

Research Article

Open Access

토마토 종류에 따른 카로티노이드 함량 비교와 다중분석법 개발

김한결, 천진혁, 김선주*

충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Method Development and Analysis of Carotenoid Compositions in Various Tomatoes

Han-Kyul Kim, Jin-Hyuk Chun and Sun-Ju Kim* (Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea)

Received: 2 February 2015 / Revised: 11 June 2015 / Accepted: 23 June 2015

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: Purpose of this research is HPLC analysis method development of lycopene in tomato. And then, three components of carotenoid in four kinds of tomatoes (general tomato, cherry tomato, red and orange date tomato) were compared with each other.

METHODS AND RESULTS: Lycopene in tomato was extracted with hexane like other carotenoid components using 500 mg of dried powder sample. HPLC analysis conditions were column temperature (40°C), detection wavelength (454 nm), flow rate (1.0 mL/min) and injection volume (20.0 µL). Lycopene was analyzed by the gradient elution (60 → 100%) of the mobile phase solvents A [water: methanol=25: 75 (v/v)] and B [ethyl acetate].

CONCLUSION: Three components of carotenoids (lutein, β-carotene, lycopene) were observed in tomatoes. The total carotenoid contents was the highest in red date tomato (662.0 mg/kg dry wt.) and the lowest in orange date tomato (111.3 mg/kg dry wt.). Lycopene contents in tomatoes was the highest percentage (93%) among all the carotenoids.

Key words: Carotenoids, HPLC analysis, Lycopene, Tomato

서 론

과일과 채소는 비타민 C와 E (vitamin C and E), 미네랄 (minerals), 페놀화합물(phenolics)과 카로티노이드(carotenoids)를 포함하고 있으며, 이를 섭취함으로써 많은 영양소를 공급 받을 수 있다(Burns *et al.*, 2003). 카로티노이드는 자연계에서 주황색, 노란색, 빨간색과 보라색을 나타내는 천연 색소이며, 작물과 박테리아(bacteria), 조류(algae), 균류(fungi)에 의해 생합성 되는 식물화학물질(phytochemicals)이다 (Campbell *et al.*, 2007; Dias *et al.*, 2010). 동물들은 카로티노이드를 섭취하기 위해 사료에 의존하고, 인간들은 주로 과일과 채소의 소비를 통해 섭취하는데, 특히 노란색이나 주황색 과일, 암녹색채소와 잎줄기채소에 풍부하다(West *et al.*, 1993; Dias *et al.*, 2010). 또한 카로티노이드 성분은 작물 세포에서 혈장 액포(plasma vacuole)에 저장되거나 지질막(lipid membrane)에 주로 저장되며, 라이코펜(lycopene), 베타카로틴(β-carotene)을 비롯한 크산토포필(xanthophyll)과 같은 탄화수소 카로티노이드(hydrocarbon carotenoid)를 포함한다(West *et al.*, 1993; Burns *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2006)(Fig. 1).

세계적으로 토마토(*Lycopersicon esculentum*)는 인간의 식단과 주요농산물에서 필수적인 부분을 구성하고 있다. 일반적으로 토마토가 날 것으로 소비될 것이라고 생각하지만, 토마토 소비의 80% 이상이 토마토 주스, 퓨레, 케첩, 소스와 같은 가공품에서 이루어진다(Rao *et al.*, 1998). 토마토와 토마토 가공품에 함유되어 있는 라이코펜은 짙은 빨간색을 띠는 주요 구성요소이다. 또한 토마토에서 총 색소 함량의 80~90%를 차지하는 가장 풍부한 카로티노이드로, 최근에 다

*Corresponding author: Sun-Ju Kim
Phone: +82-42-821-6738; Fax: +82-42-821-7142;
E-mail: kimsunju@cnu.ac.kr

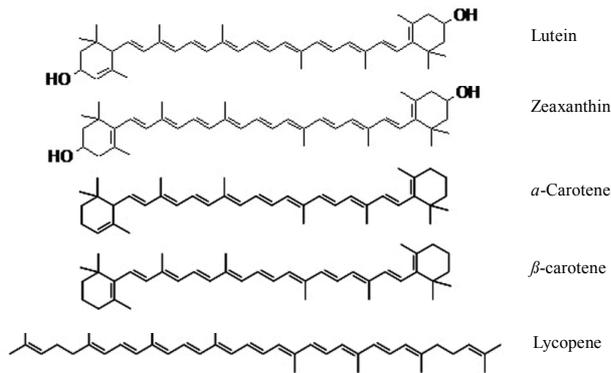


Fig. 1. The structure of carotenoids (adapted from Tuan *et al.*, 2012).

양한 연구 분야로 주목받고 있다(Gomez-Prieto *et al.*, 2003; Maiani *et al.*, 2009).

토마토에 가장 많이 함유된 것으로 알려진 라이코펜은 지금까지 발견된 600여종의 카로티노이드 중 하나로, 1910년에 처음으로 보고되었다(Yang *et al.*, 2006). 라이코펜은 전립선 암(prostate cancer)을 예방하는 역할로서 처음 알려졌으며, 프로비타민-A (provitamin-A)의 활성이 없는 카로티노이드계 항산화물질(carotenoid antioxidant)이다. 인간 암 세포 억제와 같은 생리학적 활성을 나타내는데, 주로 심혈관계 질환(cardiovascular disease)과 피부암(skin cancer)을 예방하는 역할을 한다(Sathish *et al.*, 2009). 최근 연구에서는 혈청과 지방조직에 존재하는 라이코펜의 양이 관동맥성 심장병(coronary heart disease)의 위험과 역비례 한다는 결과도 있었다(Agarwal and Rao, 1998; Campbell *et al.*, 2004; Ross *et al.*, 2011). 자연에서 라이코펜은 거의 all-*trans* 형태로 존재하지만, 빛, 열, 산소에 매우 민감해서 쉽게 분해되거나 이성질화되고 산화된다(Curt *et al.* 1995; Henry *et al.*, 1998; Andreia *et al.*, 2013). 토마토에서는 열에 의해 all-*trans* 라이코펜이 다양한 종류의 *cis* 이성질체 라이코펜으로 변환되는데, *cis* 이성질체 라이코펜은 용해성이 있고, all-*trans* 이성질체보다 장내 공간에서 흡수가 잘되어 생물이 용기능성이 더 높다(Campbell *et al.*, 2007). 식품 가공처리 중에 all-*trans* 라이코펜은 *cis* 구조로 변환될 수 있으며, 가공처리는 토마토 제품의 항산화 활성에 영향을 줄 수 있는 다른 부반응을 촉진한다(Lee and Chen, 2002; Sathish *et al.*, 2009). 토마토의 가공처리는 항산화물질의 양에 영향을 주는데, 가장 활성화된 항산화물질인 비타민 C (ascorbic acid)는 토마토주스를 생산하는 과정에서 약 30% 정도 손실된다. 또한 80~110°C에서 토마토를 천연건조 하는 동안 거의 대부분이 분해된다(Sathish *et al.*, 2009).

일반적으로, 라이코펜 분석 시에 컬럼 크기는 주로 150 4.6 mm인 것을 사용하고, 검출 파장은 대부분 450~485 nm 범위 내에서 설정한다(Burns *et al.*, 2003; Dias *et al.*, 2010; Tuan *et al.*, 2012). 이동상 용매 A는 methanol과 water를 혼합한 수용성 용매, B는 methyl *tert*-butyl ether

와 같은 지용성 용매를 주로 사용한다. 또한 라이코펜 뿐만 아니라 루테인이나 베타카로틴, 알파카로틴과 같은 다른 종류의 카로티노이드도 동시분석이 가능하다.

토마토에는 다양한 카로티노이드 성분 중, 베타카로틴(56.1), 파이토텐(234.2), 라이코펜(522.5 mg/kg dry wt.)이 함유되어 있다(Burns *et al.*, 2003). 총 카로티노이드 함량 중 가장 높은 비율을 차지하고 있는 성분은 라이코펜이다. 토마토 내 라이코펜 함량은 최저 50 mg/kg wet wt.부터 최고 250 mg/kg fresh wt.까지 나타나며, 총 카로티노이드 함량 대비 58~98%를 차지하고 있다(Rao *et al.*, 1998; Burns *et al.*, 2003; Dias *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2012).

본 실험에서는 라이코펜을 포함한 카로티노이드 5성분(루테인, 제아크산틴, 알파카로틴, 베타카로틴, 라이코펜)의 동시 분석법을 확립하고, 토마토 4종류(일반토마토, 방울토마토, 빨간색 및 주황색 대추방울토마토) 내 라이코펜의 함량을 정량화하였다.

재료 및 방법

시약

Ethanol (C_2H_5OH)과 methanol (CH_3OH)은 J.T Baker Chemical Co.(Phillipsburg, NJ, USA)를 사용하였고, ethyl acetate ($CH_3COOC_2H_5$)는 Burdick&Jackson (Ulsan, Korea)을 사용하였다. Hexane (C_6H_{14})은 Fluka Chemika(Buchs, Switzerland) 것을 사용하였으며, dichloromethane (CH_2Cl_2)은 LiChrosolv (New Jersey, USA) 제품을 사용하였다. Potassium hydroxide (KOH)는 Junsei Chemical Co. (Tokyo, Japan) 제품을 사용하였다.

시료

토마토(*Lycopersicon esculentum*)는 4종류(일반토마토, 방울토마토, 빨간색 및 주황색 대추방울토마토) 모두 충남 논산에서 재배한 것을 2014년 3월 대형마트에서 구매하였다. 시료는 -70°C 급속 초저온 냉동고(SFDSF 12, Samwon Freezing Engineering Co., Busan, Korea)에 동결시킨 후 동결건조(Samwon Freezing Engineering Co., Busan, Korea)하여 막자와 막자사발로 분말하였다.

Carotenoid 추출

건조된 분말 시료 500 mg을 칭량하여 5.0 mL-Falcon tube에 넣고 EtOH (5.0 mL)를 넣은 후, 항온수조(75°C)에서 5분간 진탕하였다. 80% KOH (1.5 mL)를 넣고 다시 항온수조(75°C)에서 10분간 진탕하였다. 진탕한 후에는 5분간 얼음에 넣어 반응을 정지시키고, 초순수(2.5 mL)와 hexane (2.5 mL)을 넣고 진동혼합(vortex)을 하였다. 원심분리(3,000 rpm, 3 min)하고 상층액(hexane층)을 수거하여 농축플라스크에 담았다. 나머지는 동일한 과정으로 총 3회 추출하여 각 상층액을 모두 합하였다. 합한 상층액을 감압 농축기(40°C)로 농축한 후에, dichloromethane: methanol [50:50(v/v)] 1.0 mL를 넣고 sonicator를 이용하여 완전히 녹였

다. 녹인 용액은 0.45 μm hydrophilic PTFE syringe filter (직경 13 mm)로 필터한 후, HPLC용 vial병에 넣어 HPLC로 분석하였다(Fig. 2).

HPLC 분석

라이코펜을 포함한 카로티노이드 분석은 YMC carotenoid C30 column (250 \times 4.6 mm i.d., particle size 3.0 μm)을 장착한 HPLC (Perkin Elmer Flexar, Inc, USA)를 사용하였다. 분석조건으로 칼럼 온도(column temperature)는 40°C, 검출 파장(detection wavelength)은 454 nm, 유량(flow rate)은 1.0 mL/min, 주입량은(injection volume)은

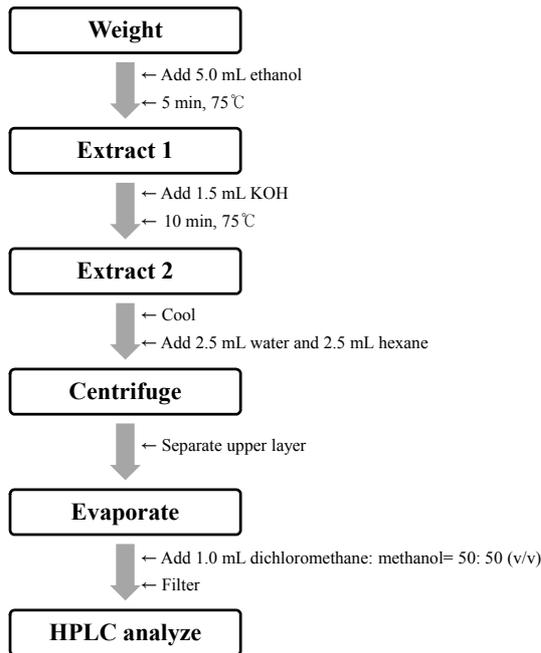


Fig. 2. An extraction scheme for carotenoids in tomatoes.

20.0 μL 로 설정하였다. 이동상 용매는 A [water: methanol =25: 75 (v/v)]과 B[ethyl acetate]를 사용하였다. 용매 B는 처음에 60%로 시작하여 4분에 70%까지 증가시키고, 9분에 75%로 증가시킨 후 20분까지 유지시켰다. 23분에는 100%까지 증가시켜 28분까지 유지시키고, 28.1분에 60%로 급격히 감소시켜 38분까지 10분간 칼럼을 세척하였다. 각 카로티노이드 5성분은 대응하는 외부표준물질의 HPLC 피크 면적(area)과 각 성분의 면적을 비교하여 정량하였다(Table 3).

통계 분석

모든 토마토 시료는 3반복으로 분석하였고, 분석 결과를 Microsoft Office Excel 2010으로 평균값(average)과 표준편차(SD, standard deviation)를 구하였다. 통계프로그램은 IBM SPSS[®] version 21을 사용하여 일원배치 분산분석을 실시하였고($n=3$), 사후분석은 Tukey 검정법으로 결정하였다.

결과 및 고찰

라이코펜 분석법 개발

본 실험실에서는 배추 내 카로티노이드 고품유 계통 선발을 위하여 라이코펜을 제외한 카로티노이드 4성분(루테인, 제아크산틴, 알파카로틴, 베타카로틴)의 HPLC 분석법을 이미 개발하였다(slightly modified from Tuan, 2012). 분석법 개발 시, HPLC 분석 조건을 최적화하기 위해 배추의 시료량, 추출 용매(4종류)의 첨가량, 에탄올과 KOH 용매의 추출 온도 및 시간을 달리하여 추출실험을 진행하였다. 상기 카로티노이드 추출과정을 간단하게 설명하면, 배추 시료를 각각 100, 200, 500 mg, 1, 2, 5 g씩 6가지로 칭량하고, 에탄올, KOH, water, 헥산 등 추출 용매 첨가량(시료량별 2가지)을 다르게 하였다(Table 1). 그 결과, 1 g 이상의 시료에서는 시료량이 많아 시료와 용매가 충분히 혼합되지 않았다. 따라서 추출이 잘 되지 않는 1 g 이상의 시료를 추출방법에서 제

Table 1. Extraction conditions of carotenoid analysis from Chinese cabbage

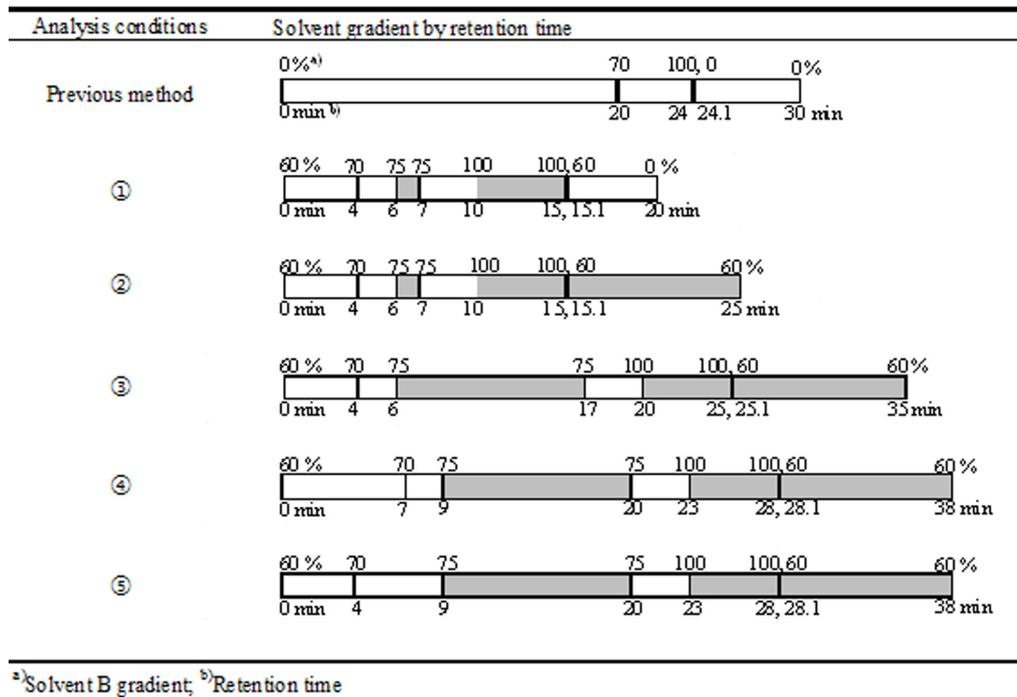
Sample Weight	Extraction solvent volume (mL)				
	EtOH	KOH	Water	Hexane	Total
100 mg-I	0.1	0.3	0.5	0.5	2.3
100 mg-II	1.5	0.5	0.8	0.8	3.6
200 mg-I	2.0	0.6	1.0	1.0	4.6
200 mg-II	4.0	1.2	2.0	2.0	9.2
500 mg-I	5.0	1.5	2.5	2.5	11.5
500 mg-II	10.0	3.0	5.0	5.0	23.0
1 g	10.0	3.0	5.0	5.0	23.0
2 g	10.0	3.0	5.0	5.0	23.0
5 g	10.0	3.0	5.0	5.0	23.0

Extraction temperatures (75, 80, 85°C) for EtOH and KOH in the water-bath.

Extraction time periods: 5, 10, 15 min for EtOH and 10, 20 min for KOH.

Table 2. Carotenoid contents (mg/kg dry wt.) in Chinese cabbage at various extraction solvent volume and sample amounts (n=3)

No	RT (min)	Trivial names	100 mg-I	100 mg-II	200 mg-I	200 mg-II	500 mg-II
1	11.95	Lutein	6.01±2.77	6.51±3.71	6.58±0.60	1 2.25±1.31	13.75±0.44
2	12.47	Zeaxarfhin	0.32±2.28	0.07±0.06	0.09±0.02	0.09±0.08	0.14±0.02
3	26.10	α-Carotene	0.19±0.09	0.31±0.15	0.10±0.06	0.37±0.34	0.16±0.07
4	27.99	β-Carotene	0.525±0.26	0.61±0.27	0.51±0.01	1.02±0.04	0.99±0.22
Total			7.03±2.87	7.49±1.21	7.30±0.55	19.73±1.71	15.04±0.55



^aSolvent B gradient, ^bRetention time

Fig. 3. Retention time (min) and solvent B gradient (%) of HPLC analysis for five carotenoid compositions including lycopene in tomatoes.

외하였다. 또한, 500 mg-II는 hexane의 양(5 mL)이 많아 농축 시 시간이 오래 걸려 다량 추출방법으로 적당하지 않아 제외하였다.

최적 추출 조건은 HPLC 분석 정량결과(Table 2)를 바탕으로 500 mg의 시료를 에탄올(5.0), KOH(1.5), 물(2.5), 헥산(2.5 mL)으로 추출한 것이 다른 시료에 비해 오차가 적고 추출 및 농축 시 조작이 용이하므로 이 방법으로 결정하였다. 특히 200 mg-II 시료를 사용한 분석 결과가 더 좋았으나 감압농축 시 조작 편이성 때문에, 헥산 양을 충분히 첨가할 수 있는 500 mg 시료를 사용하기로 결정하였다.

토마토 내 카로티노이드 분리를 위한 HPLC 분석조건은 Tuan 등(2012)으로부터 검출 과장파 이동상 용매 구배조건을 변형하였다. 분석 컬럼은 carotenoid 전용 컬럼인 YMC carotenoid C30 column (250 × 4.6 mm i.d., particle size 3.0 μm)을 장착하였고, 이동상 용매는 A [water: methanol =25: 75 (v/v)]과 B[ethyl acetate]를 사용하였다. 검출 파

장은 454 nm, 온도는 40°C, 유량은 1.0 mL/min으로 설정하였다. 이동상 용매 B는 0분에 0%로 시작하여 20분에 70%로 증가시켰다. 24분에는 100%로 증가시킨 후, 24.1분에 0%로 급격히 감소시켜 30분까지 유지시켰다. 배추 시료를 분석한 결과, 라이코펜을 제외한 카로티노이드 4성분(루테인, 제아크산틴, 알파카로틴, 베타카로틴)의 피크가 모두 분리되어 이 방법을 카로티노이드 분석법으로 선택하였다.

그렇지만 토마토는 카로티노이드 중 라이코펜을 다량 함유하고 있으므로

향후 토마토 기능성 성분을 평가하기 위해서는 카로티노이드 4성분(루테인, 제아크산틴, 알파카로틴, 베타카로틴) 뿐만 아니라 라이코펜 성분을 동시에 분석할 수 있는 분석법 개발이 절실하다. 따라서 본 실험에서는 확립한 상기 배추 내 카로티노이드의 HPLC 분석 방법을 바탕으로 토마토의 카로티노이드 5성분을 동시에 분석할 수 있는 HPLC 분석법을 확립하였다. 이를 위하여 다음과 같이 이동상 용매의 구배조

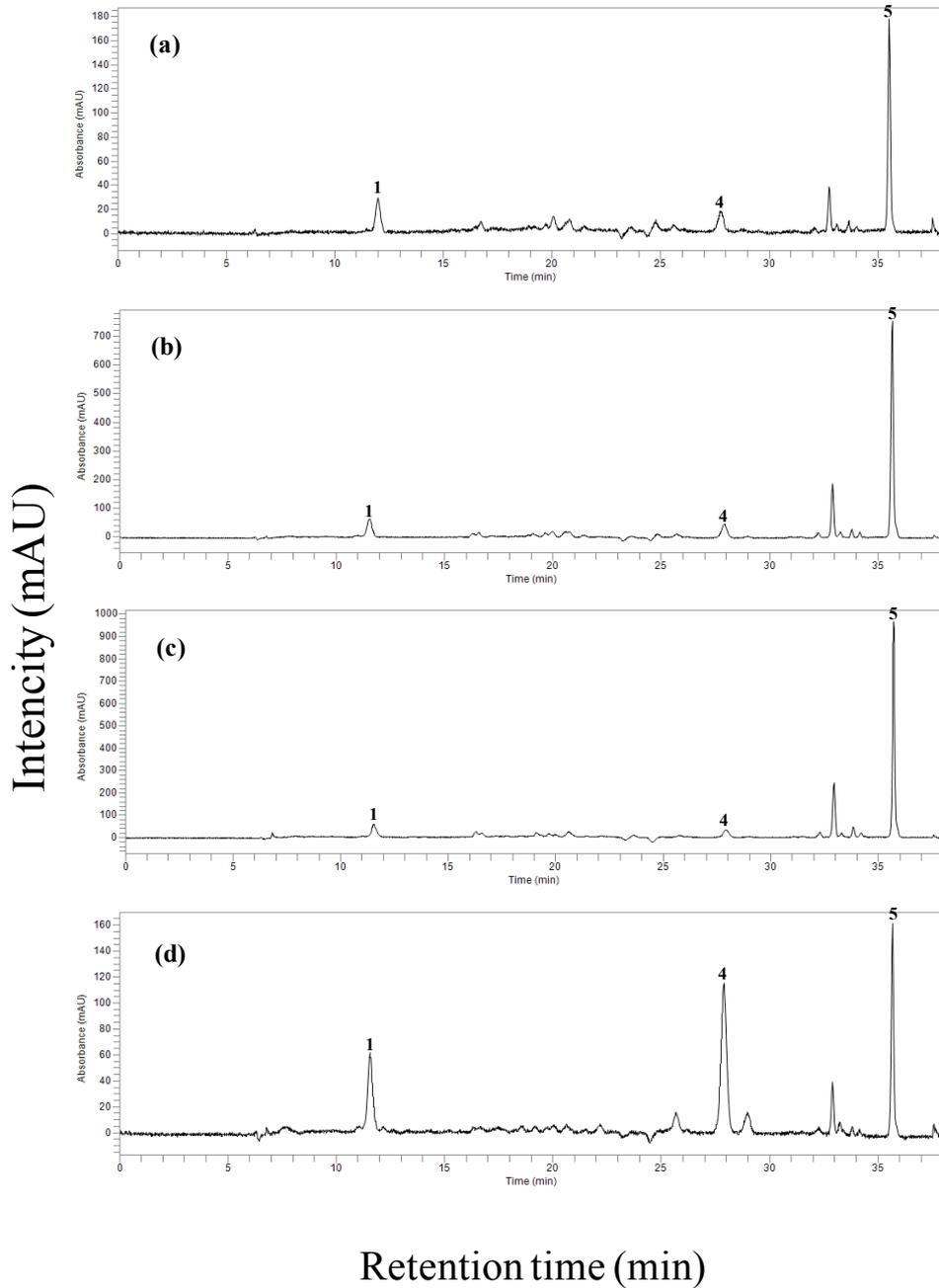


Fig. 4. HPLC chromatograms of carotenoids in various tomatoes. (a), General tomato; (b), Cherry tomato; (c), Red date tomato; (d), Orange date tomato; Peak 1, Lutein; 4, β -Carotene; 5, Lycopene.

건과 HPLC 분석시간을 조절에 따라 단계별[분석조건 ①-⑤]로 분석법을 검토하였다(Fig. 3).

가. [분석조건 ①] : 기존에 선택한 분석법에서 라이코펜을 제외한 카로티노이드 4가지 성분의 피크가 모두 20분 이후에 분리되므로, 이동상 용매 B[ethyl acetate]에 변화를 주어 총 분석 시간을 단축시켰다. 이동상 용매 B를 60%로 시작하여 4분에 70%로 증가시킨 후, 6분에 75%로 증가시켜 7분까지 유지시켰다. 10분에는 100%까지 증가시켜 15분까지 유지시킨 후, 15.1분에 60%로 급격히 감소시키고 20분에는 0%로 감소

시켜 주었다. 그 결과 라이코펜의 피크가 19.7분에 나타났다.

나. [분석조건 ②] : [분석조건 ①]로 분석한 결과, 분석 시간이 충분히 길지 않아 라이코펜의 피크가 분석 도중 끊겨 분석 시간을 증가시켰다. 이동상 용매 B를 60%에서 4분에 70%로 증가시키고, 6분에 75%로 증가시켜 7분까지 유지시켰다. 10분에는 100%까지 증가시켜 15분까지 유지시킨 후, 15.1분에 60%까지 급격하게 감소시키고 25분까지 유지시켜 주었다. 그 결과 라이코펜이 19.7분에 분리되었다.

다. [분석조건 ③] : [분석조건 ②]에서 완전히 분리되지

Table 3. Carotenoid contents (mg/kg dry wt.) in tomatoes (n=3)

No ^{a)}	RT (min)	Trivial names	Tomato				
			General	Cherry	Red date	Orange date	Average ^{o)}
1	11.95	Lutein	19.01±4.46a	11.12±2.01b	24.19±1.20a	8.24±1.05b	15.64±6.95
2	12.47	Zeaxanthin	ND ^{b)}	ND	ND	ND	ND
3	26.10	α -Carotene	ND	ND	ND	ND	ND
4	27.99	β -Carotene	12.66±2.30ab	7.46±1.28c	11.60±0.28b	15.64±1.43a	11.84±3.32
5	36.42	Lycopene	433.04±156.19a	422.58±28.46a	626.18±56.50a	87.39±11.89b	392.30±214.86
Total			464.71±162.95ab	441.16±31.75b	661.97±57.99a	111.27±14.38c	419.78±217.91

^{a)}No, the elution orders of carotenoids from HPLC chromatogram. ^{b)}ND, not detected. ^{o)}n=12.

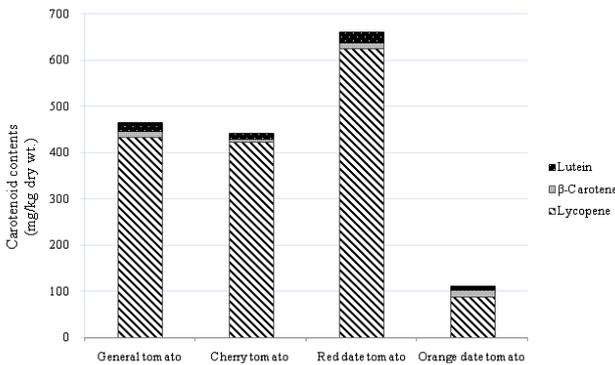


Fig. 5. Total carotenoid contents (mg/kg dry wt.) in tomatoes. (These data are recalculated from Table 3)

많은 루테인과 제아크산틴의 피크를 분리시키기 위해, 이동상 용매 구배조건을 변화시킴과 동시에 총 분석 시간을 증가시켰다. 이동상 용매 B를 60%로 시작하여 4분에 70%로 증가시키고, 6분에 75%로 증가시켜 17분까지 유지시켜주었다. 그 후에 20분에 100%까지 증가시켜 25분까지 유지한 후, 25.1분에 60%로 감소시켜 35분까지 유지하였다.

라. [분석조건 ④] : [분석조건 ③]에서도 분리되지 않은 루테인과 제아크산틴 피크를 분리하기 위해, 이동상 용매 B를 60%에서 7분에 70%로 증가시키고, 9분에 75%까지 증가시킨 후, 20분까지 유지시켰다. 23분에는 100%까지 증가시켜 28분까지 유지하고, 28.1분에 60%로 감소시켜 38분까지 유지시켰으나, 루테인과 제아크산틴 피크는 완전히 분리되지 않았다.

마. [분석조건 ⑤] : 이동상 용매 B를 60%로 시작하여 4분에 70%까지 증가시키고, 9분에 75%로 증가시켰다. 20분까지 유지시킨 후, 23분에 100%로 증가시켜 28분까지 유지시켰다. 28.1분에는 60%로 급격히 감소시켜 38분까지 유지하였다. 그 결과, 루테인은 11.6분, 제아크산틴은 12.2분, 알파카로틴은 26.2분, 베타카로틴은 27.9분, 라이코펜은 36.4분에서 분리되었다.

이동상 용매 B의 구배조건에 변화(60 → 100%)를 주어 분석한 결과, 카로티노이드 5성분 표준품의 피크가 모두 잘 분리된 [분석조건 ⑤]로 분석법을 확립하였다. 기 보고된 다

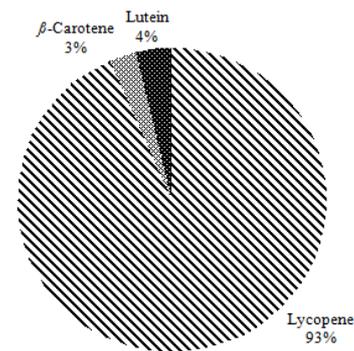


Fig. 6. The ratio (%) of individual carotenoids (average of four kinds) to the total carotenoid contents in tomatoes. (These data are recalculated from Table 3 and Fig. 5)

른 분석법들은 여러 가지 용매를 혼합하여 제조하는 불편함이 있는 반면(Burns *et al.*, 2003; Dias *et al.*, 2010), 이 분석법은 이동상 용매 제조가 비교적 간편하다는 장점이 있다. 또한 [분석조건 ⑤]는 총 분석시간이 38분으로 분석시간이 50~60분 소요되는 기존 분석법들(Gomez-prieto *et al.*, 2003; Tuan *et al.*, 2012)보다 상대적으로 짧다는 장점이 있어 다량의 시료 분석 시에 유리하다. [분석조건 ⑤]보다 분석시간이 짧은 분석법도 보고되었지만(Rao *et al.*, 1998; Dias *et al.*, 2010), 분석 가능한 카로티노이드 성분(3종류: 크립토잔틴, 라이코펜, 베타카로틴)이 본 실험에서 확립한 카로티노이드 분석법(5종류: 루테인, 제아크산틴, 알파카로틴, 베타카로틴, 라이코펜)보다 적었다.

토마토 종류에 따른 카로티노이드 함량

토마토 4종류(일반토마토, 방울토마토, 빨간색 및 주황색 대추방울토마토) 내 라이코펜을 분리하여 정량화하였다. 토마토에서는 라이코펜을 포함한 카로티노이드 5가지 성분(루테인, 제아크산틴, 알파카로틴, 베타카로틴, 라이코펜) 중 루테인, 베타카로틴, 라이코펜 3종류만 검출되었다(Fig. 4). 총 카로티노이드 함량은 빨간색 대추방울토마토(729.9) > 일반토마토(464.7) > 방울토마토(441.2) > 주황색 대추방울토마토(111.3 mg/kg dry wt.) 순으로 높았고, 각 카로티노이드 성

분별 함량은 라이코펜(4종류 토마토 평균값(392.3) > 루테인(15.6) > 베타카로틴(11.8 mg/kg dry wt.) 순으로 높게 나타났다(Table 3, Fig. 5). 4종류의 토마토 내의 총 카로티노이드 함량 중 평균적으로 라이코펜이 93%로 대부분을 차지하였고, 루테인은 4%, 베타카로틴은 3%를 차지하였다(Fig. 6).

루테인 함량은 일반토마토와 빨간색 대추방울토마토에서 다른 두 종류보다 조금 높은 것으로 나타났다. 베타카로틴은 주황색 대추방울토마토에서 15.6 mg/kg dry wt.로 다른 토마토 보다 다소 높았다. 라이코펜의 함량은 빨간색 대추방울 토마토(626.2) > 일반토마토(433.0) > 방울토마토(422.6) > 주황색 대추방울토마토(87.4 mg/kg dry wt.) 순으로 높게 나타났고, 빨간색 대추방울토마토는 주황색 대추방울토마토 보다 약 7.2배 높았다. 가장 짙은 붉은색을 띤 빨간색 대추방울 토마토(626.2)에서 라이코펜 함량이 다른 세 종류의 토마토 보다 상대적으로 높게 나타났고, 주황색 대추방울토마토(87.4 mg/kg dry wt.)에서 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과는 라이코펜이 짙은 붉은색을 띄게 하는 색소이므로, 상대적으로 붉은색 색소를 적게 가지고 있는 주황색 대추방울토마토에서 함량이 다른 토마토에 비해 낮게 나타난 것으로 생각된다 (Gomez-Prieto *et al.*, 2003).

본 실험에서 일반토마토 내 라이코펜 함량이 Markovic 등(2006) 보다 높게 나타났고(50.3 mg/kg wet wt.), 방울 토마토 내 라이코펜 함량은 Toma 등(2008) 보다 낮게 나타났다(1,240 mg/kg dry wt.). Burns 등(2003)에서는 일반 토마토 내 라이코펜 함량이 522.5 mg/kg dry wt.로 본 실험 보다 조금 높게 나타났으나, 총 카로티노이드 함량 중 차지하는 비율은 58%에 불과했다. 이는 본 실험에서는 포함하지 않은 카로티노이드 성분 phytoene이 다량 포함되어 있어 총 카로티노이드 함량 대비 라이코펜의 함량은 낮아진 것으로 보인다. Sun 등(2012)에서는 토마토가 성숙함에 따라 라이코펜 함량은 0 → 250 mg/kg fresh wt.까지 증가했으며, 총 카로티노이드 함량 또한 0 → 300 mg/kg fresh wt.까지 증가하였다. 이와 같은 결과는 과실의 성숙 정도에 따라 카로티노이드 함량이 증가하기 때문에, 토마토 내 라이코펜 함량이 차이를 보이는 것으로 생각된다.

Acknowledgment

This research was supported by Bio-industry Technology Development Program (311022-05-5-SB020), Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), Rural Development Administration (RDA) and Korea Forest Service (KFS).

References

Agarwal, S., & Rao, A. V. (1998). Tomato lycopene and low density lipoprotein oxidation: a human dietary

- intervention study. *Lipids* 33(10), 981-984.
- Ascenso, A., Pinho, S., Eleutério, C., Praça, F. G., Bentley, M. V. L. B., Oliveira, H., Santos, C., Silva, O., & Simões, S. (2013). Lycopene from tomatoes: vesicular nanocarrier formulations for dermal delivery. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(30), 7284-7293.
- Burns, J., Fraser, P. D., & Bramley, P. M. (2003). Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry*, 62(6), 939-947.
- Campbell, J. K., Canene-Adams, K., Lindshield, B. L., Boileau, T. W. M., Clinton, S. K., & Erdman, J. W. (2004). Tomato phytochemicals and prostate cancer risk. *The Journal of Nutrition*, 134(12), 3486S-3492S.
- Campbell, J. K., Engelmann, N. J., Lila, M. A., & Erdman, J. W. (2007). Phytoene, phytofluene, and lycopene from tomato powder differentially accumulate in tissues of male Fisher 344 rats. *Nutrition Research*, 27(12), 794-801.
- Dias, M. G., Oliveira, L., Camões, M., Filomena G. F. C., Nunes, B., Versloot, P., & Hulshof, Paul J. M. (2010). Critical assessment of three high performance liquid chromatography analytical methods for food carotenoid quantification. *Journal of Chromatography A*, 1217(21), 3494-3502.
- Emenhiser, C., Sander, L. C., & Schwartz, S. J. (1995). Capability of a polymeric C 30 stationary phase to resolve cis-trans carotenoid isomers in reversed-phase liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 707(2), 205-216.
- Gómez-Prieto, M. S., Caja, M. M., Herraiz, M., & Santa-María, G. (2003). Supercritical fluid extraction of all-trans-lycopene from tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(1), 3-7.
- Henry, L. K., Catignani, G. L., & Schwartz, S. J. (1998). Oxidative degradation kinetics of lycopene, lutein, and 9-cis and all-trans β -carotene. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(7), 823-829.
- Kun, Y., Ssonko Lule, U., & Xiao-Lin, D. (2006). Lycopene: Its properties and relationship to human health. *Food Reviews International*, 22(4), 309-333.
- Lee, M. T., & Chen, B. H. (2002). Stability of lycopene during heating and illumination in a model system. *Food Chemistry*, 78(4), 425-432.
- Maiani, G., Periago Castón, M. J., Catasta, G., Toti, E., Cambrodón, I. G., Bysted, A., Granado-Lorencio, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, M., Böhm, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., & Schlemmer, U. (2009). Carotenoids: actual knowledge on food

- sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(Sp. 2), S194-S218.
- Markovi, K., Hruškar, M., & Vahi, N. (2006). Lycopene content of tomato products and their contribution to the lycopene intake of Croatians. *Nutrition Research*, 26(11), 556-560.
- Rao, A. V., Waseem, Z., & Agarwal, S. (1998). Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Research International*, 31(10), 737-741.
- Ross, A. B., Vuong, L. T., Ruckle, J., Synal, H. A., Schulze-König, T., Wertz, K., Rumbeli, R., Liberman, R. G., Skipper, P. L., Tannenbaum, S. R., Bourgeois, A., Guy, P. A., Enslin, M., Nielsen, I. L. F., Kochhar, S., Richelle, M., Fay, L. B., & Williamson, G. (2011). Lycopene bioavailability and metabolism in humans: an accelerator mass spectrometry study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 93(6), 1263-1273.
- Sathish, T., Udayakiran, D., Himabindu, K., Sridevi, P. L. D., Kezia, D., & Bhojaraju, P. (2009). HPLC method for the determination of lycopene in crude oleoresin extracts. *Asian Journal of Chemistry*, 21(1), 139.
- Sun, L., Yuan, B., Zhang, M., Wang, L., Cui, M., Wang, Q., & Leng, P. (2012). Fruit-specific RNAi-mediated suppression of SINCED1 increases both lycopene and β -carotene contents in tomato fruit. *Journal of Experimental Botany*, 63(8), 3097-3108.
- Toma, R. B., Frank, G. C., Nakayama, K., & Tawfik, E. (2008). Lycopene content in raw tomato varieties and tomato products. *Journal of Foodservice*, 19(2), 127-132.
- Tuan, P. A., Park, N. I., Park, W. T., Kim, Y. B., Kim, J. K., Lee, J. H., Lee, S. H., Yang, T. J., & Park, S. U. (2012). Carotenoids accumulation and expression of carotenogenesis genes during seedling and leaf development in Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). *Plant Omics* 5(2), 143-148.
- West, C. E., & Poortvliet, E. J. (1993). The carotenoid content of foods with special reference to developing countries. The Netherlands: Department of Human Nutrition, Wageningen Agricultural University, 7-172.