 색상별 파프리카의 toco-

Table 4. Qualitative and quantitative analysis of carotenoids in different color stages and varieties of paprika (*Capsicum annuum* L.) harvested in Korea^{1,2)}

Color ³⁾	Variety	Carotenoids (mg/kg fw)							Total
		Capsorubin	Violaxanthin	Capsanthin	Lutein	Zeaxanthin	β -cryptoxanthin	β -carotene	
GP	Cupra	ND ⁴⁾	0.07 \pm 0.00 ^{cd}	ND	2.97 \pm 0.08 ^{bc}	ND	0.88 \pm 0.11 ^a	3.42 \pm 0.18 ^{ab}	7.33 \pm 0.26 ^c
	Special	ND	0.04 \pm 0.01 ^{dc}	ND	4.65 \pm 0.84 ^a	ND	0.19 \pm 0.05 ^c	2.90 \pm 0.20 ^b	7.79 \pm 1.06 ^c
YP	Chelsea	0.12 \pm 0.02 ^c	0.10 \pm 0.01 ^{bc}	1.56 \pm 0.09 ^c	3.36 \pm 0.50 ^b	0.01 \pm 0.01 ^c	0.07 \pm 0.02 ^c	3.06 \pm 0.22 ^b	8.28 \pm 0.64 ^c
	Fiesta	0.15 \pm 0.01 ^c	0.32 \pm 0.00 ^a	ND	5.19 \pm 0.05 ^a	ND	0.17 \pm 0.08 ^c	3.62 \pm 0.15 ^{ab}	9.45 \pm 0.15 ^c
RP	Cupra	1.16 \pm 0.02 ^b	0.14 \pm 0.05 ^b	23.53 \pm 4.27 ^b	2.11 \pm 1.02 ^c	0.06 \pm 0.02 ^b	0.17 \pm 0.07 ^c	4.04 \pm 1.18 ^a	31.20 \pm 6.18 ^b
	Special	3.16 \pm 0.35 ^a	0.01 \pm 0.00 ^c	53.70 \pm 6.23 ^a	2.23 \pm 0.01 ^c	0.17 \pm 0.05 ^a	0.48 \pm 0.17 ^b	4.19 \pm 0.18 ^a	63.92 \pm 6.77 ^a

¹⁾Each value was expressed as the mean \pm SD of triplicate assays.

²⁾Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

³⁾GP, green paprika; YP, yellow paprika; RP, red paprika

⁴⁾ND indicates not detected.

Table 5. Contents of ascorbic acid and tocopherol in different colors and varieties of paprika (*Capsicum annuum* L.) harvested in Korea^{1),2)}

Color ³⁾	Variety	L-Ascorbic acid (mg/100 g fw)	Tocopherol (mg/kg fw)		
			α	γ	Total
GP	Cupra	65.24±1.46 ^c	5.86±0.32 ^d	29.31±1.56 ^a	35.17±1.87 ^a
	Special	120.91±0.23 ^c	5.63±1.98 ^d	23.34±2.26 ^b	28.97±3.72 ^b
YP	Chelsea	95.97±0.06 ^d	10.18±0.71 ^c	0.30±0.02 ^c	10.48±0.71 ^c
	Fiesta	124.16±2.39 ^c	12.51±0.27 ^c	0.41±0.13 ^c	12.92±0.21 ^c
RP	Cupra	142.47±13.72 ^b	26.02±2.89 ^a	ND ⁴⁾	26.02±2.89 ^d
	Special	182.94±3.13 ^a	18.44±0.42 ^b	0.81±0.06 ^c	19.25±0.45 ^d

¹⁾Each value was expressed as the mean±SD of triplicate assays.
²⁾Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).
³⁾GP, green paprika; YP, yellow paprika; RP, red paprika
⁴⁾ND indicates not detected.

pherol을 분석한 결과 α-tocopherol과 γ-tocopherol이 검출되었다. 파프리카의 α-tocopherol은 RP의 Cupra 품종이 26.02±2.89 mg/kg fw로 다른 것이 비해 유의하게 높았으며, γ-tocopherol은 GP의 Cupra 품종이 29.31±1.56 mg/kg fw로 다른 것에 비해 가장 높았다. Ching과 Mohamed(29)의 연구에 의하면 적색 칠리고추가 녹색 칠리고추보다 훨씬 많은 양의 α-tocopherol을 함유하고 있다고 보고하고 있어 본 연구 결과와 같은 경향을 나타내었다. 이외에도 부추잎, 브로컬리, 당근에서 α-tocopherol의 함량이 각각 1.74±0.00, 2.95±0.10, 1.56±0.12 mg/100 g fw로 보고되고 있어, 파프리카의 α-tocopherol 함량이 높은 것을 확인할 수 있었다. 최근 γ-tocopherol은 항암 및 항염증 소재로 주목받고 있는데, Campbell 등(19)은 염증과 동맥경화 연구에 사용되는 SW480 세포주에서 PPARγ 매커니즘을 통한 γ-tocopherol의 항암 효과를 발표하였으며, Kontush 등(20)은 γ-tocopherol의 꾸준한 섭취는 심혈관 질환을 낮춰준다고 보고하였다. Wagner 등(30)은 γ-tocopherol의 주 공급원은 씨앗이나 견과류, 유지류라고 보고하였으며, 씨리얼이나 채소에서의 그 함량은 추출된 유지 100 g 당 0.3-80 mg이라고 하였다. Kim 등(31)은 국내산 풋고추에서 γ-tocopherol 함량이 0.01-0.33 mg/100 g fw라고 보고하였다. 이 외에도 시금치와 양상추에서 γ-tocopherol의 함량이 각각 2.78-4.18, 0.08-0.16 mg/100 g fw라고 보고하여, GP의 γ-tocopherol의 함량은 풋고추 및 양상추보다 높았으며, 시금치와 비슷한 수준을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 여러 연구 보고에서 시금치는 견과류를 제외한 녹색잎을 가지는 채소 중 가장 좋은 γ-tocopherol 공급원으로 알려져 있으며, 본 결과를 미루어 볼 때, 파프리카 녹색과는 채소 중 좋은 tocopherol의 공급원으로 사료된다.

파프리카 색상별 항산화능 비교

파프리카의 색상별 항산화능 비교를 위하여 ABTS와 DPPH radical 소거 활성을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 모든 색상의 시료 추출물에서 농도가 증가함에 따라 ABTS와 DPPH radical 소거 활성이 증가하는 것으로 나타났으며, 모든 농도에서 파프리카 추출물이 β-carotene보다 ABTS와 DPPH radical 소거 활성이 높게 나타났다. 시료 추출물 농도 125 µg/mL 첨가시 ABTS radical 소거 활성은 RP(77.01±10.63%) > YP(65.40±1.16%) > GP (51.75±9.36%) 순으로 나타났다(Fig. 1A). 시료 추출물 농도 250 µg/mL 첨가시 DPPH radical 소거 활성은 RP(64.87±4.95%) > YP(59.80±1.54%) > GP(35.01±6.51%) 순을 나타냈다(Fig. 1B). Navaro 등(32)은 고추의 숙성에 따른 항산화능을 ABTS로 측정된 결과 고추의 친수성과 친유성을 가지는 모든 부위에서 숙성

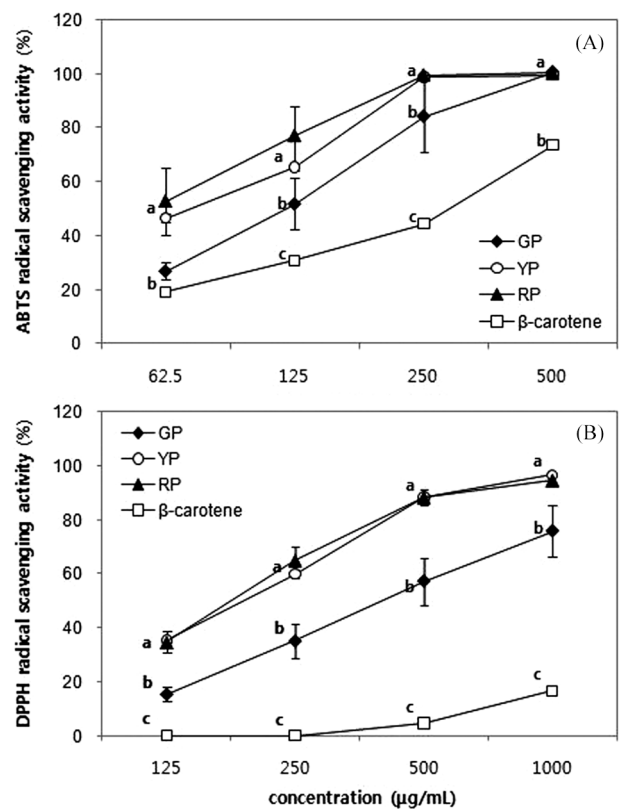


Fig. 1. ABTS and DPPH radical scavenging activity of various colors of paprika. (A) ABTS 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) and (B) DPPH (2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activities of various colors of paprika.

이 진행될수록 항산화능이 증가한다고 보고하였으며, 본 결과와 같은 경향을 나타내었다. 파프리카의 색상별 ABTS와 DPPH의 radical 소거능에 대한 각 추출물의 IC₅₀값은 Table 6과 같다. ABTS radical 소거능에 대한 RP와 YP 추출물의 IC₅₀값은 각각 62.40±0.03, 71.84±9.40 µg/mL를 나타냈고, DPPH radical 소거능에 대한 RP와 YP의 IC₅₀값이 각각 182.77±31.74, 191.18±7.15 µg/mL를 나타내어, GP 추출물의 ABTS와 DPPH radical 소거능에 대한 IC₅₀ 값인 134.84±31.88, 370.68±19.51 µg/mL보다 좋은 항산화능을 보였다. Subhasree 등(33)은 한약재 식물 중 항산화효과가 입증된 병풀(*Centella asiatica*)의 ABTS와 DPPH radical 소

Table 6. IC₅₀ value of ABTS and DPPH radical scavenging activities from paprika fruits extracts^{1,2)}

Color ³⁾	ABTS radical scavenging activity IC ₅₀ (μg/mL) ^{4,5)}	DPPH radical scavenging activity IC ₅₀ (μg/mL) ⁶⁾
GP	134.84±31.88 ^a	370.68±19.51 ^a
YP	71.84±9.40 ^b	191.18±7.15 ^b
RP	62.40±0.03 ^b	182.77±31.74 ^b

¹⁾Each value was expressed as the mean±SD of triplicate assays.

²⁾Different letters in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

³⁾GP, green paprika; YP, yellow paprika; RP, red paprika

⁴⁾ABTS indicates 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)

⁵⁾IC₅₀, inhibitory concentration 50% value

⁶⁾DPPH, 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl

거능에 대한 IC₅₀ 값이 각각 115, 200 μg/mL라고 보고하고 있어, 본 연구 결과와 비교하여 볼 때 RP 추출물의 항산화능은 매우 높은 수준으로 사료된다. 동일 품종 파프리카의 항산화능에 대한 이전 연구에서 적색과가 녹색과보다 높은 항산화능을 보였으며, 이는 적색과에 함유되어 있는 여러 phytochemical 중 L-ascorbic acid와의 관련성이 높다고 밝힌바 있다(7). Matsufuji 등(15)은 적색을 나타내는 carotenoid인 capsanthin이 β-carotene, lutein, zeaxanthin처럼 과산화물 생성을 억제한다고 하였으며, 다른 carotenoids 보다 비교적 천천히 분해되어 radical scavenging 효과를 더 길게 나타냄으로서 좋은 항산화 물질로 보고하였으며, Biacs 등(4)은 ascorbic acid와 tocopherol과 같은 항산화제가 식품 내에서 carotenoid 색소의 분해를 억제시킬 수 있다고 보고하였다. 본 실험결과에서 파프리카의 높은 radical 생성 억제 효과는 다양한 carotenoids와 함께 높은 함량의 L-ascorbic acid와 tocopherol이 함유되어 항산화능에 영향을 주었기 때문으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 파프리카(*Capsicum annuum* L.)의 색상별, 품종별 phytochemical들의 성분 분석 및 항산화 활성을 비교, 분석하고자 하였다. Phytochemical은 carotenoids, L-ascorbic acid, α, γ-tocopherol 함량을 측정하였으며, 항산화 활성은 ABTS와 DPPH radical 소거 활성을 측정하였다. 파프리카에서 7종의 carotenoids를 정성 및 정량 분석한 결과, lutein은 녹색과의 Special 품종과 황색과의 Fiesta 품종이 각각 4.65±0.84, 5.19±0.05 mg/kg fw로 다른 파프리카에 비해 그 함량이 높았다. 적색과의 Special 품종의 capsanthin 함량이 53.70±6.23 mg/kg fw로 다른 파프리카에 비해 많이 함유되어 있었으며, 총 carotenoids의 함량도 다른 파프리카보다 유의하게 높았다. L-Ascorbic acid는 녹색과에서 적색과로 갈수록 그 함량이 증가하는 양상을 나타내었다. Tocopherol의 함량은 10.48-35.17 mg/kg fw으로 나타났으며, 녹색과에서 그 함량이 높았다. γ-Tocopherol의 함량은 녹색과의 Cupra와 Special에서 각각 29.31±1.56, 23.34±2.26 mg/kg fw로 다른 두 색상에 비해 높은 함량을 나타내었으며, α-tocopherol은 적색과 Cupra 품종에서 26.02±2.89 mg/kg fw로 그 함량이 가장 높았다. 파프리카의 색상별 ABTS와 DPPH radical 소거활성을 살펴본 결과 추출물의 농도가 증가함에 따라 radical 소거활성이 증가하는 경향을 나타내었으며, 모든 색상의 파프리카 추출물이 β-carotene보다 그 활성이 높은 것을 확인할 수 있었다. 특히 적색과가 다른 색상의 파프리카에 비해 항산화능이 높았는데, 이는 적색과에 다량의 capsanthin, L-ascorbic acid, α-tocopherol과 같은 phytochemical들

이 함유되어 있어 항산화능이 높은 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립원예특작과학원의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

- Lee JW. Present condition of paprika cultivation and its prospects for export. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 14: 36-41 (2001)
- Simonne AH, Simonne EH, Eitenmiller RR, Mills HA, Green NR. Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually colored bell peppers (*Capsicum annuum* L.). J. Food Compos. Anal. 10: 299-311 (1997)
- Jeong CH, Ko WH, Cho JR, Ahn CG, Shim KH. Chemical components of Korean paprika according to cultivars. Korean J. Food Preserv. 13: 43-49 (2006)
- Biacs PA, Daoth HG, Huszka TT, Baics PK. Carotenoids and carotenoids esters from new cross cultivars of paprika. J. Agr. Food Chem. 41: 1864-1867 (1993)
- Ittah Y, Kanner J, Granity R. Hydrolysis study of carotenoid pigments paprika by HPLC/photodiode array detection. J. Agr. Food Chem. 41: 899-901 (1993)
- Perez-Galvez A, Minguez-Mosquera I. Structure-relativity relationship in the oxidation of carotenoid pigments of the pepper (*Capsicum annuum* L.). J. Agr. Food Chem. 49: 4864-4869 (2001)
- Kim JS, Ahn J, Lee SJ, Moon BK, Ha TY, Kim S. Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (*Capsicum Annuum* L., var. Special) cultivated in Korea. J. Food Sci. 76: C193-C198 (2011)
- Colditz GA. β-Carotene and cancer. pp. 150-159. In: Quebe-deaux, Horticulture and human health: Contributions of fruits and vegetables. B. Bliss FA. (eds). ASHS Symposium Series No. 1, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA (1987)
- Craft NE, Wise SA. Individual carotenoid content of SRM 1548 total diet and influence of storage carotenoids. J. Agr. Food Chem. 41: 208-213 (1993)
- Seddon JM, Ajani UA, Sperduto RD, Hiller R, Blair N, Burton TC, Farber MD, Gragoudas ES, Haller J, Miller DT, Yannuzzi LA, Willet W. Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. J. Am. Med. Assoc. 272: 1413-1420 (1994)
- Dwyer JH, Navab M, Dwyer KM, Hassan K, Sun P, Shircore A, Hama-Levy S, Hough G, Wang X, Drake T, Merz CN, Fogelman AM. Oxygenated carotenoid lutein and progression of early atherosclerosis: The Los Angeles atherosclerosis study. Circulation 103: 2922-2927 (2001)
- Aizawa K, Inakuma T. Dietary capsanthin, the main carotenoid in paprika (*Capsicum annuum*), alters plasma high-density lipoprotein-cholesterol levels and hepatic gene expression in rats. Brit. J. Nutr. 102: 1760-176 (2009)
- Aizawa K, Matsumoto T, Inakuma T, Ishijima T, Nakai Y, Abe K, Amano F. Administration of tomato and paprika beverages modifies hepatic glucose and lipid metabolism in mice: A DNA microarray analysis. J. Agr. Food Chem. 57: 10964-10971 (2009)
- Bendich A. Symposium conclusions: Biological actions of carotenoids. J. Nutr. 119: 135-136 (1989)
- Matsufuji H, Nakamura H, Chino M, Takeda M. Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annuum*). J. Agr. Food Chem. 46: 3468-3472 (1998)
- Maoka T, Enjo F, Tokuda H, Nishino H. Biological function and cancer prevention by paprika carotenoids. Foods Food Ingeg. J. Jpn. 209: 203-210 (2004)
- Hunter DJ, Willett WC. Diet, body build, and breast cancer. Ann. Rev. Nutr. 14: 393 - 418 (1994)
- Aalst JA, Burmeister W, Fox PL, Graham LM. α-Tocopherol preserves endothelial cell migration in the presence of cell-oxidized

- low-density lipoprotein by inhibiting changes in cell membrane fluidity. *J. Vasc. Surg.* 39: 229-237 (2004)
19. Campbell SE, Stone WL, Whaley SG, Qui M, Krishnan K. Gamma (γ) tocopherol upregulates peroxisome proliferator activated receptor (PPAR) gamma (γ) expression in SW 480 human colon cancer cell lines. *BMC Cancer* 3: 1-13 (2003)
 20. Kontush A, Spranger T, Reich A, Baum K, Beisiegel U. Lipophilic antioxidants in blood plasma as markers of atherosclerosis: the role of α -carotene and γ -tocopherol. *Atherosclerosis* 144: 117-122 (1999)
 21. KFDA. Food Code. Korean Foods Industry Association Press, Seoul, Korea. pp. 751-755 (2008)
 22. Markus F, Daood HG, Kapitany J, Biacs PA. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J. Agr. Food Chem.* 47: 100-107 (1999)
 23. Arnao MB, Cano A, Acosta M. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem.* 73: 239-244 (2001)
 24. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30 (1995)
 25. Matsufuji H, Ishikawa K, Nunomura O, Chino M, Takeda M. Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange, and red (*Capsicum annuum* L.). *Int. J. Food Sci. Tech.* 42: 1482-1488 (2007)
 26. Deli J, Matus Z, Toth G. Carotenoid composition in the fruits of *Capsicum annuum* Cv. Szentesi kosszarvu during ripening. *J. Agr. Food Chem.* 44: 711-716 (1996)
 27. Choi SH. Ascorbic acid of Korean pepper by cultivating season, region and cooking method. *J. East Asian Soc. Dietary Life* 16: 578-584 (2006)
 28. Kye SH, Lee JD, Paik HY. Analysis of ascorbic acid contents in raw, processed and cooked foods by HPLC. *J. Korean Home Assoc.* 31: 201-208 (1993)
 29. Ching LS, Mohamed S. α -Tocopherol content in 62 edible tropical plants. *J. Agr. Food Chem.* 49: 3101-3105 (2001)
 30. Wagner KH, Kamal-Eldin A, Elmadfa I. γ -Tocopherol an underestimated vitamin? *Ann. Nutr. Metab.* 48: 169-188 (2004)
 31. Kim YN, Giraud DW, Driskell JA. Tocopherol and carotenoid contents of selected Korean fruits and vegetables. *J. Food Compos. Anal.* 20: 458-465 (2007)
 32. Navarro JM, Flores P, Garrido C, Martinez V. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.* 96: 66-73 (2006)
 33. Subhasree B, Baskar R, Laxmi Keerthana R, Lijina Susan R, Rajasekaran P. Evaluation of antioxidant potential in selected green leafy vegetables. *Food Chem.* 115: 1213-1220 (2009)