

국내산 고구마의 품종 및 조리방법별 비타민 C 함량

- 연구노트 -

황인국¹ · 변재윤¹ · 김경미¹ · 정미남² · 유선미^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부
²농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터

Vitamin C Quantification of Korean Sweet Potatoes by Cultivar and Cooking Method

In Guk Hwang¹, Jae Yoon Byun¹, Kyung Mi Kim¹, Mi Nam Chung², and Seon Mi Yoo^{1*}

¹Dept. of Agro-food Resources, National Academy of Agricultural Science,
Rural Development Administration, Gyeonggi 441-857, Korea

²Dept. of Bioenergy Crop Research Center, National Institute of Crop Science,
Rural Development Administration, Jeonnam 534-833, Korea

ABSTRACT This study was carried out to investigate the amounts of vitamin C in 22 sweet potato cultivars cultivated in Korea as well as evaluate the effects of cooking methods on vitamin C contents. Methods for determining vitamin C was validated by determining linearity, specificity, limit of detection (LOD), limit of quantification (LOQ), precision, and accuracy using HPLC. Results showed high linearity in the calibration curve with a coefficient of correlation (R^2) of 0.9999. The LOD and LOQ values for ascorbic acid (AA) were 0.03 and 0.10 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The relative standard deviations (RSDs) for intra- and inter-day precision of AA were less than 5%. The recovery rates of AA and dehydroascorbic acid (DHA) were in the range from 98.21~98.64 and 98.28~100.68%, respectively. Depending on cultivar, contents of AA, DHA, and total ascorbic acid (TA) in sweet potatoes varied in the range from 37.76 (Sinyulmi)~89.25 (Juhwangmin), 23.37 (Sinjami)~63.94 (Sinyulmi), and 68.52 (Sinjami)~115.95 (Juhwangmin) mg/100 g, respectively, and their average levels were 56.98 \pm 12.53, 36.46 \pm 9.03, and 93.44 \pm 12.00 mg/100 g, respectively. The average TA levels were also dependent on flesh color, which was significantly higher in general sweet potato and orange sweet potato than in purple sweet potato. Steaming, baking, and frying processes significantly reduced AA (10.61~58.41%), DHA (2.57~52.81%), and TA (14.54~49.92%) contents in sweet potatoes. The highest reduction of AA, DHA, and TA contents was observed after baking, followed by steaming and frying. We expect that the basic information provided by this study will be useful to plant breeders and food scientists.

Key words: ascorbic acid, dehydroascorbic acid, sweet potato, cooking, method validation

서 론

비타민 C는 인체 내에서 합성이 되지 않아 반드시 식품으로 섭취해야 하는 필수 수용성 비타민이며, 일일 권장섭취량은 성인 여자는 75 mg/day, 성인 남자는 90 mg/day, 어린이의 경우 45 mg/day이고 주요 급원식품은 과일, 채소 등이다(1). 비타민 C는 산화형(dehydroascorbic acid, DHA)과 환원형(ascorbic acid, AA)의 두 가지 형태로 존재하며, 인체 내에서 콜라겐 합성, 이온 흡수 촉진, 항산화 작용, 면역기능 향상 등 많은 생물학적 반응에 참여하는 것으로 알려져 있다(1-3). 환원형인 AA가 생리활성을 나타내는 주된 활성형이지만, 산화형인 DHA도 인체 내에서 쉽게 AA로 전환되

어 AA와 같은 생리활성을 보이기 때문에 특정 농식품의 비타민 C 함량 수준을 검토할 때에는 AA와 DHA 함량 모두를 검토하는 것이 중요하다(4).

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 메꽃과에 속하는 쌍떡잎식물작물로 중남미가 원산지이며, 우리나라에는 1796년에 처음 도입되어 오랫동안 식량자원으로 이용되어 왔다(5). 고구마는 다른 작물에 비해 재배 환경에 영향을 적게 받고 재배가 용이하며 단위면적당 수확량도 많아 우리나라 전역에 널리 재배되고 있는 경제성 높은 작물이다(5,6). 고구마는 건조중량으로 75% 이상이 전분으로 이루어져 있어 쌀, 보리 등과 함께 우수한 탄수화물 공급원으로 그대로 식용하거나 전분, 분말, 주정, 음료, 물엿, 바이오에탄올 원료 등 다양한 용도로 활용되고 있다(5,7). 또한 고구마에는 식이섬유와 칼슘, 철 등의 무기질, 비타민 C, β -carotene 등이 풍부하여 영양학적으로 우수한 식품으로 평가되고 있을 뿐 아니라 항산화 활성, 항돌연변이 활성, 성인병 예방 등의 효과가 확인

Received 6 February 2014; Accepted 2 April 2014

*Corresponding author.

E-mail: yoosm@korea.kr, Phone: +82-31-299-0460

되면서 기능성식품 소재로의 활용이 높아지고 있다(5,8-10).

고구마에 관한 연구로는 주로 고구마를 이용한 가공식품 개발에 관한 연구(11-15), 고구마 품종별 이화학적 품질특성(5,7,16-19) 및 기능성 평가에 관한 연구(6,9,10,20,21)가 보고되어 있다. 특히 국내산 고구마의 이화학적 특성으로 전분 특성(16,17), 분말 특성(7,18)과 일반성분, 무기성분 등 영양성분(5,19)을 분석한 결과가 많이 보고되어 있지만, 고구마에 다량 존재한다고 보고된 비타민 C 함량 분석에 대한 연구는 매우 낮은 실정이다. 고구마의 비타민 C 함량은 20~30 mg/100 g(fresh weight) 내외로 하루에 100 g을 섭취하면 성인 요구량의 33~40% 가량을 충족시킬 수 있어 매우 우수한 비타민 C 급원이므로(22), 최근 개발된 국내산 고구마의 품종에 따른 비타민 C 함량에 대한 정보 제공은 소비자에게 유용한 정보가 될 것으로 생각된다. 또한 고구마는 생식하거나 찌기, 굽기, 튀김 등의 가열처리 후 소비되므로 조리방법에 의한 비타민 C 함량 변화에 관한 연구도 수행될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 비타민 C 분석법 검증 과정을 통해 분석결과의 신뢰도를 확보하고, 국내산 고구마 22품종과 조리방법에 따른 고구마의 AA, DHA 및 TA(total ascorbic acid) 함량을 비교·분석하여 추후 육종, 가공식품 개발 및 식생활에서 영양정보 제공 등의 연구에 기초자료로 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 연구에서는 2013년도 농촌진흥청 바이오에너지작물 센터에서 수확한 22품종의 고구마를 공급받아 시료로 사용하였다. 고구마는 공급받은 즉시 물로 세척 후 동결건조 하였다. 동결건조 된 각 시료는 분쇄하여 -70°C에서 보관하면서 비타민 C 분석용 시료로 사용하였다. 또한 조리 실험용 시료는 4°C에 저장하여 사용하였다. AA, tris(2-carboxyethyl)phosphine hydrochloride(TCEP), ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA), metaphosphoric acid(MPA), trifluoroacetic acid(TFA) 표준품은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, 그 밖의 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

조리방법

고구마의 조리방법은 일반적으로 많이 사용하고 있는 steaming, baking 및 frying 등 3가지 방법을 사용하였고, 시료는 껍질고구마 품종인 건풍미, 연자미 및 해피미와 분질고구마 품종인 대유미, 신율미 및 신천미를 사용하였다. 각각의 시료는 물로 세척한 후 건조하여 표면의 수분을 제거한 다음 steaming 및 baking 처리를 위해 1/2로 세절하였고, frying 처리를 위해 0.8×0.8×6.0 cm 크기로 세절하여 준비

하였다. Steaming 처리는 찜통에서 충분히 증기를 발생시킨 다음 약 500 g의 시료를 넣어 25분간 steam 처리한 후 20분간 방냉하였다. Baking 처리는 200°C로 예열된 오븐에 약 500 g의 시료를 넣고 50분간 처리한 후 20분간 방냉하였다. Frying 처리는 식용유를 약 500 g의 시료가 충분히 잠길 만큼 프라이팬에 넣고 170°C에서 15분간 처리한 후 10분간 방냉하였다. 각각의 조리방법으로 처리된 시료는 껍질을 제거하여 동결건조 후 분쇄하여 -70°C에서 보관하면서 비타민 C 분석용 시료로 사용하였다.

분석시료 제조

모든 시료의 AA 및 DHA 추출은 실온에서 빛을 차단한 조건에서 진행하였다. AA 추출은 동결 건조된 시료 0.50±0.01 g을 50 mL centrifuge tube에 담아 1 mM EDTA가 포함된 5% MPA 용액 25 mL를 가하고 homogenizer(Polytron RT 2500 E, Kinematica AG, Luzern, Switzerland)로 2분간 균질화 시켰다. 균질화한 시료는 4°C에서 10분간 10,000 rpm으로 원심분리한 후 상등액을 25 mL로 정용하였다. 추출물은 0.45 µm polyvinylidene fluoride(PVDF) syringe filter(Whatman, Clifton, NJ, USA)로 여과하여 HPLC를 이용하여 분석하였다. DHA 정량은 TCEP 시약을 사용하여 DHA를 AA로 환원시킨 후 AA를 분석한 값을 TA로 하여 TA 함량과 AA 함량의 차이를 이용하여 산출하였다. DHA 추출은 동결 건조된 시료 0.50±0.01 g을 50 mL centrifuge tube에 담아 1 mM EDTA와 5 mM TCEP가 포함된 5% MPA 용액 25 mL를 가하고 homogenizer로 2분간 균질화 시켰다. 균질화한 시료는 4°C에서 10분간 10,000 rpm으로 원심분리한 후 상등액을 25 mL로 정용하였다. 추출물은 0.45 µm PVDF syringe filter로 여과하여 HPLC를 이용하여 분석하였다.

HPLC 분석

AA의 분석에 이용된 HPLC는 Agilent Technologies 1200 series HPLC system(Palo Alto, CA, USA)을 사용하였다. Column으로 Mightysil RP-18 GP column(4.6×250 mm, 5 µm, Kanto Chemical, Tokyo, Japan)을 사용하였고, column의 온도는 20°C로 유지하였다. 이동상은 0.1% TFA, 유속은 0.6 mL/min, 시료 주입량은 10 µL, 검출기는 UV detector를 사용하여 254 nm에서 분석하였다.

분석법 검증

고구마의 AA 및 DHA 분석을 위해 분석법에 대한 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantification, LOQ), 정밀성(precision) 및 정확성(accuracy)을 검증하였다. 직선성은 AA 표준물질을 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20, 40 µg/mL로 단계적으로 희석한 AA 표준용액을 HPLC로 3회 반복 분석하여 표준용액의 피크 면적과 농도를 변수로 검량선을 작성하고 검량선의 상관계수(R²)

값을 이용하여 직선성을 확인하였다. 또한 분석물의 AA에 대한 검출 및 정량이 가능한 최저 농도를 확인하기 위한 검출한계는 $3.3 \times \sigma / s$ (σ : 반응의 표준편차, s : 표준검량선의 기울기), 정량한계는 $10 \times \sigma / s$ 식을 이용하여 계산하였다. 정밀성은 하나의 균질화된 시료(대유미)를 준비한 후 intra-day test와 inter-day test로 나누어 실험을 실시하였다. Intra-day test는 하루 동안 5회 반복 측정된 결과로, inter-day test는 5일 동안 하루에 3회 반복 측정된 결과의 상대표준편차(RSD)를 측정하여 평가하였다. 정확성은 대유미 품종을 시료로 회수율(recovery) 시험을 통하여 확인하였고, AA 표준용액은 150, 600 및 1,500 $\mu\text{g/mL}$ 농도로 준비하여 사용하였다. 각각의 AA 표준용액 1 mL를 추출 전 시료(대유)에 spike하고, AA 및 DHA 추출 과정에 따라 추출한 뒤 HPLC 분석을 통하여 얻은 각각의 농도의 비를 이용하여 아래의 공식에 의해서 회수율을 계산하였다.

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{C_{\text{spiked sample}} - C_{\text{sample}}}{C_{\text{add}}} \times 100$$

$C_{\text{spiked sample}}$: Concentration of test sample added standard solution

C_{sample} : Concentration of test sample

C_{add} : Concentration of standard solution

통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리 간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 또한 조리방법에 따른 비타민 C 함량이 품종 및 조리방법과 이들의 교호 작용에 대한 영향을 알아보기 위해 two-way ANOVA를 분석하였다.

결과 및 고찰

분석법 검증

AA의 표준용액을 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20, 40 $\mu\text{g/mL}$ 로 단계적으로 희석한 후 HPLC로 분석하여 검량선을 작성하

Table 1. Regression equation, limits of detection (LOD) and limits of quantitation (LOQ) of ascorbic acid (n=3)

Regression equation	Correlation coefficient (R^2)	LOD ($\mu\text{g/mL}$)	LOQ ($\mu\text{g/mL}$)
$y=22.446x+1.3185$	0.9999	0.03	0.10

Table 2. Intra- and inter-day precision for ascorbic acid analysis

Parameters	Ascorbic acid	
	Mean \pm SD ¹⁾ ($\mu\text{g/g}$)	RSD ²⁾ (%)
Intra-day test (n=5)	593.03 \pm 6.96	1.17
Inter-day test (n=5)	591.08 \pm 10.64	1.80

¹⁾Mean \pm SD in quintuplicate (n=5).

²⁾RSD: relative standard deviation.

였다. 검량선의 회귀식은 $y=22.446x+1.3185$ 이었고, 상관계수(R^2)는 0.9999로 양호한 직선성을 나타냈다. 또한 분석대상물질의 검출이 가능한 최저 농도인 검출한계(LOD)와 정량이 가능한 최저 농도인 정량한계(LOQ)는 반응의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거하는 방법을 이용하여 산출한 결과 검출한계는 0.03 $\mu\text{g/mL}$, 정량한계는 0.10 $\mu\text{g/mL}$ 로 확인되었다(Table 1). 분석치 간의 일치 정도를 판단하는 정밀성은 intra-day test와 inter-day test를 시행한 결과의 상대표준편차를 산출하여 평가하였다(Table 2). Intra-day test 결과의 상대표준편차는 1.17%, inter-day test 결과의 상대표준편차는 1.80%로 5% 이하의 우수한 정밀성을 나타내었다. 정확성은 회수율을 측정하여 회수율이 90~110% 범위, 상대표준편차가 2% 이하를 만족하는 지를 평가하였다. AA와 TA의 회수율은 각각 98.21~98.64% 및 98.28~100.68% 범위, 상대표준편차는 각각 0.44~2.63% 및 0.64~1.16% 범위로 매우 높은 정확성을 나타내었다(Table 3).

품종별 고구마의 비타민 C 함량

국내산 고구마 22품종에 대한 AA, DHA 및 TA 함량을 분석한 결과는 Table 4와 같이 나타났다. 분석 결과 AA 함량은 37.76~89.25 mg/100 g의 범위로 분포하였고, 56.98 \pm 12.53 mg/100 g의 평균 함량을 나타내었다. 대부분 품종의 AA 함량은 40~70 mg/100 g 범위에 존재하였으며, 신올미가 37.76 mg/100 g으로 가장 낮았고 주황미가 89.28

Table 3. Recoveries of ascorbic acid and total ascorbic acid for the validation of analytical methods

	Original quantity ($\mu\text{g}/0.5 \text{ g}$)	Spiked quantity (μg)	Observed quantity ($\mu\text{g}/0.5 \text{ g}$)	Recovery (%)	RSD ¹⁾ (%)
Ascorbic acid	294.17 \pm 2.42	150	441.48 \pm 3.88	98.21 \pm 2.59	2.63
		600	886.01 \pm 2.60	98.64 \pm 0.43	0.44
		1,500	1,770.67 \pm 9.75	98.43 \pm 0.65	0.66
Total ascorbic acid	417.34 \pm 5.02	150	568.36 \pm 1.74	100.68 \pm 1.16	1.16
		600	1,015.88 \pm 5.51	99.76 \pm 0.92	0.92
		1,500	1,891.58 \pm 9.38	98.28 \pm 0.63	0.64

¹⁾RSD: relative standard deviation.

Table 4. Ascorbic acid, dehydroascorbic acid, and total ascorbic acid contents in various sweet potato cultivars cultivated in Korean

Cultivars	Contents (mg/100 g, dry weight)						
	Ascorbic acid		Dehydroascorbic acid		Total ascorbic acid		
	Mean±SD ¹⁾	RSD ²⁾ (%)	Mean±SD	RSD (%)	Mean±SD	RSD (%)	
General	Geonmi	61.43±1.64 ^{f3)}	2.69	43.08±0.34 ^{cd}	0.79	104.51±1.31 ^{bc}	1.25
	Geonpungmi	57.24±0.72 ^h	1.25	39.32±2.62 ^{ef}	6.67	96.56±1.91 ^{e-g}	1.98
	Gogeonmi	47.40±0.40 ^{kl}	0.84	47.01±1.52 ^b	3.24	94.41±1.13 ^{gh}	1.19
	Dahomi	75.39±0.39 ^b	0.52	28.84±0.13 ^{ij}	0.44	104.23±0.26 ^{bc}	0.25
	Daeyumi	67.91±0.20 ^d	0.30	31.37±0.18 ^{hi}	0.57	99.28±0.38 ^{de}	0.38
	Singeonmi	39.79±0.31 ⁿ	0.77	37.77±3.48 ^f	9.22	77.56±3.79 ^{kl}	4.88
	Sinyulmi	37.76±0.03 ⁿ	0.08	63.94±0.08 ^a	0.12	101.70±0.05 ^{cd}	0.04
	Sincheonmi	51.57±0.98 ^j	1.89	46.20±3.63 ^{bc}	7.85	97.76±2.65 ^{d-g}	2.71
	Yeonmi	58.40±1.56 ^{gh}	2.68	36.65±1.00 ^f	2.73	95.05±0.56 ^{f-h}	0.59
	Yeonhwangmi	44.00±0.23 ^m	0.52	36.42±0.50 ^{fg}	1.38	80.42±0.73 ^{jk}	0.91
	Yulmi	47.69±0.17 ^k	0.35	29.61±1.22 ^{h-j}	4.12	77.30±1.38 ^{kl}	1.79
	Jeonmi	70.50±0.18 ^c	0.25	30.85±0.73 ^{hi}	2.35	101.36±0.90 ^{cd}	0.89
	Jeoungmi	50.05±0.52 ^j	1.03	37.39±0.40 ^f	1.06	87.44±0.12 ⁱ	0.14
	Jinhongmi	54.18±1.17 ⁱ	2.17	28.49±0.85 ^{ij}	2.99	82.67±0.32 ^j	0.39
Hayanmi	60.12±1.83 ^{fg}	3.04	43.18±1.93 ^{cd}	4.46	103.31±3.76 ^{bc}	3.63	
Haelssimi	64.26±0.35 ^e	0.54	42.34±1.48 ^{de}	3.49	106.60±1.83 ^b	1.71	
Mean±SD	55.48±10.91 ^{B4)}		38.90±9.04 ^A		94.38±10.09 ^A		
Purple	Borami	46.59±0.35 ^{kl}	0.76	28.89±0.23 ^{ij}	0.79	75.48±0.13 ^l	0.17
	Sinjami	45.15±3.14 ^{lm}	6.95	23.37±2.21 ^k	9.47	68.52±0.93 ^m	1.35
	Yeonjami	54.05±1.81 ⁱ	3.36	38.35±1.15 ^f	3.00	92.40±0.67 ^h	0.72
Mean±SD	48.60±4.77 ^B		30.20±7.58 ^A		78.80±12.28 ^B		
Orange	Sinhwangmi	61.17±0.56 ^f	0.91	33.02±0.94 ^{gh}	2.84	94.19±0.38 ^{gh}	0.40
	Juhwangmi	89.25±0.05 ^a	0.06	26.70±0.99 ^{jk}	3.72	115.95±1.05 ^a	0.90
	Haepimi	69.60±1.45 ^{cd}	2.09	29.39±2.86 ^{h-j}	9.72	98.99±4.31 ^{d-f}	4.36
Mean±SD	73.34±14.41 ^A		29.70±3.17 ^A		103.04±11.43 ^A		

¹⁾Mean±SD in triplicate (n=3).

²⁾RSD: relative standard deviation.

³⁾Values with different small letters within a column are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

⁴⁾Values with different capital letters within columns are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

mg/100 g으로 가장 높은 함량을 보였다. DHA 함량은 23.37~63.94 mg/100 g 범위였고, 평균 함량은 36.46±9.03 mg/100 g이었다. 함량별 분포를 살펴보면 16품종이 20~40 mg/100 g 범위에 존재하였고 40 mg/100 g 이상이 5품종이었으며, 신율미가 63.94 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. TA 함량도 68.52에서 115.95 mg/100 g으로 넓은 분포 범위를 보였고, 평균값은 93.44±12.00 mg/100 g이었다. 함량별 고구마 품종의 분포를 보면 70~90 mg/100 g 범위에 6품종, 90~110 mg/100 g 범위에 14 품종이 존재하는 것으로 나타났으며, 주황미가 115.95 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 보였고 신자미가 68.52 mg/100 g으로 가장 낮게 분석되었다.

육질색 종류별(일반, 자색 및 주황) 고구마의 평균 AA, DHA 및 TA 함량을 비교한 결과(Table 4) 평균 AA 함량은 주황색고구마(73.34 mg/100 g) > 일반고구마(55.48 mg/100 g) > 자색고구마(48.60 mg/100 g) 순이었으며, 주황색 고구마가 유의적으로($P<0.05$) 높은 것으로 나타났다. 평균 DHA 함량의 경우에는 일반고구마(38.90 mg/100 g) > 자색 고구마(30.20 mg/100 g) > 주황색고구마(29.70 mg/100 g)

순으로 높은 함량을 나타냈지만, 육질색 종류에 따른 유의적인 차이는 없었다. 평균 TA 함량은 주황색고구마(103.04 mg/100 g) > 일반고구마(94.38 mg/100 g) > 자색고구마(78.80 mg/100 g) 순으로 주황색고구마와 일반고구마가 자색고구마에 비해 유의적으로($P<0.05$) 높은 함량을 보였다.

식품성분표(23)에서는 일반고구마의 AA 함량은 74.18 mg%(dry weight)이었고, Kim과 Ryu(19)는 일반고구마와 자색고구마의 AA 함량이 각각 48.70 및 63.40 mg%(dry weight)로 보고하여 본 연구 결과의 AA 함량 분석치와 유사하였다. 반면 Kwon(24)의 연구에서 호박고구마의 AA 함량은 20 mg/100 g(dry weight)으로, Huang 등(25)은 타이완에서 재배된 5가지 품종의 고구마 AA 함량이 7.57~9.80 mg%(dry weight) 범위인 것으로 보고하여 본 연구 결과보다 낮은 함량을 나타냈다. 이는 고구마에 함유된 비타민 C 함량이 품종, 재배법, 토양, 수분공급, 일조량 등과 같은 재배환경, 저장 조건의 차이에서 비롯된 결과로 생각된다(4). 추후 재배지역, 재배년도, 재배법, 저장 조건 등의 요인에 의한 고구마의 비타민 C 함량 변이에 대한 연구가 체계적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

조리방법에 따른 고구마의 비타민 C 함량

조리방법에 따른 고구마 6품종의 AA, DHA 및 TA 함량을 분석한 결과는 Table 5와 같다. Two-way ANOVA를 실시한 결과 AA, DHA 및 TA 함량은 품종 및 조리방법에 영향을 받았으며, 품종과 조리방법 간 교호작용이 있는 것으로 나타났다(Table 5). Steaming, baking 및 frying 처리 후 AA, DHA 및 TA 함량은 품종 간 차이를 보이며 유의적으로($P<0.05$) 감소하였다. AA 함량은 steaming 처리 후 19.05~35.73%, baking 처리 후 30.14~58.41%, frying 처리 후 10.61~26.49% 범위로 감소하였다. DHA 함량의 경우 steaming 처리 후 2.57~51.97%, baking 처리 후 8.23~52.81%, frying 처리 후 18.45~49.49% 범위로 감소하였으며, TA의 함량도 steaming 처리 후 16.37~40.55%, baking 처리 후 25.19~49.92%, frying 처리 후 14.54~35.73% 범위로 감소하는 것으로 나타났다. 조리방법에 따른 AA와 TA 함량 감소량은 baking> steaming> frying 처리 순으로 컸는데, 이는 baking 방법의 조리온도가 높고 조리시간

이 길기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

AA는 자체가 불안정하여 높은 온도와 pH, 금속이온, 산소, 빛, 산화효소 등에 의해 쉽게 DHA로 산화되는 단점을 가지고 있고, DHA의 산화가 더 진행되면 diketogluconic acid(DKG)로 변환되며 특히 열에 민감하다(26). Burgos 등(27)의 연구에서는 감자의 AA 함량은 microwaving> baking> boiling 처리 순으로 감소량이 큰 것으로 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 보였다. Haase와 Weber(28)의 연구에서는 감자를 이용한 french fries와 potato chips 제조 시 AA 및 TA 함량은 감소한 반면에 DHA 함량은 짧은 조리시간(2.5~3분) 동안 열에 의해 AA가 급격하게 DHA로 변환되어 증가하는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 차이를 보였다. 이는 조리시간의 차이에서 기인한 것으로 생각되며, 본 연구에서는 조리시간이 길어 AA가 DHA로 변환된 후 계속적인 가열처리에 의해 DHA가 파괴되어 나타난 결과로 판단된다. Barros 등(26)은 밤을 roasting 및 boiling 처리 후 AA 함량이 품종에 따라 차이를 보이며 7~75% 범위로

Table 5. Ascorbic acid, dehydroascorbic acid, and total ascorbic acid contents of raw, steamed, roasted, and fried sweet potatoes

Cultivars	Cooking	Contents (mg/100 g, dry weight)		
		Ascorbic acid	Dehydroascorbic acid	Total ascorbic acid
Geonpungmi (general)	Raw	57.24±0.72 ^{aB1)2)}	39.32±2.62 ^{aC}	96.56±1.91 ^{aAB}
	Steamed	46.34±0.30 ^{cB}	31.92±1.23 ^{bB}	78.26±1.04 ^{cA}
	Baked	39.99±1.17 ^{dB}	32.25±2.73 ^{bB}	72.24±1.76 ^{dA}
	Fried	51.17±1.30 ^{bB}	31.36±2.46 ^{bB}	82.52±1.16 ^{bA}
Daeyumi (general)	Raw	67.91±0.20 ^{aA}	31.37±0.18 ^{aD}	99.28±0.38 ^{aA}
	Steamed	53.29±0.97 ^{cA}	22.63±3.96 ^{bC}	75.92±3.06 ^{cA}
	Baked	43.41±1.09 ^{dA}	21.42±1.50 ^{bC}	64.83±0.43 ^{dC}
	Fried	59.20±0.97 ^{bA}	25.09±1.67 ^{bC}	84.30±0.88 ^{bA}
Sinyulmi (general)	Raw	37.76±0.03 ^{aD}	63.94±0.08 ^{aA}	101.70±0.05 ^{aA}
	Steamed	26.52±1.11 ^{bD}	38.30±2.20 ^{bA}	64.82±1.77 ^{bB}
	Baked	22.81±0.76 ^{cF}	35.73±1.24 ^{bA}	58.54±0.51 ^{bD}
	Fried	27.76±1.61 ^{bD}	37.60±2.70 ^{bA}	65.36±1.09 ^{bE}
Sincheonmi (general)	Raw	51.57±0.98 ^{aC}	46.20±3.63 ^{aB}	97.76±2.65 ^{aAB}
	Steamed	41.49±1.49 ^{bC}	33.32±3.49 ^{bBC}	74.81±2.00 ^{cA}
	Baked	30.79±0.68 ^{cD}	21.80±1.45 ^{cC}	52.59±0.78 ^{dE}
	Fried	44.10±1.71 ^{bC}	36.09±2.89 ^{bA}	80.19±1.24 ^{bB}
Haepimi (orange)	Raw	69.60±1.45 ^{aA}	29.39±2.86 ^{aD}	98.99±4.31 ^{aA}
	Steamed	44.73±0.85 ^{cB}	14.12±2.02 ^{cD}	58.85±1.23 ^{cC}
	Baked	28.95±0.39 ^{dE}	20.63±0.43 ^{bC}	49.58±0.31 ^{dF}
	Fried	57.05±2.20 ^{bA}	14.84±2.22 ^{cD}	71.89±0.20 ^{bD}
Yeonjami (purple)	Raw	54.05±1.81 ^{aC}	38.35±1.15 ^{aC}	92.40±0.67 ^{aB}
	Steamed	39.91±1.06 ^{cC}	37.36±3.07 ^{aA}	77.28±2.10 ^{bA}
	Baked	35.39±0.44 ^{dC}	35.19±1.19 ^{abA}	70.58±0.94 ^{cB}
	Fried	46.51±1.82 ^{bC}	31.27±2.78 ^{bB}	77.78±1.26 ^{bC}
A (cultivar)		***	***	***
B (cooking method)		***	***	***
A×B		***	***	***

1) Values represent the mean±SD (n=3).

2) Values with different small letters within a column of the same variety of sweet potato are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Values with different capital letters within the same column of the same cooking methods are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

*** $P<0.001$. Statistical significance of experimental factors was calculated based on two-way ANOVA.

감소하는 것으로 보고하였고, 또한 많은 연구에서 다양한 식품을 boiling, steaming, frying, baking, microwaving 등 가열처리 시 열에 민감한 비타민 C 함량은 감소하는 것으로 보고하였다(29-31).

요 약

본 연구에서는 비타민 C 분석법을 검증하고 국내산 고구마 22품종과 조리방법에 따른 고구마의 비타민 C 함량을 분석하였다. 비타민 C 분석법을 검증하기 위해 직선성, 검출한계, 정량한계, 정밀성 및 정확성을 확인하였다. 그 결과 직선성의 상관계수 값이 0.9999이었으며, 검출한계는 0.03 µg/mL, 정량한계는 0.10 µg/mL, 정밀성의 상대표준편차는 5% 이하, 정확성인 회수율은 95% 이상으로 우수하였다. 고구마 품종별 AA, DHA 및 TA 함량은 각각 37.76(신울미)~89.25(주황미), 23.37(신자미)~63.94(신울미) 및 68.52(신자미)~115.95(주황미) mg/100 g 범위로 품종에 따라 큰 차이를 보였다. 고구마의 평균 AA, DHA 및 TA 함량은 각각 56.98 ± 12.53, 36.46 ± 9.03 및 93.44 ± 12.00 mg/100 g이었으며, 대부분 품종의 AA 함량은 40~70 mg/100 g 범위에, DHA 함량은 20~40 mg/100 g 범위에, TA 함량은 70~90 mg/100 g 범위에 존재하였다. 그리고 육질색 종류에 따른 평균 TA 함량은 일반고구마와 주황색고구마가 자색고구마에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다. Steaming, baking 및 frying 처리에 따른 AA, DHA 및 TA 함량은 조리 처리 후 10.61~58.41, 2.57~52.81 및 14.54~49.92% 범위로 유의적으로 감소하였고, baking 처리가 steaming 및 frying 처리에 비해 함량 감소량이 큰 것으로 나타났다. 고구마의 비타민 C 함량은 품종 및 조리방법에 따라 변이가 큰 것으로 나타났으며, 추후 연구의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(PJ009440) 및 2014년도 농촌진흥청(국립농업과학원) 박사후연수과정지원사업에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Phillips KM, Tarragó-Trani MT, Gebhardt SE, Exler J, Patterson KY, Haytowitz DB, Pehrsson PR, Holden JM. 2010. Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *J Food Compos Anal* 23: 253-259.
- Choi WS, Kim YJ, Jung JY, Kim TJ, Jung BM, Kim ER, Jung HK, Chun HN. 2005. Research for selecting the optimized vitamin C analysis method. *Korean J Food Sci Technol* 37: 861-865.
- Chebroly KK, Jayaprakasha GK, Yoo KS, Jifon JL, Patil BS. 2012. An improved sample preparation method for quantification of ascorbic acid and dehydroascorbic acid by HPLC. *LWT-Food Sci Technol* 47: 443-449.
- Tudela JA, Espin JC, Gil MI. 2005. Vitamin C retention in fresh-cut potatoes. *Postharvest Biol Technol* 26: 75-84.
- Woo KS, Ko JY, Kim HY, Lee YH, Jeong HS. 2013. Changes in quality characteristics and chemical components of sweet potatoes cultivated using different methods. *Korean J Food Sci Technol* 45: 305-311.
- Lee HH, Kang SG, Rhim JW. 1999. Characteristics of anti-oxidative and antimicrobial activities of various cultivars of sweet potato. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1090-1095.
- Park SJ, Kim JM, Kim JE, Jeong SH, Park KH, Shin M. 2011. Characteristics of sweet potato powders from eight Korean varieties. *Korean J Food Cookery Sci* 27: 19-29.
- Lee YM, Bae JH, Kim JB, Kim SY, Chung MN, Park MY, Ko JS, Song J, Kim JH. 2012. Changes in the physiological activities of four sweet potato varieties by cooking condition. *Korean J Nutr* 45: 12-19.
- Park JS, Bae JO, Choi GH, Chung BW, Choi DS. 2011. Antimutagenicity of Korean sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 37-46.
- Woo KS, Seo HI, Lee YH, Kim HY, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung KY, Nam MH, Oh IS, Jeong HS. 2012. Antioxidant compounds and antioxidant activities of sweet potatoes with cultivated conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 519-525.
- Jang GY, Li M, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee J, Jeong HS. 2013. Optimization of processing conditions and selection of optimum species for sweet potato chips. *Korean J Food & Nutr* 26: 565-572.
- Cheon JE, Baik MY, Choi SW, Kim CN, Kim BY. 2013. Optimization of *Makgeolli* manufacture using several sweet potatoes. *Korean J Food & Nutr* 26: 29-34.
- Oh HE, Hong JS. 2008. Quality characteristics of sulgidduk added with fresh sweet potato. *Korean J Food Cookery Sci* 24: 501-510.
- Ko SH, Seo EO. 2010. Quality characteristics of muffins containing purple colored sweetpotato powder. *J East Asian Soc Dietary Life* 20: 272-278.
- Park EJ, Park GS. 2012. Quality characteristics of jelly prepared with purple sweet potato powder. *Korean J Food Culture* 27: 730-736.
- Park JY, Ahn YS, Shin DH, Lim ST. 1999. Physicochemical properties of Korean sweet potato starches. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 1-8.
- Choi CR, Rhim JW, Park YK. 2000. Physicochemical properties of purple-freshed sweet potato starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 1-5.
- Kim KE, Kim SS, Lee YT. 2010. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1476-1480.
- Kim SY, Ryu CH. 1995. Studies on the nutritional components of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Korean J Food Sci Technol* 27: 819-825.
- Song J, Chung MN, Kim JT, Chi HY, Son JR. 2005. Quality characteristics and antioxidative activities in various cultivars of sweet potato. *Korean J Crop Sci* 50: 141-146.
- Kwak CS, Lee KJ, Chang JH, Park JH, Cho JH, Park JH, Kim KM, Lee MS. 2013. *In vitro* antioxidant, anti-allergic and anti-inflammatory effects of ethanol extracts from Korean sweet potato leaves and stalks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 369-377.
- Lee GH, Kwon BK, Yim SY, Oh MJ. 2000. Phenolic compounds in sweet potatoes and their antioxidative activity. *Korean J Postharvest Sci Technol* 7: 331-336.

23. National Rural Resources Development Institute. 2006. *Food composition table*. 7nd ed. National Rural Resources Development Institute, R.D.A, Suwon, Korea. p 61.
24. Kwon SM. 2010. Development of processed food utilizing pumpkin sweet potatoes. *MS Thesis*. Hanseo University, Seosan, Korea.
25. Huang YC, Chang YH, Shao YY. 2006. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chem* 98: 529-538.
26. Barros AIRNA, Nunes FM, Gonçalves B, Bennett RN, Silva AP. 2011. Effect of cooking on the total vitamin C contents and antioxidant activity of sweet chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). *Food Chem* 128: 165-172.
27. Burgos G, Auqui S, Amoros W, Salas E, Bonierbale M. 2009. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *J Food Compos Anal* 22: 533-538.
28. Haase NU, Weber L. 2003. Ascorbic acid losses during processing of French fries and potato chips. *J Food Eng* 56: 207-209.
29. Hwang IG, Kim HY, Lee J, Kim HR, Cho MC, Ko IB, Yoo SM. 2011. Quality characteristics of Cheongyang pepper (*Capsicum annuum* L.) according to cultivation region. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1340-1346.
30. Lee JJ, Jung HO. 2012. Changes in physicochemical properties of *Spergularia marina* Griseb by blanching. *Korean J Food Preserv* 19: 866-872.
31. Somsub W, Kongkachuichai R, Sungpuag P, Charoensiri R. 2008. Effects of three conventional cooking methods on vitamin C, tannin, myo-inositol phosphates contents in selected Thai vegetables. *J Food Compos Anal* 21: 187-197.