

과피색이 다양한 풋고추 과실의 성숙단계에 따른 생리활성물질 변화

최효길^{1,2} · 정재연³ · 이재면³ · 강남준^{4,5*}

¹국립공주대학교 원예학과 교수, ²국립공주대학교 농수산생명과학연구소 교수, ³국립공주대학교 원예학과 대학원생,
⁴경상국립대학교 원예과학부 교수, ⁵경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수

Changes in Bioactive Compounds Throughout Ripening Stages of Green Pepper (*Capsicum annuum* L.) Exhibiting Varied Fruit Skin Colors

Hyo Gil Choi^{1,2}, Jae Yeon Jeong³, Jae Myun Lee³, and Nam Jun Kang^{4,5*}

¹Professor, Department of Horticulture, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

²Professor, Agriculture and Fisheries Life Science Research Institute, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

³Graduate Student, Department of Horticulture, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

⁴Professor, Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. This study aimed to investigate the changes in bioactive compounds across the ripening stages of three pepper cultivars, each characterized by unique skin colors. The samples used in this study consisted of three pepper cultivars distinguished by their skin colors as green, purple, and yellow green at breaker ripening stage. Samples were harvested at each of the four ripening stages, including premature, breaker, turning, and mature, and subjected to analysis for various bioactive compounds, including capsaicin, ascorbic acid, kaempferol, quercetin, and sugars. In all cultivars with varying skin colors, the capsaicin content within green pepper fruits consistently increased as the ripening stages advanced. Ascorbic acid was most abundant during the premature stage of development in purple and green cultivars, subsequently declining as maturation progressed. In the case of the purple cultivar, kaempferol content decreased by approximately 30% at the mature stage, while the green cultivar exhibited a gradual increase in kaempferol content with maturation. Conversely, the kaempferol content of the yellow green cultivar rapidly declined as maturation progressed. Regarding quercetin content, the purple and green cultivars tended to decrease with maturity, while the yellow green cultivar displayed an increasing trend. Furthermore, the accumulation patterns of glucose, fructose, and sucrose, the predominant free sugars in green pepper fruit, demonstrated an inclination to increase as the maturation stage advanced in both purple and green cultivars. In contrast, the yellow green cultivar initially showed an elevation in free sugar content during the immature stage, followed by a minor reduction during maturation and a subsequent rise during the mature stage. Each pepper cultivar, distinguished by its unique skin color, exhibits varying levels of bioactive substances at different ripening stages. Therefore, optimal harvesting and utilization should align with periods when the desired substance content is at its peak.

Additional key words: ascorbic acid, capsaicin, flavonoids, green pepper, sugars

서론

고추(*Capsicum annuum* L.)는 가지과에 속하는 원예작물로 온대지방에서는 1년생 초본성이고 열대지방에서는 다년생 작물로 세계적으로 재배되는 채소작물이다. 고추는 분류학적으로 25종으로 알려져 있는데, 재배종은 *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum*, *C. pubescens*

등 5종이고 나머지는 야생종으로 분류하고 있다(Paran와 van der Knaap, 2007). 우리나라의 풋고추 재배면적과 생산량(2021년)은 각각 4,388ha와 168,375톤으로 미숙과의 과실 색이 녹색인 과실 위주로 소비되었다(MAFRA, 2021). 하지만 최근에는 건강과 관련하여 소비자들의 요구에 부응하여 보라색이나 연두색 등 다양한 색깔의 풋고추 품종이 출시되면서 재배면적의 증가와 더불어 소비자의 소비 형태도 바뀌고 있다(Choi 등, 2023). 풋고추는 우리나라 소비자가 즐겨 먹는 과채류 중의 하나로 품질은 모양, 크기 및 과색 등의 외적 요인과 비타민, 캡사이신 함량 등 내적인 요인에 의해서 결정된다. 또한

*Corresponding author: k284077@gnu.ac.kr

Received August 16, 2023; Revised October 10, 2023;

Accepted October 10, 2023

최근에는 고추에 많이 함유된 플라보노이드 계통의 생리활성 물질에 대한 관심이 높아지고 있다(Cho 등, 2020).

생리활성물질이란 식물에서 만들어지는 모든 유기화합물을 총칭하는 개념으로 건강에 도움을 주는 생리활성 기능을 가진 식물성 화학물질을 의미한다(Thakur와 Sharma, 2018). 채소작물에서 생리활성물질은 적색계열인 카로티노이드계, 적자색과 흑색계열인 안토시아닌계, 황색계열인 플라보노이드계 및 녹색계열인 클로로필계 색소로 구분하기도 한다(Kuh, 1976; Zhang 등, 2011). 풋고추 과실에는 캡사이신, 카로티노이드, 플라보노이드, 아스코르브산 및 토코페롤과 같은 생리활성물질이 많이 함유되어 있다(Wahyuni 등, 2011).

고추속 식물의 과실에서 대표적으로 생성되는 캡사이시노이드는 강한 매운맛을 나타내며, 캡사이시노이드에는 5종의 동족체 화합물이 있으며 이 중에서 capsaicin과 dihydrocapsaicin이 전체 캡사이시노이드의 90% 이상으로 고추의 매운맛을 나타내는 주성분이다(Wahyuni 등, 2013). 고추 과실의 총 캡사이시노이드 수준은 매운맛의 단위인 scoville heat unit(SHU)으로 나타낸다(Wang 등, 2011). 캡사이신 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 은 15SHU 수준인데, 매운 정도에 따라 순한 맛(0-5,000SHU), 중간 맛(5,000-20,000SHU), 매운 맛(20,000-70,000SHU) 및 아주 매운 맛(70,000-300,000SHU) 등 4등급으로 구분한다.

아스코르브산은 육탄당의 유도체로 환원형과 산화형의 2가지 형태가 있으며(McDowell, 1989), 수용성으로 인체 대사에 관여한다. 아스코르브산은 활성산소종을 제거하는 필수 항산화물질이며 인간의 대사 활동에 관여하는 각종 효소의 cofactor이다(Eggink 등, 2012).

플라보노이드는 천연물로 C6-C3-C6을 기본골격으로 하는 polyphenol 화합물로서 현재까지 5,000여종이 식물에 존재하는 것으로 알려져 있다(Corradini 등, 2011; De Luna 등, 2020). 분자구조에 따라 플라보노이드는 플라본, 플라보놀, 플라바논, 플라바놀 및 안토시아닌 등으로 구분된다(Hurtado-Hernandez와 Smith, 1985; Samec 등, 2021). 식물에서 플라보노이드는 세포 성장을 조절하고, 수분 곤충을 유인하며, 생물학적, 비생물적 스트레스로부터 보호하는 기능이 있다. 식물성 플라보노이드는 신호 분자, UV 필터 및 활성산소종 제거제로 작동할 수 있으며 가뭄, 열 및 동결 내성에서 여러 기능적 역할을 한다(Panche 등, 2016; Dias 등, 2021). 또한 인간에게 플라보노이드는 항염증, 항암, 항노화, 심장 보호, 신경 보호, 면역 조절, 항당뇨병, 항균, 항기생 및 항바이러스 기능을 제공해준다(Saini 등, 2017; Fraga 등, 2019; Juca 등, 2020).

일반적으로 고추와 같은 가지과 작물에서 과실로 전류되는

주된 당은 자당이며 과실에 축적된 당은 포도당과 과당으로 알려져 있다(Lee 등, 1972). 또한 과실의 맛을 결정하는 주된 당은 과당, 포도당 및 자당인데(Lee 등, 1972), 주로 자당의 가수분해와 환원당의 축적에 의해서 결정되며 품종과 재배방법 및 성숙단계에 따라 차이가 큰 것으로 알려져 있다(Ho, 1979; Moing 등, 2001; Wang와 Millner, 2009).

최근 소비자의 많은 관심을 받는 생리활성물질을 많이 함유한 고기능성 풋고추의 생산은 매우 중요하며, 이러한 풋고추 과실의 영양학적 또는 기능성 성분에 관한 연구도 많이 진행되고 있다. 그러나 최근 관심의 대상이 되고 있는 과피색이 다른 품종별 성숙단계에 따른 생리활성물질의 축적 양상이나 생리적 변화에 대한 정보는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 고추의 과피색이 성숙이 진행됨에 따라 청색에서 착색(적색, 분홍색, 노랑색 등)된 이후 완전히 적색으로 변화되어지는 과정에서 고추의 생리활성물질 함량이 변화하므로 본 연구는 과피색이 다른 고추 과실의 성숙단계에 따른 생리활성물질의 축적 양상을 분석하여 고품질 기능성 풋고추 생산과 소비자를 위한 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 고추(*Capsicum annuum* L.)는 미성숙 과실(변색기)의 과피색이 보라색(Deysyeobora, Asia Seed Ltd., Seoul, Korea), 녹색(Nokgwang, Monsanto Korea, Seoul, Korea) 및 연두색(Hyeoljo 14, Asia Seeds Ltd., Seoul, Korea)인 고추 3품종이다.

고추 종자는 파종하기 전에 직경이 15cm인 페트리디쉬에 필터 페이퍼(Whatman No. 1, Toyo Roshi Jaisha Ltd., Japan)를 깔고 종자를 치상한 후 25°C 성장상(HB-103M, Hanbaek Co., Seoul, Korea)에서 5일간 최아시켰다. 최아 종자는 육묘용 상토(pH 5.5-7.0; EC 0.65dS/m)(Shinangrow, Jinju, Korea)를 담은 파종용 플라스틱 상자(45×35×8cm, 길이×너비×높이)에 파종하였다.

제1 본엽이 2매 전개되었을 때 육묘용 상토가 담긴 플라스틱 포트(11×11cm)에 가식하여 일반적인 육묘방법에 준하여 관리하였으며 본엽이 6매가 전개되었을 때 재배용 포트(28×28×27cm, 길이×너비×높이)에 1주씩 정식하여 비닐온실에서 재배하였다.

재배 토양으로는 상토(Shinangrow, Jinju, Korea)를 사용하였으며, 양수분관리 등의 일반적인 재배 관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다. 시험구는 완전임의배치 3반복으로 반복당 20주를 재배 관리하였다.



Fig. 1. Four ripening stages in three pepper cultivar fruits. Premature (P, 7-10 days after pollination, DAP), breaker (B, 15-20 DAP), turning (T, 25-30 DAP), and mature (M, 35-40 DAP).

과실의 생리활성물질 분석을 위한 수분 후 동일시기로 성숙 단계를 미숙기(premature, 5 - 10일째), 풋고추로 사용하는 단계인 변색기(breaker, 5 - 10일째), 최색기(turning, 5 - 10일째), 완숙기(mature, 35 - 40일째)로 구분하였다(Fig. 1).

성숙단계별로 채취한 고추 과실은 -70°C 초저온 냉동고에서 냉동시킨 후 동결건조기(Bondiro Freeze Dryer, Ilshin Lab Co., Ltd., Gyeonggido, Korea)로 건조하였고, 균질기 (Polytron, PT-MR 3100D, Kinematica, Switzerland)로 분쇄한 후 분석용 시료로 사용하였다.

2. 캡사이신 분석

분석시료 0.5g을 15mL 코니칼 튜브에 담고 95% 에탄올 10mL을 가하여 80°C 의 가열블록에서 1시간 동안 추출한 후 실온에서 식혔다. 식힌 후 추출한 시료는 $0.2\mu\text{m}$ 실린지 필터로 여과하여 분석에 사용하였다. 캡사이신 표준물질은 95% 에탄올을 이용하여 $1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 표준용액을 만든 후 희석하여 각각 1, 5, 10, 50, 100, $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도의 반응용액을 제조 후 기기분석하여 검량곡선을 작성하였다. 캡사이신 분석은 HPLC(YL12000, Younlin Co., Seoul, Korea)를 이용하였고 분석 칼럼으로 DB-C18($4.6\text{mm}\times 150\text{mm}$, Supelco, PA, USA)를 사용하여 DA 검출기(YL9120, Younlin Co., Seoul, Korea)로 검출하였다. 용매의 유속과 컬럼온도의 온도는 각각 분당 1.2mL과 40°C 로 설정하였으며 각 시료의 주입량은 $10\mu\text{L}$ 였다. 위의 조건으로 분석시료를 전처리한 후 크로마토그램상에 나타난 피크의 면적을 기준으로 검량곡선에 대입하

여 분석시료 중의 캡사이신 성분을 정량분석하였다(Bae 등, 2013). 표준물질로서 캡사이신(Sigma-Aldrich Chemical Co., MO, USA)을 사용하였다.

3. 아스코르브산 분석

분석시료 1.0g을 15mL 코니칼 튜브에 담아 $0.2\text{M KH}_2\text{PO}_4$ (pH 4.5) 5mL을 가하여 1시간 반응시킨 후 $15,000\text{g}$ 로 5분간 원심분리(Allegra 64R, Beckman, Fullerton, CA, USA)하여 상징액 1mL을 $0.2\mu\text{m}$ 실린지 필터로 여과하여 분석에 사용하였다. 아스코르브산 분석은 HPLC(YL12000, Younlin Co., Seoul, Korea)를 이용하였고 분석 칼럼으로 DB-C18($4.6\text{mm}\times 150\text{mm}$, Supelco, PA, USA)를 사용하여 DA 검출기(YL9120, Younlin Co., Seoul, Korea)로 검출하였다. 이동상은 20mM ammonium acetate와 0.1% formic acid를 포함하는 3차 증류수(A)와 20mM ammonium acetate와 0.1% formic acid를 포함하는 메탄올(B)이었다. 용매의 유속과 컬럼 온도의 온도는 각각 분당 0.7mL 과 25°C 로 설정하였으며 각 시료의 주입량은 $10\mu\text{L}$ 였다. 표준물질로서 아스코르브산(Sigma-Aldrich Chemical Co., MO, USA)을 사용하였다.

4. 플라보노이드 분석

분석시료 1.0g을 15mL 코니칼 튜브에 담아 메탄올 10mL을 가하여 5시간 반응한 뒤 추출하였다. 추출물을 C18 silica(1.0g) cartridge에서 차례로 정제한 후 메탄올로 용리하여 질소농축하고 건조물을 메탄올 1mL로 용해하여 $0.2\mu\text{m}$ 실린지 필터로 여과하여 분석에 사용하였다. 플라보노이드의 표준물질은 메탄올을 이용하여 $1,000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 표준용액을 만든 후 희석하여 각각 5, 10, 20, 50, 100, $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 농도의 반응용액을 제조 후 기기분석하여 검량곡선을 작성하였다. 플라보노이드 분석은 HPLC(YL12000, Younlin Co, Seoul, Korea)를 이용하였고, 분석 칼럼으로 DB-C18($4.6\text{mm}\times 150\text{mm}$, Supelco, PA, USA)을 사용하여 VW 검출기(YL9120, Younlin Co, Seoul, Korea)로 검출하였다. 이동상은 acetonitrile와 증류수(50 : 50, v/v)였고, 용매의 유속과 컬럼온도의 온도는 각각 분당 0.7mL 과 35°C 로 설정하였으며 각 시료의 주입량은 $10\mu\text{L}$ 였다. 위의 조건으로 고추를 전처리한 후 크로마토그램상에 나타난 피크의 면적을 기준으로 검량곡선에 대입하여 고추 시료 중의 플라보노이드 성분을 정량분석하였다. 캠페롤, 퀘르세틴, 퀘르시트린의 머무름 시간은 각각 39.7, 34.3, 26.4 분으로 나타났고, 표준검량선의 직선성은 모든 표준물질에서 $r^2 = 0.9992$ 의 회귀성을 보여주었다. 표준물질로서 캠페롤, 퀘르세틴 및 퀘르시트린(Sigma-Aldrich chemical Co., MO, USA)을 사용하였다.

5. 당 분석

분석시료 1.0g을 15mL 코니칼 튜브에 담아 증류수 10mL을 가하여 80°C 항온수조(WMB-311, Dahan Scientiric Co., Ltd., Seoul, Korea)에서 1시간 반응하여 추출하였다. 이후 15,000g로 5분간 원심분리(Allegra 64R, Beckman, Fullerton, CA, USA)하여 상층액 1mL을 취하여 1mL의 acetonitrile와 혼합한 뒤 시료를 0.2µm 실린저 필터로 여과하여 분석에 사용하였다. 당 분석은 HPLC(YL12000, Younlin Co., Seoul, Korea)를 이용하였고, 분석 칼럼으로 sugar pak(4.6mm×150 mm, Supelco, PA, USA)을 사용하여 RI 검출기(YL9170, Younlin Co., Seoul, Korea)로 검출하였다. 이동상은 acetonitrile와 증류수(80 : 20, v/v)였고, 용매의 유속과 컬럼온도의 온도는 각각 분당 1.0mL과 25°C로 설정하였으며, 각 시료의 주입량은 10µL였다. 표준물질로서 자당, 포도당 및 과당(Sigma-Aldrich Chemical Co., MO, USA)을 사용하였다.

6. 통계분석

시험구는 과색이 다른 고추 3품종을 완전임의배치 3반복으로 반복당 20주를 재배 관리하였다. 그리고 성숙단계별로 채취된 각각의 고추 시료(500g)를 3회 반복하여 생리활성물질 분석을 실시하였다. 본 실험에서 분석한 결과 값은 SigmaPlot 12.0(SYSTAT, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 계산하였고, SAS 통계 프로그램(SAS, 9.4, Institute Inc., USA)을 이용하여 분산분석으로 통계적 유의차를 검정한 후 Duncan's multiple range test로 95% 유의수준에서 사후검정하여 과피색이 다른 고추들의 생리활성 물질 함량 차이를 확인하였다.

결 과

1. 캡사이신

고추의 과피색이 다른 품종별 성숙과정에 따른 캡사이신 함량은 모든 품종에서 성숙과 더불어 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 보라색 품종 과실의 미숙기에는 건물 1kg당 216mg인데 비해 변색기에는 250mg으로 15.7%가 증가하였고, 최색기와 완숙기에는 266mg과 289mg으로 각각 23.1과 33.8%가 증가하였다. 녹색 품종 과실의 미숙기에는 건물 1kg당 232mg인데 비해 변색기에는 252mg으로 8.6%가 증가하였고, 최색기와 완숙기에는 268과 293mg으로 각각 15.5와 26.3%가 증가하였다. 연두색 품종 과실의 미숙기에는 건물 1kg당 216mg인데 비해 변색기에는 218mg으로 0.9%가 증가하였고, 최색기와 완숙기에는 245와 273mg으로 각각 13.4와 26.4% 증가하였다.

2. 아스코르브산

고추의 과피색이 다른 품종별 성숙과정에 따른 아스코르브산 함량 변화는 Fig. 3과 같은데, 변색기의 과피색이 다른 품종 간 함량 차이는 있었지만, 전반적으로 미숙기에 비해 성숙과 더불어 감소하는 경향을 보였다. 보라색 품종 과실의 미숙기에는 아스코르브산 함량이 건물 1kg당 322mg에서 변색기에는 209mg으로 35.3% 감소하였으며, 최색기와 완숙기에는 각각 96과 80mg으로 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 녹색 품종 과실의 미숙기에는 아스코르브산 함량이 건물 1kg당 173mg에서 변색기에는 222mg으로 28.8% 증가하였지만, 최색기와 완숙기에는 각각 138와 78mg으로 급격하게 감소하는 경향을 보였다. 연두색 품종 과실의 미숙기에는 아스코르브산 함량이 건물 1kg당 332mg에서 변색기에는 263mg으로 20.7% 감소하였고, 최색기와 완숙기에는 각각 165와 77mg으로 급격하게 감소하는 경향을 보였다.

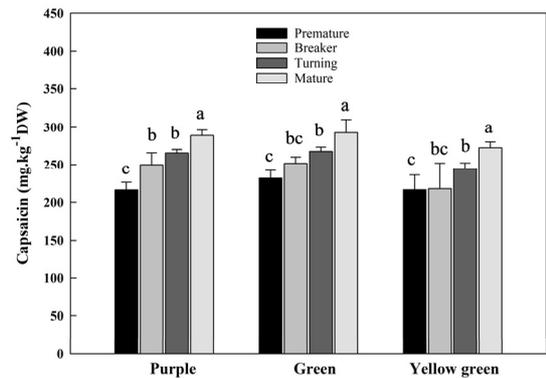


Fig. 2. Variations in capsaicin accumulation across ripening stages in fruit of differently colored pepper cultivars. Letters positioned above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars denote the standard deviation ($n = 3$).

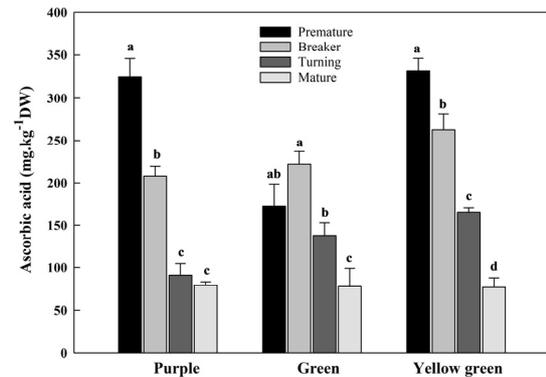


Fig. 3. Variations in ascorbic acid across ripening stages in fruit of differently colored pepper cultivars. Letters positioned above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars denote the standard deviation ($n = 3$).

3. 플라보노이드

고추의 과피색이 다른 품종별 성숙과정에 따른 캠페롤 함량 변화는 Fig. 4와 같은데, 성숙단계에 따른 캠페롤 함량은 변색기의 과피색이 다른 품종에 따라 뚜렷한 차이가 있었다. 보라색 품종 과실의 미숙기에는 캠페롤 함량이 건물 1kg당 59mg에서 서서히 감소하여 완숙기에는 40mg으로 33.2%가 감소하였다. 녹색 품종 과실의 미숙기에는 캠페롤 함량이 건물 1kg당 22mg에서 서서히 증가하여 완숙기에는 34mg으로 51.1% 증가하는 경향을 보였다. 연두색 품종 과실의 미숙기에는 캠페롤 함량이 건물 1kg당 435mg에서 변색기에는 164mg으로 62.3% 감소하였고 최색기와 완숙기에는 각각 57과 55mg으로 급격하게 감소하는 경향을 보였다.

과피색이 다른 품종별 퀘르세틴 함량은 성숙과정에 따라 축적 양상은 뚜렷한 차이가 있었는데, 보라색 품종의 과실에서는 성숙과 더불어 급격하게 감소한 반면, 녹색 과실에서는 큰 변화가 없었고, 연두색 과실에서는 다소 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). 보라색 품종 과실의 미숙기에는 퀘르세틴 함량이 건물 1kg당 112mg에서 변색기에는 85mg으로 23.7% 감소하였고 최색기와 완숙기에는 각각 56과 50mg으로 50.0과 55.9%로 급격하게 감소하는 경향이 있었다. 녹색 품종 과실의 퀘르세틴 함량은 전반적으로 낮았는데, 미숙기에는 건물 1kg당 42mg에서 완숙기에는 34mg으로 20% 정도 감소하는 경향을 보였다. 연두색 품종에서는 성숙과 더불어 증가하는 경향을 보였는데, 미숙기에는 퀘르세틴 함량 건물 1kg당 52mg에서 완숙기에는 74mg으로 42.4% 증가하였다.

퀘르시트린 함량은 연두색과 보라색 품종의 과실에서는 미숙기에 높다가 성숙과 더불어 급격하게 감소하는 경향이었고, 녹색 품종의 과실에서는 전반적으로 큰 변화없이 낮은 경향을 보였다(Fig. 6). 보라색 품종 과실의 미숙기에는 퀘르시트린 함량이 건물 1kg당 3,270mg에서 변색기에는 1,020mg으로 68.8% 감소하였고, 최색기와 완숙기에는 각각 921과 423mg으로 71.8과 87.1%가 감소하였다. 녹색 품종 과실의 미숙기에는 43mg에서 성숙과 더불어 감소하여 완숙기에는 26mg으로 39.5% 감소하였다. 연두색 품종 과실의 미숙기에는 퀘르시트린 함량이 건물 1kg당 2,811mg에서 변색기에서는 1,100mg으로 60.9% 감소하였고 완숙기에는 451mg으로 84.0% 감소하였다.

4. 유리당

고추의 과피색이 다른 품종별 성숙과정에 따른 유리당 함량 변화는 Table 1과 같은데, 전반적으로 고추 과실의 주된 유리당은 자당, 포도당 및 과당으로 분석되었다. 성숙과 더불어 모든 과실에서 유리당의 함량이 증가되는 양상을 보였는데, 녹

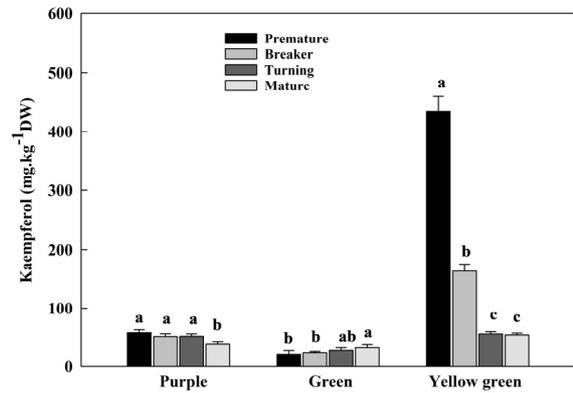


Fig. 4. Variations in Kaempferol across ripening stages in fruit of differently colored pepper cultivars. Letters positioned above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars denote the standard deviation ($n = 3$).

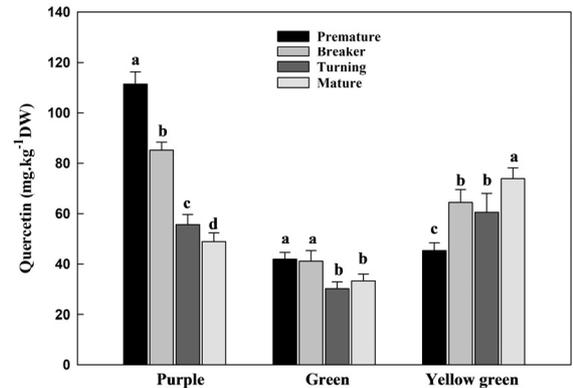


Fig. 5. Variations in quercetin across ripening stages in fruit of differently colored pepper cultivars. Letters positioned above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars denote the standard deviation ($n = 3$).

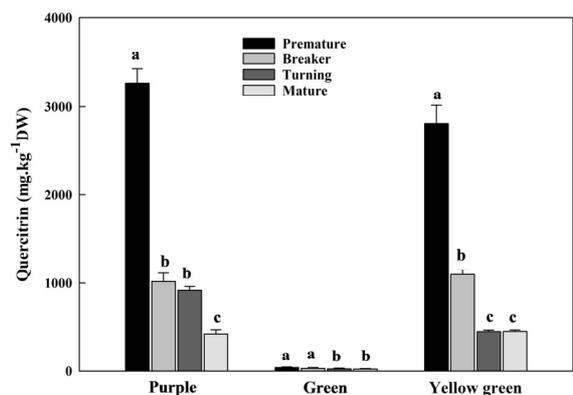


Fig. 6. Variations in quercitrin across ripening stages in fruit of differently colored pepper cultivars. Letters positioned above the bars indicate mean separation by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$. Vertical bars denote the standard deviation ($n = 3$).

Table 1. Concentration of sugar contents according to the ripening stages in fruit of three differently colored pepper cultivars.

Skin color	Ripening stage	Sugar (g·kg ⁻¹ D.W.)		
		Sucrose	Glucose	Fructose
Purple	Premature	8.7 c ^z	67.8 c	57.2 d
	Breaker	79.6 b	119.9 b	91.6 c
	Turning	115.7 a	184.3 a	155.2 b
	Mature	138.4 a	198.4 a	212.7 a
Green	Premature	31.1 c	63.9 c	41.2 c
	Breaker	80.1 b	64.1 c	43.6 c
	Turning	106.4 a	81.2 b	72.2 b
	Mature	103.4 a	165.6 a	174.8 a
Yellow green	Premature	9.1 b	156.3 b	114.1 b
	Breaker	98.2 a	141.9 b	109.2 b
	Turning	111.4 a	187.4 a	176.1 a
	Mature	94.8 a	205.6 a	201.3 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

색 과실에 비해 보라색이나 연두색 과실에서 높은 함량을 보였다. 보라색 품종 과실의 미숙기에는 자당 함량은 건물 1kg 당 8.7g에서 변색기는 79.6g·kg⁻¹으로 증가하였고, 완숙기에서는 138.4g·kg⁻¹으로 증가하는 경향을 보였다. 포도당 함량은 미숙기의 67.8g에서 변색기는 119.8g으로 증가하였고, 완숙기에서는 198.4g으로 증가하는 경향을 보였다. 과당은 미숙기의 57.2g에서 변색기는 91.5g으로 증가하였고, 완숙기에서는 212.7g으로 급격하게 증가하여 성숙이 진전될수록 단맛이 증가되는 경향을 보였다. 녹색 품종 과실의 미숙기에는 자당 함량이 건물 1kg당 31.1g에서 변색기에는 80.1g으로 증가한 후 완숙기에는 103.4g으로 증가 양상을 보였고, 포도당은 미숙기의 63.9g에서 변색기에는 64.1g으로 큰 변화가 없었지만 완숙기에서는 165.6g으로 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 또한 과당은 미숙기와 변색기에서 각각 41.1과 43.5g으로 큰 변화가 없었지만, 완숙기에서는 174.8g으로 4.3배 이상 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 연두색 품종 과실의 미숙기에는 자당 함량이 건물 1kg당 9.1g에서 변색기에는 98.2g으로 증가하였고 최색기에는 111.4g으로 증가하다가 완숙기에는 94.8g으로 다소 감소하는 경향을 보였다. 포도당은 미숙기와 변색기에서 각각 156.3과 141.9g으로 큰 차이가 없었지만, 최색기 이후에 증가하여 완숙기에서는 205.6g으로 증가하였다. 과당은 미숙기의 134.1g에서 변색기에는 109.2g으로 다소 감소한 후 증가하기 시작하여 완숙기에는 201.3g으로 급격하게 증가하는 경향을 보였다.

고 찰

고추의 capsaicinoid계 5종의 화합물은 capsaicin, dihydro-

capsaicin, nordihydrocapsaicin, homocapsaicin 및 homodihydrocapsaicin으로 고추 매운맛의 주성분이고, homocapsaicin, nordihydrocapsaicin 및 homodihydrocapsaicin 등은 비교적 낮은 농도로 존재한다(Chiang, 1986; Shin와Lee, 1991; Wahyuni 등, 2013). 고추의 매운 맛 정도는 capsaicin이 비교적 100으로 가장 높고 dihydrocapsaicin이 63, nordihydrocapsaicin이 11, homocapsaicin이 5이며 homodihydrocapsaicin이 3의 순으로 감소한다(Todd 등, 1977). 매운 맛의 주성분인 capsaicin과 dihydrocapsaicin의 함량 비율은 재배 국가나 품종에 따라 다른 것으로 보고된다(Jung 등, 2010). 고추의 매운 맛을 내는 캡사이신은 항균 및 통증완화 작용, 항암 및 항비만 효과 등 다양한 효과가 있는 것으로 보고되어 매운 맛의 풋고추를 선호하는 소비자도 증가 추세이다(Zhang와Po, 1994; Mori 등, 2006). 캡사이시노이드의 합성을 주도하는 효소는 capsaicin synthase와 acyltransferase으로 vanillylamine과 측쇄 지방산을 응축하는데 관여한다(Diaz 등, 2004; Stewart 등, 2005; Stewart 등, 2007). 또한 캡사이시노이드는 태좌의 표피세포와 씨방의 격막 조직에서 합성되어 축적되며 표피세포의 외부로 전류되고 태좌의 소포에 저장된다. 캡사이시노이드는 과실의 성숙과 더불어 축적되기 시작하여 과실의 크기가 최대 또는 과실의 길이가 최대일 때 가장 높은 함량을 보인다(Diaz 등, 2004; Aza-González 등, 2011)는 보고와 같이 과피색이 적색인 완숙기에는 모든 품종에서 캡사이신 함량이 증가하는 경향을 보였다.

일반적으로 비타민 C라고 불리는 아스코르브산은 수용성으로 많은 생리대사에 관여하며 주로 섭취를 통해 계속적으로 보충을 해야 하는 중요한 기능성 물질이다. 특히 체내에서 발생하는 유해한 자유라디칼을 파괴하여 산화 현상을 방지함으

로써 세포와 조직을 안정화시키는 작용을 하는 기능성 물질로 잘 알려져 있다(Lee와 Kim, 1989). 풋고추의 아스코르브산은 사과보다 50배 이상 많이 함유되어 있으며, 철분의 흡수를 돕고 면역 증진에 효과적인 항산화제이다(Howard 등, 1994). 또한 아스코르브산과 캡사이신 등의 기능은 일차적으로 식품의 품질 유지와 지방질의 과산화 방지에 직접 관여한다(Park, 1995). 이러한 생리활성물질은 항노화성, 항돌연변이성 및 항암성에 직접적으로 영향을 미친다고 하였다. 본 실험의 결과 고추 과실의 아스코르브산 함량은 품종에 따른 함량 차이는 있었지만, 성숙 단계가 진전될수록 감소하는 경향을 보였으며, 이는 딸기와 구아바 과실은 성숙함에 따라 증가한다는 보고와 반대의 결과를 보였다(Rashida 등, 1997; Ferreyra 등, 2007). 고추 과실의 아스코르브산 함량은 일반적으로 성숙과정 중에 증가한다고 하였는데(Lee 등, 1995; Gnayfeed 등, 2001; Marin 등, 2004), 본 실험의 결과에서는 감소하는 경향을 보여 상이한 결과를 보였다. 고추 과실에서 아스코르브산 축적에는 광조건과 밀접한 관련이 있으며 아스코르브산의 전구물질인 글루코오스의 수준에 의해서 좌우되므로 재배 시기에 따른 함량 차이도 있다는 보고가 있다(Osuna-García 등, 1998). 또한 성숙과정 외에도 유전적 차이나 재배 환경조건에 따라 함량 차이는 있기도 하다(Markus 등, 1999; Aloni 등, 2008). 고추 과실은 아스코르브산의 풍부한 공급원으로 품종에 따른 함량 차이가 43mg에서 247mg까지 분포한다고 보고되어 있으며 이는 일일 섭취 권장량의 50-100% 이상을 차지하는 수준이다(Palevitch와 Craker, 1996; Wahyuni 등, 2011; Eggink 등, 2012). Akhtar 등(2018)은 다양한 과색을 가진 고추를 이용하여 아스코르브산 등을 분석한 결과, 오렌지, 황색 및 녹색 고추에 비해 적색 고추에서 가장 높았다고 하였다. 일반적으로 우리나라에서 풋고추로 이용하는 시기는 변색기인데, 과피색에 따른 변색기의 아스코르브산 함량은 연두색 품종이 263.0mg으로 가장 높았고 녹색과 보라색이 각각 208.5와 222.1mg으로 다소 낮은 경향을 보였다.

가지과 채소의 색을 나타내는 주된 물질인 페놀화합물은 카로티노이드계 색소인 적색계열, 안토시아닌계 색소인 적자색과 흑색계열, 클로로필계 색소인 녹색계열 및 플라보노이드계 색소인 황색계열로 구분된다(Kuh, 1976; Zhang 등, 2011). 플라보노이드 화합물은 구조에 따라 안토시아닌, 플라본, 플라바논, 플라보놀 및 플라바놀로 구분되는데, 특히 플라보놀 성분은 토마토에서 캠페롤, 퀘르세틴 및 퀘르시트린 등의 형태로 존재한다(Liu 등, 2012; Mutha 등, 2021). 가지과의 고추속은 채소작물 중에서 카로티노이드가 가장 풍부한 작물 중의 하나(Palevitch와 Craker, 1996)로 고추 과실에는 카로티노이드, 플라보노이드, 아스코르브산 및 토코페롤과 같은

기능성물질이 많이 함유되어 있다(Wahyuni 등, 2011; Howard 등, 2000). 고추에 함유된 캠페롤, feruloyl O-glucosides, dihydroxyflavone와 같은 폴리페놀 화합물은 화학적 방어 물질로 알려진 phytoanticipins로서의 기능을 하기도 한다(Park 등, 2012). 안토시아닌 색소를 함유한 보라색 고추를 제외한 녹색, 적색, 갈색, 오렌지색 고추의 과색은 카로티노이드에서 유래되었다(Camara 등, 1995). 미성숙한 고추 과실은 엽록소와 lutein, violaxanthin, neoxanthin과 같은 카로티노이드를 함유하고 있는데, 성숙과정에 엽록체는 유색체로 변성되며 카로티노이드계 색소를 발현한다(Camara 등, 1995; Paran와 van der Knaap, 2007; Egea 등, 2010; Howard 등, 2000). 적색 고추 과실의 주요 카로티노이드는 capsanthin과 capsorubin이며 violaxanthin, b-carotene, lutein, antheraxanthin 및 zeaxanthin은 노란색 고추의 주요 색소 성분이다. 갈색 고추는 성숙하면 엽록소 b와 카로티노이드를 함유하고 있다(Hornero-Méndez 등, 2000; Wahyuni 등, 2011). 고추의 품종에 따른 폴리페놀 함량과 항산화력을 검정한 결과, 다양한 색깔을 가진 관상용 풋고추가 식용 고추보다 높다고 보고되며(Byun 등, 2016), 이는 과피색이 다양한 풋고추가 천연 항산화 소재로 개발될 가능성을 보여준다. 본 실험의 결과에서도 보라색이나 연두색 과실에서 녹색보다 캠페롤, 퀘르세틴 및 퀘르시트린과 같은 플라보노이드 함량이 높았다.

고추의 맛을 나타내는 중요한 성분 중의 하나가 가용성 당으로 고추의 단맛은 과당, 포도당 및 자당 순으로 관여하며 당 함량은 품종, 성숙단계 및 재배환경에 따라 차이를 보인다(Hwang와 Chung, 1998; Soh 등, 2011). 본 실험의 결과에서 성숙단계에 따른 함량 차이는 있었지만 3품종 모두 주된 당은 자당, 포도당 및 과당으로 분석되었다. 과피색이 전환되는 변색기의 유리당 축적 양상은 품종 간 차이가 뚜렷하였지만, 과피색이 적색으로 고정되는 완숙기에는 품종간 유리당의 축적에는 큰 차이가 없었다. 변색기의 과피색이 보라색인 과실은 성숙단계와 더불어 유리당의 함량이 점차적으로 증가하는 경향을 보였고, 녹색인 과실은 미숙기에서 최색기까지는 큰 차이가 없다가 완숙기에 급격하게 증가하는 경향을 보였으며, 연두색인 과실은 미숙기부터 높은 함량을 보이다가 성숙과정에는 다소 감소하다가 완숙기에는 다시 증가하는 경향을 보였다. 본 실험의 결과는 포도당과 과당의 함량은 성숙과정이 진행될수록 점차적으로 그 함량이 증가한다는 토마토 과실의 연구 결과(Beltran와 Macklin, 1962)와 일치하였다. 토마토의 경우 주된 유리당은 포도당과 과당(Lee 등, 1972; Davies와 Hobson, 1981)이며 당 함량은 성숙과정이 진행될수록 점진적으로 증가하는데, 본 실험의 고추에서도 품종 간에 함량 차이는 있었지만, 성숙과 더불어 당 함량은 증가하였으며 과당

과 포도당의 함량이 자당에 비해 상대적으로 많은 경향을 보였다. 변색기의 과피색이 다른 고추 품종의 성숙단계에 따른 당 함량 변화에 대한 본 실험의 결과는 풋고추 재배 시 품질 관리를 위한 재배기술이나 수확 시기의 판단 기준으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 각기 고유한 과피색을 갖는 3가지 고추 품종의 성숙 단계에 따른 생리활성 화합물의 변화를 조사하기 위한 목적으로 수행되었다. 연구에 사용된 시료는 변색기에 과피색이 보라색, 녹색, 연두색인 3가지 고추 품종이며, 미숙기, 변색기, 최색기, 완숙기로 구분된 성숙 4단계별로 각각의 고추를 수확하여 캡사이신, 아스코르브산, 캠페롤, 퀘르세틴 및 당성분 등의 생리활성 화합물을 분석하였다. 고추 과실의 캡사이신 함량은 다양한 과피색을 가진 모든 품종에서 성숙 단계가 진행됨에 따라 일관되게 증가하였다. 아스코르브산의 함량은 보라색 및 연두색 품종의 발달 초기에 가장 풍부하였고, 성숙이 진행될수록 감소하였다. 캠페롤 함량은 보라색 품종의 경우 변색기에 비하여 완숙기에 약 30% 감소한 반면에, 녹색 품종에서는 미숙기에서 완숙기까지 점차 증가하였다. 하지만, 연두색 품종의 캠페롤 함량은 성숙이 진행되면서 급격히 감소하였다. 퀘르세틴 함량의 경우 보라색과 녹색 품종에서는 성숙할수록 감소하였지만 연두색 품종은 증가하였다. 풋고추 과실의 주요 유리당인 포도당, 과당, 자당의 축적 양상은 보라색과 녹색 품종에서는 성숙이 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. 반면에 연두색 품종에서는 미숙기에서 이미 유리당 함량이 높은 상태였다. 그러나 성숙하는 동안 약간 감소하였다가 성숙기에 다시 증가하였다. 이처럼 고추는 과피색에 따라 성숙 단계별로 축적되어지는 생리활성 화합물의 함량 차이가 크다. 따라서 생리활성 물질을 효율적으로 이용하기 위해서는 목적으로 하는 생리활성 물질 함량이 최고조에 달하는 성숙 단계에서 수확하여 이용해야한다.

추가 주제어 : 아스코르브산, 캡사이신, 플라보노이드, 풋고추, 당

사 사

본 연구는 농림식품기술기획평가원 및 스마트팜연구개발사업단의 연구 지원(421001-03)을 받았습니다.

Literature Cited

- Akhtar M., A. Ahmad, T. Masud, and F.H. Wattoo 2018, Phenolic, carotenoid, ascorbic acid contents and their antioxidant activities in bell pepper. *Acta Sci Pol Hor Cultus* 18:13-21. doi:10.24326/asphc.2019.1.2
- Aloni B., L. Karni, G. Deventurero, E. Turhan, and H. Aktas 2008, Changes in ascorbic acid concentration, ascorbate oxidase activity, and apoplastic pH in relation to fruit development in pepper (*Capsicum annuum* L.) and the occurrence of blossom-end rot. *J Hortic Sci Biotechnol* 83:100-105. doi:10.1080/14620316.2008.11512353
- Aza-González C., H.G. Núñez-Palenius, and N. Ochoa-Alejo 2011, Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant Cell Rep* 30:695-706. doi:10.1007/s00299-010-0968-8
- Bae N.G., Y.J Lee, and J.H. Ha 2013, Determination of capsaicinoids in red pepper powder using ultra high performance liquid chromatography. *Anal Sci Technol* 26: 256-261. (in Korean) doi:10.5806/AST.2013.26.4.256
- Beltran E.G., and K. Macklin 1962, On the chemistry of the tomato and tomato products: A review of literature (1945 to 1961). Thomas J Lipton Hoboken NJ.
- Byun E.B., W.Y. Park, D.H. Ahn, Y.C. Yoo, C.H. Park, B.S. Jang, W.J. Park, E.H. Byun, and N.Y. Sung 2016, Comparison study of three varieties of red peppers in terms of total polyphenol, total flavonoid contents, and antioxidant activities. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45:765-770. (in Korean) doi:10.3746/jkfn.2016.45.5.765
- Camara B., P. Huguency, F. Bouvier, M. Kuntz, and R. Monéger 1995, Biochemistry and molecular biology of chromoplast development. *J Int Rev Cytol* 163:175-247. doi:10.1016/s0074-7696(08)62211-1
- Chiang G.H. 1986, HPLC analysis of capsaicins and simultaneous determination of capsaicins and piperine by HPLC-ECD and UV. *J Food Sci* 51:499-505. doi:10.1111/j.1365-2621.1986.tb11165.x
- Cho S.Y., H.W. Kim, M.K. Lee, H.J. Kim, J.B. Kim, J.S. Choe, Y.M. Lee, and H.H. Jang 2020, Antioxidant and anti-inflammatory activities in relation to the flavonoids composition of pepper (*Capsicum annuum* L.). doi:10.3390/antiox9100986
- Choi M.H., M.H. Kim, and Y.S. Han 2023, Physicochemical properties and antioxidant of colored peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Sci Biotechnol* 32:209-219. doi:10.1007/s10068-022-01177-x.
- Corradini E., P. Foglia, P. Giansanti, R. Gubbiotti, R. Samperi, and A. Laganà 2011, Flavonoids: chemical properties and analytical methodologies of identification and quantitation in foods and plants. *Nat Prod Res* 25:469-495. doi:10.1080/14786419.2010.482054

- Davies J.N., and G.E. Hobson 1981, The constituents of tomato fruit the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 15:205-280. doi:10.1080/10408398109527317
- De Luna S.L., R.E. Ramírez-Garza, and S.O.S. Saldívar 2020, Environmentally friendly methods for flavonoid extraction from plant material: Impact of their operating conditions on yield and antioxidant properties. *Sci World J* 2020:6792069. doi:10.1155/2020/6792069
- Dias M.C., D.C.G.A. Pinto, and M.S. Silva 2021, Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules* 26:1-16. doi:10.3390/molecules26175377
- Diaz J., F. Pomar, A. Bernal, F. Merino 2004, Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochem Rev* 3:141-157. doi:10.1023/B:PHYT.0000047801.41574.6e
- Egea I., C. Barsan, W. Bian, E. Purgatto, A. Latché, C. Chervin, M. Bouzayen, and J.C. Pech 2010, Chromoplast differentiation: current status and perspectives. *Plant Cell Physiol* 51:1601-1611. doi:10.1093/pcp/pcq136
- Eggink P.M., C. Maliepaard, Y. Tikunov, J.P.W. Haanstra, A.G. Bovy, and R.G.F. Visser 2012, A taste of sweet pepper: Volatile and non-volatile chemical composition of fresh sweet pepper (*Capsicum annuum*) in relation to sensory evaluation of taste. *Food Chem* 132:301-310. doi:10.1016/j.foodchem.2011.10.081
- Ferreira R.M., S.Z. Vina, A. Mugridge, and A.R. Chaves 2007, Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Sci Hortic* 112:27-32. doi:10.1016/j.scienta.2006.12.001
- Fraga C.G., K.D. Croft, D.O. Kennedy, and F.A. Tomás-Barberán 2019, The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food Funct* 10:514-528. doi:10.1039/c8fo01997e
- Gnayfed M.H., H.G. Daood, P.A. Biacs, and C.F. Alcaraz 2001, Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *J Sci Food Agric* 81:1580-1585. doi:10.1002/jsfa.982
- Ho L.C. 1979, Regulation of assimilate translocation between leaves and fruit in the tomato. *Ann Bot* 43:437-338. doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a085654
- Hornero-Méndez D., R. Gómez-Ladrón de Guevara, and M.I. Minguéz-Mosquera 2000, Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *J Agric Food Chem* 48:3857-3864. doi:10.1021/jf991020r
- Howard L.R., R.T. Smith, A.B. Wagner, B. Villalon, and E.E. Burns 1994, Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) and processed jalapeños. *J Food Sci* 59:362-365. doi:10.1111/j.1365-2621.1994.tb06967.x
- Howard S.R., S.T. Talcott, C.H. Brenes, and B. Villalon 2000, Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *J Agric Food Chem* 48:1713-1720. doi:10.1021/jf990916t
- Hurtado-Hernandez H., and P.G. Smith 1985, Inheritance of mature fruit color in *Capsicum annuum* L. *J Hered* 76: 211-213. doi:10.1093/oxfordjournals.jhered.a110070
- Hwang J.M., and K.M. Chung 1998, Investigation of distribution and quality of dried red pepper (*Capsicum annuum* L.) in Andong market. *J Korean Soc Hortic Sci* 39:702-706. (in Korean) <https://worldveg.tind.io/record/26723>
- Juca M.M., F.M.S.C. Filho, J.C. de Almeida, D.S. Mesquita, J.R.M. Barriga, K.C.F. Dias, T.M. Barbosa, L.C. Vasconcelos, L.K.A.M. Leal, J.R. Ribeiro, and S.M.M. Vasconcelos 2020, Flavonoids: Biological activities and therapeutic potential. *Nat Prod Res* 5:692-705. doi:10.1080/14786419.2018.1493588
- Jung M.R., Y. Hwang, H.Y. Kim, H.S. Jeong, J.S. Park, D.B. Park, and J.S. Lee 2010, Analyses of capsaicinoids and ascorbic acid in pepper (*Capsicum annuum* L.) breeding lines. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:1705-1709. (in Korean) doi:10.3746/jkfn.2010.39.11.1705
- Kuh J. 1976, The flavonoids: a class of semi-essential food components: their role in human nutrition. *World Rev Nutr Diet* 24:117-191. doi:10.1159/000399407
- Lee D.S., and H.K. Kim 1989, Carotenoid destruction and nonenzymatic browning during red pepper drying as functions of average moisture content and temperature. *Korean J Food Sci Technol* 21:425-429. (in Korean)
- Lee H.B., C.B. Yang, and T.J. Yu 1972, Studies on the chemical composition of some fruit vegetables and fruits in Korea (I)-On the free amino acid and sugar contents in tomato, watermelon, muskmelon, peach and plum. *Korean J Food Sci Technol* 4:36-43. (in Korean)
- Lee Y., L.R. Howard, and B. Villalon 1995, Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *J Food Sci* 60:473-476. doi:10.1111/j.1365-2621.1995.tb09806.x
- Liu C., L. Cai, X. Lu, X. Han, and T. Ying 2012, Effect of postharvest UV-C irradiation on phenolic compound content and antioxidant activity of tomato fruit during storage. *J Integr Agric* 11:159-165. doi:10.1016/S1671-2927(12)60794-9
- Marín A., F. Ferreres, F.A. Tomás-Barberán, and M.I. Gil 2004, Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Agric Food Chem* 52:3861-3869. doi:10.1021/jf0497915
- Markus F., H.G. Daood, J. Kapitany, and P.A. Biacs 1999, Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J Agric Food Chem* 47:100-107. doi:10.1021/jf980485z
- McDowell L.R. 1989, Vitamins in animal nutrition: Comparative

- aspects to human nutrition, Vitamin E. Academic Press, London, UK, pp 93-131.
- Ministry for Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) 2021, Agriculture food and rural affairs statistics. MAFRA, Sejong, Korea.
- Moing A., C. Renaud, M. Gaudillère, P. Raymond, P. Roudeillac, and B. Denoyes-Rothan 2001, Biochemical changes during fruit development of four strawberry cultivars. *J Am Soc Hortic Sci* 126:394-403. doi:10.21273/JASHS.126.4.394
- Mori A., S. Lehman, J. Okelly, T. Kumagai, J.C. Desmond, M. Pervan, W.H. McBride, M. Kizaki, and P. Koeffler 2006, Capsaicin, a component of red pepper, inhibits the growth of androgen-independent, p53 mutant prostate cancer cells. *Cancer Res* 66:3222-3229. doi:10.1158/0008-5472.CAN-05-0087
- Mutha R.E., A.U. Tatiya, and S.J. Surana 2021, Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview. *Future J Pharm Sci* 7:1-13. doi:10.1186/s43094-020-00161-8
- Osuna-García J.A., M.M. Wall, and C.A. Waddell 1998, Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during fruit ripening of New Mexican-type chile (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *J Agric Food Chem* 46:5093-5096. doi:10.1021/jf980588h
- Palevitch D., and L.E. Craker 1996, Nutritional and medical importance of red pepper (*Capsicum* spp.). *J Herbs Spices Med Plants* 3:55-83. doi:10.1300/J044v03n02_08
- Panche A.N., A.D. Diwan, and S.R. Chandra 2016, Flavonoids: an overview. *J Nutr Sci* 5:1-15. doi:10.1017/jns.2016.41
- Paran I., and E. van der Knaap 2007, Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. *J Exp Bot* 58:3841-3852. doi:10.1093/jxb/erm257
- Park K.Y. 1995, The nutrition antimutagenic and anticancer effects of kimchi. *J Korean Soc Food Nutr* 24:169-182. (in Korean)
- Park S., W.Y. Jeong, J.H. Lee, Y.H. Kim, S.W. Jeong, G.S. Kim, D.W. Bae, C.S. Lim, J.S. Jin, S.J. Lee, and S.C. Shin 2012, Determination of polyphenol levels variation in *Capsicum annuum* L. cv. Chelsea (yellow bell pepper) infected by anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chem* 130:981-985. doi:10.1016/j.foodchem.2011.08.026
- Rashida E.E., E.L.F. Babiker, and A.H.E. Tinay 1997, Changes in chemical composition of guava fruits during development and ripening. *Food Chem* 59:359-399. doi:10.1016/S0308-8146(96)00271-3
- Saini N., S.K. Gahlawat, and V. Lather 2017, Flavonoids: A nutraceutical and its role as anti-inflammatory and anticancer agent. In S Gahlawat, R Salar, P Siwach, J Duhan, S Kumar, P Kaur, eds, *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments*. Springer, Singapore.
- Samec D., E. Karalija, I. Sola, V.V. Bok, and B. Salopek-Sondi 2021, The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants* 10:118. doi:10.3390/plants10010118
- Shin H.H., and S.R. Lee 1991, Quality attributes of Korean red pepper according to cultivars and growing areas. *Korean J Food Sci Technol* 23:296-300. (in Korean)
- Soh J.W., K.Y. Choi, Y.B. Lee, and S.Y. Nam 2011, Analysis of component factors concerned in taste of Korean hot pepper by sensory evaluation. *J Bio-Env Con* 20:297-303. (in Korean)
- Stewart C., B.C. Kang, K. Liu, M. Mazourek, S.L. Moore, E.Y. Yoo, B.D. Kim, I. Paran, and M. Jahn 2005, The *Pun1* gene for pungency in pepper encodes a putative acyltransferase. *Plant J* 42:675-688. doi:10.1111/j.1365-313X.2005.02410.x
- Stewart C., M. Mazourek, G.M. Stellari, M. O'Connell, and M. Jahn 2007, Genetic control of pungency in *C. chinense* via the *Pun1* locus. *J Exp Bot* 58:979-991. doi:10.1093/jxb/erl243
- Thakur A., and R. Sharma 2018, Health promoting phytochemicals in vegetables: A mini review. *Intl J Food Ferment Technol* 8:107-117. doi:10.30954/2277-9396.02.2018.1
- Todd J.P.H., M.G. Bensinger, and T. Biftu 1977, Determination of pungency due to *Capsicum* by gas liquid chromatography. *J Food Sci* 42:660-665. doi:10.1111/j.1365-2621.1977.tb12573.x
- Wahyuni Y., A.R. Ballester, E. Sudarmonowati, R.J. Bino, and A.G. Bovy 2011, Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: variation in health-related compounds and implications for breeding. *Phytochemistry* 72:1358-1370. doi:10.1016/j.phytochem.2011.03.016
- Wahyuni Y., A.R. Gallester, E. Sudarmonowati, R.J. Bino, and A.G. Bovy 2013, Secondary metabolites of *Capsicum* species and their importance in the human diet. *J Nat Prod* 76:783-793. doi:10.1021/np300898z
- Wang J., Z. Peng, S. Zhou, J. Zhang, S. Zhang, X. Zhou, X. Zhang, and B. Peng 2011, A study of pungency of capsaicinoid as affected by their molecular structure alteration. *Pharmacol Pharm* 2:109. doi:10.4236/pp.2011.23014
- Wang S.Y., and P. Millner 2009, Effect of different cultural systems on antioxidant capacity, phenolic content, and fruit quality of strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.). *J Agric Food Chem* 57:9651-9657. doi:10.1021/jf9020575
- Zhang D., L. Chu, Y. Liu, A. Wang, B. Ji, W. Wu, F. Zhou, Y. Wei, Q. Cheng, and S. Cai 2011, Analysis of the antioxidant capacities of flavonoids under different spectrophotometric assays using cyclic voltammetry and density functional theory. *J Agric Food Chem* 59:10277-10285. doi:10.1021/jf201773q
- Zhang W.Y., and A.L.W. Po 1994, The effectiveness of topically applied capsaicin. *Eur J Clin Pharmacol* 46:517-522. doi:10.1007/BF00196108