

## 로스팅 단계에 따른 아라비카 커피(*Coffea arabica*) 원두의 형태 및 총 폴리페놀, 카페인, 클로로겐산의 함량 변화

김설아 · 정선우 · 안현주 · 임찬규 · 전미경 · 장연진

국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소

### Changes in Morphology, Total Polyphenols, Caffeine, and Chlorogenic Acid in Beans of Arabica Coffee (*Coffea arabica*) during Roasting

Seolah Kim, Sun Woo Chung, Hyun Joo An, Chan Kyu Lim, Mi Kyoung Jeon, and Yeon Jin Jang

Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science

**ABSTRACT** Coffee comprises of numerous bioactive compounds, and has recently been cultivated in temperate regions. We investigated the morphological and phytochemical changes in beans of *Coffea arabica* cvs. Catuai, Caturra, and Geisha cultivated in the Republic of Korea, at three roasting stages: green bean, 1st crack, and 2nd crack. Morphological changes were estimated by considering the size parameters and weights. Total polyphenols were determined using spectrophotometry, and caffeine and chlorogenic acid were quantified using high-performance liquid chromatography with the appropriate standards. Increased volume and decreased weight were observed in the beans of all three cultivars after roasting. The content of total polyphenols was about 13.74 mg gallic acid equivalent/g dry weight. The analysis of variance revealed that the contents of total polyphenols was insignificant among the cultivars and there was no significant change in the roasting stages. Compared to green bean, decreased contents of caffeine were obtained in the 1st crack and 2nd crack of ‘Catuai’. Chlorogenic acid contents were dramatically decreased in the 1st and 2nd crack of all three cultivars, as compared to green bean. Among the cultivars, ‘Geisha’ showed maximum decrease in chlorogenic acid (about 96%, 1.87 mg/mL) at 2nd crack, compared to the green bean (44.72 mg/mL). These results provide information about the characteristics of various coffee cultivars grown in the Republic of Korea during roasting.

**Key words:** Catuai, Caturra, Geisha, coffee bean, phytochemicals

## 서 론

꼭두서니과(Rubiaceae) 코페아속(*Coffea*)에 속하는 커피나무는 그 원두를 음료로 가공하여 이용하는 대표적인 기호 작물의 하나로 전 세계적으로 하루에 약 22억 5천만 잔가량이 소비되고 있다(Denoed 등, 2014). 커피는 약 80여종이 있으며 아프리카 대륙과 마다가스카르섬이 기원으로 알려져 있다(Ruas 등, 2003). 이 중 아라비카(*C. arabica*)와 로부스타(*C. canephora*)종은 세계적으로 주로 소비되는 종이다(Alonso-Salces 등, 2009). 아라비카와 로부스타종은 유전적으로 염색체 수가 다르며 이에 기인하여 재배 환경, 수량, 품질 등에서 차이가 있다(Kim과 Seo, 2020). 일반적으로 아라비카는 로부스타보다 품질이 우수하다고 여겨지

며 가격이 비싸게 형성되어 있고(Alonso-Salces 등, 2009) 전 세계 커피 생산량 중 60%를 차지하고 있는 것으로 알려져 있다(Kim과 Seo, 2020). 최근 소비자들의 고급 제품에 대한 선호도가 증가하면서 저가형 블렌딩 커피보다 아라비카종을 사용하는 스페셜티 커피에 대한 수요가 급증하고 있다(Kim과 Seo, 2020).

아라비카종에서 육성된 품종이 다양한데 대표적으로 ‘Catuai’, ‘Caturra’, ‘Geisha’ 등이 있으며 품종별로 독특한 풍미, 향미를 가지고 있다(Kim과 Seo, 2020). ‘Catuai’는 ‘Mundo Novo’와 ‘Caturra’를 교배하여 육성된 품종으로 수고가 낮고 절간장이 짧으며 다수성이다(Kim과 Seo, 2020). 커피의 열매가 나무에서 잘 떨어지지 않아 강풍과 강우에 강한 특징을 지닌다. 원두는 산미가 강한 편이며 균형 잡힌

Received 24 January 2022; Revised 23 March 2022; Accepted 23 March 2022

Corresponding author: Seolah Kim, Research Institute of Climate Change and Agriculture, 1285, Aejo-ro, Jeju-si, Jeju 63240, Korea, E-mail: sulah1234@korea.kr

© 2022 The Korean Society of Food Science and Nutrition.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

풍미가 특징이다(Seninde와 Chambers, 2020). ‘Caturra’는 ‘Bourbon’ 품종의 돌연변이로 수량성과 품질이 모두 우수하지만, 병해충에 약한 편이다(Seninde와 Chambers, 2020). 이 품종은 ‘Catuai’에 비해 풍부한 향과 풍미를 지니고 있는 것으로 알려졌다(Kim과 Seo, 2020). ‘Geisha’는 에멘에서 유래되어 에티오피아 Kaffa 지역에 도착하였다(Silvestrini 등, 2007). 수고가 높고 녹병에 저항성이 있으며, 열매는 큰 편으로 커피에서 과일향, 벌꿀향, 꽃향이 나는 등 향미가 다양하여 품질이 우수하다고 평가되는 품종이다(Silvestrini 등, 2007). 2016년에는 파운드당 600달러로 경매에 낙찰되며 가장 비싼 커피로 알려져 있다(Kim과 Seo, 2020).

로스팅(roasting process)은 원두에 열을 가해 커피를 볶는 과정을 말하며 이 과정 동안 화학적인 변화가 일어나 커피의 맛과 향이 풍부해진다. 로스팅으로 원두의 온도가 서서히 상승하여 170°C에 도달하면 이때부터 원두 내부에서 마이야르(maillard) 반응, 캐러멜(caramel)화, 지질의 산화, 페놀 화합물의 분해 등 이화학적 반응이 동시다발적으로 발생한다(Song 등, 2019). 가열로 원두 내부의 압력이 높아져 세포가 폭발하면서 2회에 걸쳐 원두가 터지는데 첫 번째는 1st crack, 두 번째는 2nd crack으로 정의한다(Seninde와 Chambers, 2020). 1st crack에서 원두는 산미가 높아지며 향이 풍부해지는 특징을 보인다. 로스팅이 더 진행됨에 따라 나타나는 2nd crack에서는 원두 표면에 작은 기름방울이 발생하고 산미와 향을 잃어가며 탄 맛이 증가한다(Seninde와 Chambers, 2020).

커피의 효능에 주요한 역할을 하는 물질로 카페인(caffeine, 1,3,7-trimethylpurine-2,6-dione), 클로로젠산(chlorogenic acid, 3-*O*-caffeoylquinic acid) 등이 알려져 있다(Nuhu, 2014). 카페인은 알칼로이드 물질로 파킨슨병과 제2형 당뇨병의 위험을 감소시키는 것으로 알려져 있다(Grosso 등, 2017). 클로로젠산은 커피의 쓴맛을 부여하는 물질로 특히 항산화 효능을 보이는 물질이다(Fuller와 Rao, 2017). 커피의 생리활성 물질은 품종과 원산지, 재배 조건(기온, 일사량, 영양 성분 등), 수확 후 처리(필프 제거 방법 등), 저장 기간과 조건, 로스팅 조건, 추출 방법 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다(Bitter 등, 2020; Borém 등, 2020; de Mejia와 Ramirez-Mares, 2014; Król 등, 2020).

국내 커피 시장은 지속해서 규모가 커지고, 한반도 온난화에 따른 차세대 신소득작물로 커피가 대두되고 있다. 이에 따라 최근 제주도, 전라남도 고흥, 화순 등의 지역에서 시설을 이용한 커피 재배가 이루어지고 있다(Moon 등, 2019). 이처럼 한반도 남부 지역을 중심으로 국내에서 커피 재배가 확산하고 있음에도 불구하고 국산 커피에 대한 생리학적 및 이화학적 특성에 대한 연구가 미비하다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 재배한 ‘Catuai’, ‘Caturra’, ‘Geisha’ 아라비카 커피 원두의 로스팅 전후에 따른 형태 및 이화학적 특성의 변화에 대하여 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료 및 로스팅 조건

본 실험에 사용한 아라비카 커피 품종은 ‘Catuai’, ‘Caturra’, ‘Geisha’로 제주특별자치도 제주시에 위치한 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소의 폴리에틸렌 필름으로 피복된 시설(33°28'N, 126°31'E)에서 동절기 최저 15°C 이상으로 유지하며 재배하였다. 커피 열매는 품종당 10그루에서 나무당 600 g을 2021년 6월에 일괄 수확하였다.

커피 열매의 과육(pulp)과 파치먼트(parchment)는 de Melo Pereira 등(2019)에 따라 워시드 방법(wet processing)으로 제거하였다. 수분 함량이 11~13%까지 도달한 원두(green bean)는 로스팅하기 전까지 -18°C에 보관하였다.

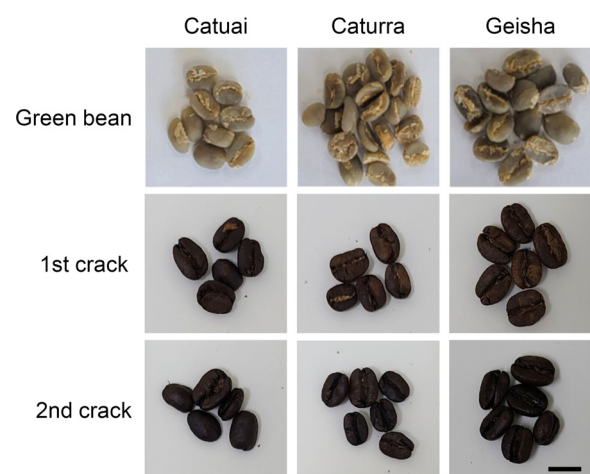
각 품종의 green bean은 Proaster TH SR-002 로스터(Taehawn Co., Ltd., Bucheon, Korea)를 이용하여 두 단계(1st crack과 2nd crack)로 로스팅하였다. 로스팅은 로스터기 설명서(Taehawn Co., Ltd.)에 따라 10분 동안 진행하였으며 각 단계의 로스팅 온도는 Table 1과 같다. Green bean, 1st crack, 2nd crack의 원두(Fig. 1)는 성분 분석 전까지 -18°C에서 보관하였다.

### 원두의 형태 측정

품종별 원두의 로스팅 전후 길이, 직경, 두께를 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측량하였다. 원두의 부피를 조사하기 위해 Dutra 등(2001)에 따라 반구(hemisphere) 형태로 모델링하여 그 값을 추정하였다. 원두의 중량을 측정하기 위해

**Table 1.** Temperatures to roast beans of *Coffea arabica* cvs. Catuai, Caturra, and Geisha (°C)

Cultivar	Starting point	1st crack	2nd crack
Catuai	210	185	231
Caturra	210	191	230
Geisha	210	196	231



**Fig. 1.** Beans of *Coffea arabica* cvs. Catuai, Caturra, and Geisha under each roasting stage. Scale bar=10 mm.

50립중을 조사하였다.

$$\frac{\text{원두의 부피}}{\text{부피}} = \frac{1}{2} \times \left( \frac{4}{3} \times \pi \times \frac{\text{길이}}{2} \times \frac{\text{직경}}{2} \times \text{두께} \right)$$

### 메탄올 추출물 제조

시료를 동결 건조하여 막자와 막자사발을 이용하여 분쇄하였다. 이를 70% 메탄올에 침지하여 초음파파쇄기(UCP-10, JeioTech, Daejeon, Korea)를 사용하여 60°C에서 1시간 동안 균질화하였다. 이후 4°C에서 10분 동안 6,000×g에서 원심분리하여 상층액을 0.45 µm 필터(Minisart, Sartorius, Goettingen, Germany)에 여과한 후 메탄올 추출물을 -18°C에서 보관하였다.

### 총 폴리페놀 함량 측정

원두의 총 폴리페놀 함량을 분석하기 위해 Folin-Ciocalteu 방법을 이용하였다(George 등, 2015). 2.5 mL의 10배 희석한 Folin-Ciocalteu 시약과 2 mL의 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (w/v) 용액을 메탄올 추출물과 45°C에서 15분간 반응시킨 후 분광광도계(OPTIZEN Alpha, K Lab., Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 화합물 함량은 mg gallic acid equivalents(GAE)/g dry weight(DW)로 나타내었다.

### 카페인과 클로로겐산 함량 측정

카페인과 클로로겐산 함량은 Agilent HPLC 1200 system(Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)과 다이오드 배열 검출기(Agilent Technologies)를 이용하여 측정하였다. 분석을 위해 40°C로 가열한 Symmetry C18(4.6 × 150 mm, 5 µm, Waters Corp., Milford, MA, USA) 컬럼에 메탄올 추출물 5 µL를 주입하였다. 이동상의 용매는 (a) 3차 증류수(0.1% formic acid)와 (b) acetonitrile(0.1% formic acid)의 혼합액으로 조성은 0~1분: 95%(a), 2~15

분: 95~75%(a), 16~30분: 75%(a), 31~40분: 50%(a), 45~50분: 95%(a)의 조건으로 분당 1 mL의 유속으로 gradient elution을 실시하였고, 총 분석 시간은 50분이었다. 메탄올 추출물 내 카페인과 클로로겐산의 함량을 정량하기 위해 표준시약인 카페인(CAS 58-08-2, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)과 클로로겐산(CAS 327-97-9, Sigma-Aldrich)을 농도별(0.25, 0.50, 1.00 mg/mL)로 흡광도와 머무름시간(retention time)을 각각 278 nm와 325 nm에서 측정하여 선형회귀분석을 수행하였다(Fig. 2).

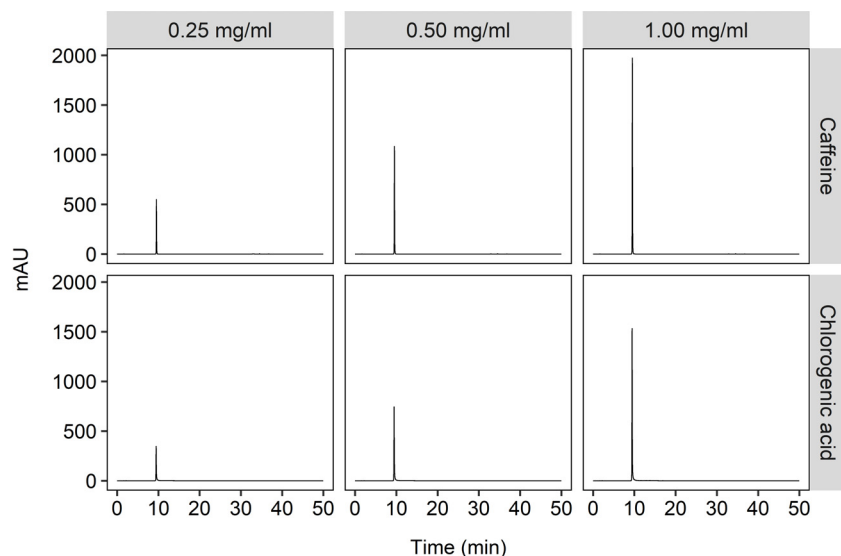
### 통계분석

통계분석은 R 통계프로그램 Ver. 4.12(R Core Team, Vienna, Austria)와 agricolae 패키지 Ver. 1.3-5(de Mendiburu, 2019)를 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리 간 차이의 유의성을 확인하기 위해 이원 분산분석을 하였다. 사후 검정은 유의수준  $P < 0.05$ 에서 Tukey's honestly significant difference test를 통해 시행하였다.

## 결과 및 고찰

### 형태학적 변화

아라비카 3품종 'Catuai', 'Caturra', 'Geisha' 원두의 로스팅에 따른 형태학적 변화를 살펴보기 위해 종경, 횡경, 두께, 부피, 50립중을 조사하였다(Table 2). 모든 품종의 원두에서 로스팅 이후 종경이 증가하였다. 그러나 로스팅 정도(1st crack과 2nd crack)에 따른 유의차는 'Caturra' 원두에서만 나타났다. 횡경과 두께는 모든 품종에서 로스팅 전에 비해 로스팅 후의 원두에서 유의하게 증가하였지만, 로스팅 정도(1st crack과 2nd crack)에 따라서는 변화하지 않았다. 부피를 구하기 위해 모델링한 결과, 3품종의 원두에서 로스팅 후에 약 150~180%까지 그 값이 증가하였다(Table 2).



**Fig. 2.** Representative chromatogram for the standards of caffeine at 278 nm and chlorogenic acid at 325 nm at 0.25, 0.50, and 1.00 mg/mL: caffeine and chlorogenic acid were detected at 9.5 and 9.4 minutes, respectively.

**Table 2.** Length, width, thickness, volume, and weight of beans of *Coffea arabica* cvs. Catuai, Caturra, and Geisha during roasting

Cultivar	Stage	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Volume (m <sup>3</sup> ×10 <sup>-9</sup> )	Weight (g per 50 seeds)
Catuai	Green bean	10.24±0.41 <sup>e1)2)</sup>	7.29±0.19 <sup>e</sup>	3.65±0.18 <sup>d</sup>	48.84±7.28 <sup>f</sup>	8.50±0.31 <sup>b</sup>
	1st crack	11.61±0.35 <sup>cd</sup>	8.33±0.62 <sup>c</sup>	6.40±2.56 <sup>b</sup>	88.79±17.49 <sup>cd</sup>	6.33±0.32 <sup>c</sup>
	2nd crack	12.22±0.67 <sup>bc</sup>	9.42±1.03 <sup>bc</sup>	5.43±0.53 <sup>b</sup>	94.41±14.54 <sup>c</sup>	5.97±0.64 <sup>c</sup>
Caturra	Green bean	9.46±0.42 <sup>f</sup>	6.82±0.45 <sup>e</sup>	4.48±1.35 <sup>d</sup>	46.71±6.75 <sup>f</sup>	8.68±0.29 <sup>b</sup>
	1st crack	11.01±0.22 <sup>d</sup>	8.57±0.52 <sup>c</sup>	4.86±0.50 <sup>b</sup>	83.81±13.17 <sup>d</sup>	6.43±0.25 <sup>c</sup>
	2nd crack	12.81±1.27 <sup>bc</sup>	9.23±0.46 <sup>bc</sup>	5.52±0.55 <sup>b</sup>	91.85±16.52 <sup>cd</sup>	6.00±0.70 <sup>c</sup>
Geisha	Green bean	12.26±1.05 <sup>d</sup>	8.47±0.20 <sup>d</sup>	4.38±0.41 <sup>c</sup>	67.41±10.58 <sup>c</sup>	12.22±0.23 <sup>a</sup>
	1st crack	12.57±1.03 <sup>ab</sup>	9.53±0.58 <sup>ab</sup>	5.64±0.06 <sup>a</sup>	106.78±16.16 <sup>b</sup>	9.43±0.47 <sup>b</sup>
	2nd crack	12.70±0.12 <sup>a</sup>	9.72±0.43 <sup>a</sup>	6.12±0.30 <sup>a</sup>	116.20±13.86 <sup>a</sup>	8.37±1.00 <sup>b</sup>
Cultivar		***	***	***	***	***
Stage		***	***	***	***	***
Cultivar×Stage		*	ns	*	ns	***

<sup>1)</sup>Means with standard deviations from ten replicates.

<sup>2)</sup>Means within a column followed by different letters are significantly different according to Tukey's honestly significant difference test at  $P<0.05$ .

Significant at \* $P<0.05$  or \*\*\* $P<0.001$ , respectively. ns: not significant.

‘Geisha’ 원두는 로스팅 정도(1st crack과 2nd crack)에 따라 부피가 유의하게 증가하였지만, ‘Catuai’와 ‘Caturra’ 원두에서는 부피가 변화하지 않았다. 다양한 커피 품종에서 로스팅하는 동안 원두의 부피가 증가하는 것이 보고되었는데(Dutra 등, 2001; Moon 등, 2019), 이는 열에 의해 원두 내의 이산화탄소가 팽창하면서 발생한 고압이 원두의 공극을 확대하기 때문이다(Schenker 등, 2000).

아라비카 3품종 원두의 로스팅 전후의 50립중을 비교했을 때 green bean 대비 1st crack과 2nd crack에서는 약 25~30%의 중량이 감소하였다(Table 2). 그러나 로스팅 후인 1st crack과 2nd crack 간 중량의 변화는 유의차가 없었다. 원두의 중량 감소는 로스팅 과정 중에 원두 내 수분과 이산화탄소가 방출되고 많은 화합물이 기화 혹은 승화된 것이 관련되어 있다고 보고되었다(Dutra 등, 2001). 기존 보고에 따르면 로스팅 단계별 무게 손실률은 12~35%로 다양한데, 이는 로스팅 시간과 온도 그리고 로스팅하는 원두의 양에 영향을 받기 때문이다(Franca 등, 2009; Lee 등, 2013).

로스팅 단계에 따라 부피가 증가하고 중량이 감소하지만, 일정 시간 이후에는 형태학적 변화가 일어나지 않는 것으로 알려져 있다(Seninde와 Chambers, 2020). 본 실험에서 관찰된 형태학적 변화는 기존 실험 결과와 유사한 경향(Dutra 등, 2001; Seninde와 Chambers, 2020)을 보였으며 ‘Catuai’와 ‘Caturra’ 원두의 경우 1st crack에서 최종 단계에 가까운 것으로 판단된다. ‘Geisha’ 원두는 1st crack 이후에도 부피가 증가하기 때문에(Table 2) 다음에 로스팅 시간을 연장하여 조사할 필요가 있다.

### 총 폴리페놀 함량

본 실험에서 사용한 3품종의 원두에서 총 폴리페놀 함량은 평균 13.74 mg GAE/g DW로 로스팅 전후 그 함량이 유의하게 변하지 않았다(Table 3). 원두의 총 폴리페놀 함량

에 미치는 영향은 커피의 품종, 재배 환경부터 로스팅 조건에 이르기까지 다양하다(Hečimović 등, 2011; Kwak 등, 2017). 특히 로스팅의 지속 시간이 총 폴리페놀 함량에 영향을 미친다고 알려져 있다(Cho 등, 2014; Somporn 등, 2012). 폴리페놀은 80°C 이상의 온도에서 에피머(epimerization)화 등에 의해 구조가 불안정해지거나 단위체로 분해되는 것으로 알려져 있다(Hečimović 등, 2011; Król 등, 2020). 따라서 로스팅 후 원두 내 총 폴리페놀의 함량이 전보다 감소할 수 있다(Król 등, 2020). 하지만 로스팅 중 열에 의해 가수분해 효소나 산화효소의 비활성화가 폴리페놀 분해보다 선행되어 총 폴리페놀 함량이 증가하거나 변하지 않을 수 있다고 보고되어있다(Galaz 등, 2017). 이는 커피뿐만 아니라 타 작물에서도 폴리페놀이 열에 의해서 증감하는 것으로 확인되었다(Choi 등, 2006; Dewanto 등, 2002; Król 등, 2020). 폴리페놀은 다양한 작물의 항산화 활성에 크게 기여하는 물질로 커피에서도 항산화 활성을 결정하는 주요 물질이다(Bobková 등, 2020; Kwak 등, 2017; Nuhu 등, 2014). 본 연구에서는 세 품종 모두에서 로스팅하는 동안 총 폴리페놀의 함량이 변화하지 않기 때문에 이러한 함량 변화가 항산화 활성에 영향을 미치지 못할 것으로 생각된다. 하지만 폴리페놀 종류에 따라서 항산화 활성이 다양하기 때문에(Bobková 등, 2020; Kwak 등, 2017) 양적 변화 이외의 질적 변화에 관한 추가적인 연구가 요구된다.

### 카페인과 클로로겐산 함량

카페인을 표준시약과 비교 시 아라비카 3품종의 원두 모두에서 로스팅 전후로 머무름시간 9.4분에서 검출되었으며(Fig. 2, Fig. 3), 그 함량은 Table 3과 같다. ‘Catuai’ 원두는 로스팅 이후에 카페인 함량이 감소하였지만, 로스팅 정도(1st crack과 2nd crack)에 따라서는 함량의 차이가 나타나지 않았다. ‘Caturra’와 ‘Geisha’ 원두의 경우는 로스팅의

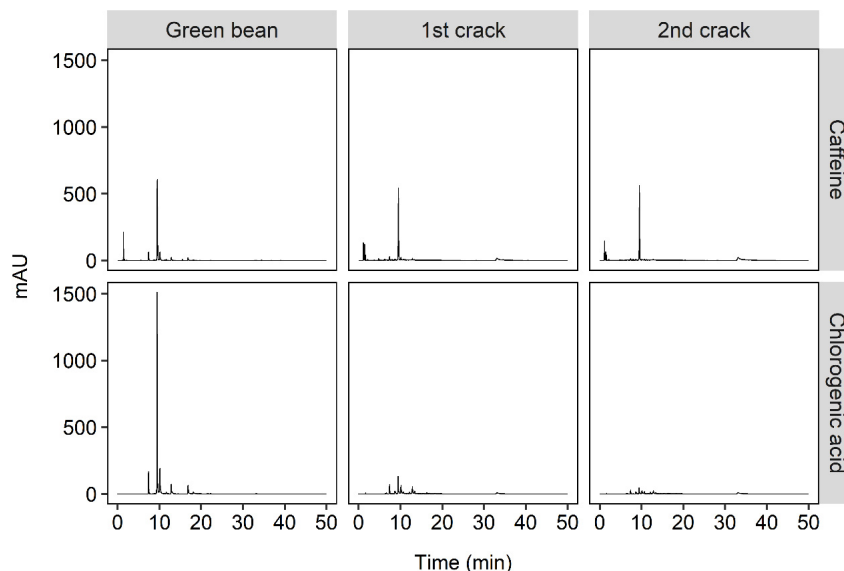
**Table 3.** Contents of total polyphenols, caffeine, and chlorogenic acid of beans of *Coffea arabica* cvs. Catuai, Caturra, and Geisha during roasting

Cultivar	Stage	Total polyphenol (mg GAE eq/g)	Caffeine (mg/g)	Chlorogenic acid (mg/g)
Catuai	Green bean	13.80±1.19 <sup>a1)2)</sup>	13.66±0.13 <sup>a</sup>	36.91±2.18 <sup>b</sup>
	1st crack	12.10±0.76 <sup>a</sup>	12.74±0.18 <sup>b</sup>	3.37±0.22 <sup>c</sup>
	2nd crack	14.40±0.98 <sup>a</sup>	12.28±0.24 <sup>b</sup>	1.32±0.19 <sup>c</sup>
Caturra	Green bean	14.80±1.27 <sup>a</sup>	12.82±0.28 <sup>b</sup>	34.88±1.22 <sup>b</sup>
	1st crack	13.90±2.43 <sup>a</sup>	12.43±0.23 <sup>b</sup>	2.64±0.24 <sup>c</sup>
	2nd crack	13.20±1.55 <sup>a</sup>	12.83±0.24 <sup>b</sup>	1.48±0.18 <sup>c</sup>
Geisha	Green bean	14.10±2.08 <sup>a</sup>	12.91±0.38 <sup>b</sup>	44.72±1.96 <sup>a</sup>
	1st crack	14.35±1.29 <sup>a</sup>	12.65±0.25 <sup>b</sup>	4.22±0.42 <sup>c</sup>
	2nd crack	13.07±1.23 <sup>a</sup>	12.33±0.29 <sup>b</sup>	1.87±0.19 <sup>c</sup>
Cultivar		ns	ns	***
Stage		ns	***	***
Cultivar×Stage		ns	**	***

<sup>1)</sup>Means with standard deviations from ten replicates.

<sup>2)</sup>Means within a column followed by different letters are significantly different according to Tukey's honestly significant difference test at  $P<0.05$ .

Significant at \*\* $P<0.01$  or \*\*\* $P<0.001$ , respectively. ns: not significant.

**Fig. 3.** Representative chromatogram for the contents of caffeine at 278 nm and chlorogenic acid at 325 nm obtained from *Coffea arabica* cv. Geisha under each roasting stage: caffeine and chlorogenic acid were detected at 9.5 and 9.4 minutes, respectively.

여부와 상관없이 카페인 함량이 변하지 않았다. 다양한 아라비카 품종에서 카페인의 함량은 5.61~16.10 mg/g DW로 보고되고 있으며(Barbosa 등, 2019; Casal 등, 2000; Mazzafera와 Silvarolla, 2010) 본 실험에 사용된 아라비카 3품종 원두의 카페인 함량(약 12.74 mg/g DW) 역시 이 범위 내에 있는 것으로 확인되었다.

로스팅 과정에서 카페인 은 178°C 이상에서 승화되어 방출되는데, 이로 인해 원두 내에서 그 함량이 감소할 수 있다(Kim과 Park, 2006). 그러나 경우에 따라서는 카페인의 함량 손실이 미미할 수 있는데, 그 이유로 로스팅 중 원두 내 압력이 상승하여 카페인의 승화점이 증가하거나 원두의 최외각 껍질(silver skin)을 통한 증기의 확산 속도가 매우 낮아지기 때문이다(Kim과 Park, 2006). 본 실험에서 로스팅 이후 품종에 따라 카페인이 약 7% 정도 감소하거나 변화하지 않았는데(Table 3), 이는 위와 같은 원두의 물리학적 특

성(Casal 등, 2000)과 관련 있는 것으로 판단된다. 커피의 카페인 함량은 항산화 활성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Gebeyehu와 Bikila, 2015; Nuhu 등, 2014; Vieira 등, 2020). 그러나 본 연구에서는 'Catuai'의 green bean 이외에 품종 및 로스팅 단계에 따른 그 함량의 변화가 없어 총 폴리페놀 함량과 같이 항산화 활성에 영향을 미치지 못할 것으로 생각된다.

클로로젠산은 표준시약과 비교 시 아라비카 3품종의 원두 모두에서 로스팅 전후로 머무름시간 9.5분에서 검출되었으나(Fig. 2, Fig. 3), 그 함량의 변화는 카페인과 다른 경향을 보였다(Table 3). 클로로젠산 함량은 'Catuai', 'Caturra', 'Geisha' 원두의 green bean에서 각각 36.91, 34.88, 44.72 mg/g DW이었고, 로스팅 이후 약 91~96%가량 감소하였다(Table 3). 클로로젠산의 함량이 로스팅 전후로 상당히 감소하는데, 이는 클로로젠산이 분해되거나 다른 형태로 변형되

기 때문이라는 연구가 다수 보고되어 있다(Dawidowicz와 Typek, 2017; Hu 등, 2020; Jeon 등, 2017; Moon 등, 2009; Trugo와 Macrae, 1984; Wei와 Tanokura, 2015). 클로로겐산은 퀴산(quinic acid)이 카페산(caffeic acid) 또는 페룰산(ferulic acid)과 에스터 결합을 한 형태이다. 이는 로스팅 과정 중 열이 가해져 가수분해된다고 알려져 있다(Crozier 등, 2009; Määttä 등, 2003). 클로로겐산의 구조 변형에 미치는 대표적인 화학 반응으로는 락톤화(lactonization)와 에피머화(epimerization)가 있다(Farah 등, 2005; Jaiswal 등, 2012; Kraehenbuehl 등, 2017). 원두를 가열하면 퀴산 구조 내 하이드록시기(hydroxy group)가 에스터 결합을 하며 락톤 구조를 형성한다(Jaiswal 등, 2012; Kraehenbuehl 등, 2017). 이때 생성되는 클로로겐산 락톤(chlorogenic acid lactone)은 3- 및 4-caffeoylquinic-1,5-lactone, 3- 및 4-coumaroylquinic-1,5-lactone, 3- 및 4-feruloylquinic-1,5-lactone 등이 있다(Farah 등, 2005; Kraehenbuehl 등, 2017). 이외에도 클로로겐산의 퀴산 내 탄소에 결합한 하이드록시기 변화하는 에피머화가 일어난다(Jaiswal 등, 2012). 이러한 반응으로 생성된 물질들은 당, 아민기 등과 결합하여 향과 관련된 화합물(cinammic acid, valline, guaiacol 등)로 합성되어 방출된다(Trugo와 Macrae, 1984; Yeretizian 등, 2002). 이외에도 클로로겐산은 풍미와 관련된 물질인  $\gamma$ -quinide, sylo-quinic acid 등으로 전환되는 것으로 알려져 있다(Cheong 등, 2013; Wei와 Tanokura, 2015). 본 결과를 바탕으로 로스팅에 의한 클로로겐산과 다른 화합물과의 상관관계에 관한 모니터링 연구가 진행될 예정이다. 클로로겐산은 항산화 활성이 높은 폴리페놀의 한 종류이다(Fuller와 Rao, 2017; Nicoli 등, 1997; Nuhu, 2014). 클로로겐산은 로스팅 과정 중에 분해되어 그 함량이 현저히 줄어들며(Table 3) 클로로겐산에 따른 항산화 활성이 감소할 수 있다(Duarte 등, 2005). 그러나 로스팅 동안 생성된 이성질체, 분해 산물 또는 새로 합성된 물질이 항산화 활성을 가지기 때문에(Moreira 등, 2005; Nicoli 등, 1997) 커피의 전체 항산화 활성에 대해 미치는 영향은 추후 연구가 필요하다.

## 요 약

지구 온난화로 인해 커피는 기존 재배지인 커피 벨트 이외의 한국, 일본 등의 온대 기후대에서 재배가 시도되고 있다. 국내 환경에서 재배된 커피의 품질을 조사하기 위해 형태학적 변화, 총 폴리페놀, 카페인, 클로로겐산의 함량을 아라비카 커피 3품종('Catuai', 'Caturra', 'Geisha')에서 로스팅 단계별(green bean, 1st crack, 2nd crack)로 확인하였다. 실험에 사용된 모든 품종에서 로스팅 이후 부피가 커지고 중량은 감소하였다. 모든 시료에서 검출된 총 폴리페놀의 함량은 평균 13.74 mg gallic acid equivalent/g dry weight였다. 그러나 품종, 로스팅 단계, 이 두 요인 간의 상호작용에 의한

함량 변화는 없었다. 카페인 함량은 'Catuai' 원두에서 로스팅 전보다 로스팅 후에 유의하게 감소하였다. 모든 품종의 원두에서 클로로겐산은 로스팅 전보다 로스팅 후에 그 함량이 상당히 감소했다. 본 연구의 결과는 현재 국내에서 생산되는 커피에 대한 자료가 미비한 시점에서 커피의 기초 품질에 관한 정보를 제공할 것으로 생각된다. 또한 국내뿐만 아니라 온대 기후대에서의 커피 재배 가능성과 소득작물로서 시사하는 바이다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ011862)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Alonso-Salces RM, Serra F, Reniero F, Héberger K. Botanical and geographical characterization of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*): Chemometric evaluation of phenolic and methylxanthine contents. J Agric Food Chem. 2009. 57:4224-4235.
- Barbosa MSG, dos Santos Scholz MB, Kitzberger CSG, Benassi MT. Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. Food Chem. 2019. 292:275-280.
- Bitter NQ, Fernandez DP, Driscoll AW, Howa JD, Ehleringer JR. Distinguishing the region-of-origin of roasted coffee beans with trace element ratios. Food Chem. 2020. 320:126602. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126602>
- Bobková A, Hudáček M, Jakabová S, Belej L, Capcarová M, Čurlej J, et al. The effect of roasting on the total polyphenols and antioxidant activity of coffee. J Environ Sci Health, Part B. 2020. 55:495-500.
- Borém FM, Cirillo MÂ, de Carvalho Alves AP, dos Santos CM, Liska GR, Ramos MF, et al. Coffee sensory quality study based on spatial distribution in the Mantiqueira mountain region of Brazil. J Sens Stud. 2020. 35:e12552. <https://doi.org/10.1111/joss.12552>
- Casal S, Oliveira MBPP, Alves MR, Ferreira MA. Discriminate analysis of roasted coffee varieties for trigonelline, nicotinic acid, and caffeine content. J Agric Food Chem. 2000. 48:3420-3424.
- Cheong MW, Tong KH, Ong JJM, Liu SQ, Curran P, Yu B. Volatile composition and antioxidant capacity of Arabica coffee. Food Res Int. 2013. 51:388-396.
- Cho AR, Park KW, Kim KM, Kim SY, Han J. Influence of roasting conditions on the antioxidant characteristics of Colombian coffee (*Coffea arabica* L.) beans. J Food Biochem. 2014. 38: 271-280.
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. Food Chem. 2006. 99:381-387.
- Crozier A, Jaganath IB, Clifford MN. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. Nat Prod Rep. 2009. 26:1001-1043.
- Dawidowicz AL, Typek R. Transformation of chlorogenic acids during the coffee beans roasting process. Eur Food Res Technol. 2017. 243:379-390.



- de Mejia EG, Ramirez-Mares MV. Impact of caffeine and coffee on our health. *Trends Endocrinol Metab.* 2014. 25:489-492.
- de Melo Pereira GV, de Carvalho Neto DP, Júnior AIM, Vázquez ZS, Medeiros ABP, Vandenberghe LPS, et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans—A review. *Food Chem.* 2019. 272:441-452.
- de Mendiburu F. 2019. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R Package version 1.3-5.
- Denoeud F, Carretero-Paulet L, Dereeper A, Droc G, Guyot R, Pietrella M, et al. The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. *Science.* 2014. 345:1181-1184.
- Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem.* 2002. 50:3010-3014.
- Duarte SMS, de Abreu CMP, de Menezes HC, dos Santos MH, Gouvea CMCP. Effect of processing and roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *Ciênc Tecnol Aliment Campinas.* 2005. 25:387-393.
- Dutra ER, Oliveira LS, Franca AS, Ferraz VP, Afonso RJCF. A preliminary study on the feasibility of using composition of coffee roasting exhaust gas for the determination of the degree of roast. *J Food Eng.* 2001. 47:241-246.
- Farah A, de Paulis T, Trugo LC, Martin PR. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *J Agric Food Chem.* 2005. 53:1505-1513.
- Franca AS, Oliveira LS, Oliveira RCS, Agresti PCM, Augusti R. A preliminary evaluation of the effect of processing temperature on coffee roasting degree assessment. *J Food Eng.* 2009. 92:345-352.
- Fuller M, Rao NZ. The effect of time, roasting temperature, and grind size on caffeine and chlorogenic acid concentrations in cold brew coffee. *Sci Rep.* 2017. 7:17979. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18247-4>
- Galaz P, Valdenegro M, Ramirez C, Nuñez H, Almonacid S, Simpson R. Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel. *J Food Eng.* 2017. 208:19-27.
- Gebeyehu BT, Bikila SL. Determination of caffeine content and antioxidant activity of coffee. *Am J Appl Chem.* 2015. 3:69-76.
- George VC, Kumar DRN, Suresh PK, Kumar RA. Antioxidant, DNA protective efficacy and HPLC analysis of *Annona muricata* (soursop) extracts. *J Food Sci Technol.* 2015. 52:2328-2335.
- Grosso G, Godos J, Galvano F, Giovannucci EL. Coffee, caffeine and health outcomes: an umbrella review. *Annu Rev Nutr.* 2017. 37:131-156.
- Hečimović I, Belščak-Cvitanović A, Horžić D, Komes D. Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chem.* 2011. 129:991-1000.
- Hu G, Peng X, Gao Y, Huang Y, Li X, Su H, et al. Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients. *Food Chem.* 2020. 331:127329. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127329>
- Jaiswal R, Matei MF, Golon A, Witt M, Kuhnert N. Understanding the fate of chlorogenic acids in coffee roasting using mass spectrometry based targeted and non-targeted analytical strategies. *Food Funct.* 2012. 3:976-984.
- Jeon JS, Kim HT, Jeong IH, Hong SR, Oh MS, Park KH, et al. Determination of chlorogenic acids and caffeine in home-made brewed coffee prepared under various conditions. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.* 2017. 1064: 115-123.
- Kim CH, Seo HH. Specialty coffee cultivation. Rural Development Administration, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Jeju, Korea. 2020. p 1-97.
- Kim KJ, Park SK. Changes in major chemical constituents of green coffee beans during the roasting. *Korean J Food Sci Technol.* 2006. 38:153-158.
- Kraehenbuehl K, Page-Zoerkler N, Mauroux O, Gartenmann K, Blank I, Bel-Rhliid R. Selective enzymatic hydrolysis of chlorogenic acid lactones in a model system and in a coffee extract. Application to reduction of coffee bitterness. *Food Chem.* 2017. 218:9-14.
- Król K, Gantner M, Tatarak A, Hallmann E. The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *Eur Food Res Technol.* 2020. 246:33-39.
- Kwak HS, Ji S, Jeong Y. The effect of air flow in coffee roasting for antioxidant activity and total polyphenol content. *Food Control.* 2017. 71:210-216.
- Lee MJ, Kim SE, Kim JH, Lee SW, Yeum DM. A study of coffee bean characteristics and coffee flavors in relation to roasting. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2013. 42:255-261.
- Määttä KR, Kamal-Eldin A, Törrönen AR. High-performance liquid chromatography (HPLC) analysis of phenolic compounds in berries with diode array and electrospray ionization mass spectrometric (MS) detection: *Ribes* species. *J Agric Food Chem.* 2003. 51:6736-6744.
- Mazzafera P, Silvarolla MB. Caffeine content variation in single green Arabica coffee seeds. *Seed Sci Res.* 2010. 20:163-167.
- Moon JK, Yoo HS, Shibamoto T. Role of roasting conditions in the level of chlorogenic acid content in coffee beans: correlation with coffee acidity. *J Agric Food Chem.* 2009. 57: 5365-5369.
- Moon SY, Baek SY, Kim MR. Determination of aroma profiles of coffee cultivated in Goheung, Korea by gas chromatography-ion mobility spectrometry. *Korean J Food Preserv.* 2019. 26:576-585.
- Moreira DP, Monteiro MC, Ribeiro-Alves M, Donangelo CM, Trugo LC. Contribution of chlorogenic acids to the iron-reducing activity of coffee beverages. *J Agric Food Chem.* 2005. 53:1399-1402.
- Nicoli MC, Anese M, Manzocco L, Lerici CR. Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *LWT—Food Sci Technol.* 1997. 30:292-297.
- Nuhu AA. Bioactive micronutrients in coffee: recent analytical approaches for characterization and quantification. *ISRN Nutr.* 2014. 2014:384230. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/384230>
- Ruas PM, Ruas CF, Rampim L, Carvalho VP, Ruas EA, Sera T. Genetic relationship in *Coffea* species and parentage determination of interspecific hybrids using ISSR (Inter-Simple Sequence Repeat) markers. *Genet Mol Biol.* 2003. 26:319-327.
- Schenker S, Handschin S, Frey B, Perren R, Escher F. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. *J Food Sci.* 2000. 65:452-457.
- Seninde DR, Chambers IV E. Coffee flavor: A review. *Beverages.* 2020. 6:44. <https://doi.org/10.3390/beverages6030044>
- Silvestrini M, Junqueira MG, Favarin AC, Guerreiro-Filho O, Maluf MP, Silvarolla MB, et al. Genetic diversity and structure of Ethiopia, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. *Genet Resour Crop Evol.* 2007. 54:1367-1379.
- Somporn C, Kamtuo A, Theerakulpisut P, Siriamornpun S. Effect

- of shading on yield, sugar content, phenolic acids and antioxidant property of coffee beans (*Coffea Arabica* L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand. J Sci Food Agric. 2012. 92:1956-1963.
- Song GY, Kim E, Kim N, Kim Y, Lee S, Kim I, et al. Antioxidant activities of El Salvadoran *Coffea arabica* cv. Bourbon coffee extracts with different roasting conditions. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2019. 48:1453-1458.
- Trugo LC, Macrae R. A study of the effect of roasting on the chlorogenic acid composition of coffee using HPLC. Food Chem. 1984. 15:219-227.
- Vieira AJSC, Gaspar EM, Santos PMP. Mechanisms of potential antioxidant activity of caffeine. Radiat Phys Chem. 2020. 174: 108968. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108968>
- Wei F, Tanokura M. Chemical changes in the components of coffee beans during roasting. In: Preedy VR, editor. Coffee in Health and Disease Prevention. 1st ed. Academic Press, London, UK. 2015. Ch 10, p 83-91.
- Yeretian C, Jordan A, Badoud R, Lindinger W. From the green bean to the cup of coffee: investigating coffee roasting by on-line monitoring of volatiles. Eur Food Res Technol. 2002. 214:92-104.