# 한국식품과학회지

FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

©The Korean Society of Food Science and Technology

# 원두 종류에 따른 커피의 향기패턴 분석

김기화 · 김아현 <sup>1</sup> · 이재근 <sup>2</sup> · 전명숙 <sup>3</sup> · 노봉수\* 서울여자대학교 식품공학과, <sup>1</sup>서울벤처대학원대학교, <sup>2</sup>미소레 커피, <sup>3</sup>한북대학교 식품영양학과

# Analysis of Flavor Pattern of Various Coffee Beans Using Electronic Nose

Ki Hwa Kim, Ah Hyun Kim<sup>1</sup>, Jae Keun Lee<sup>2</sup>, Myoung Sook Chun<sup>3</sup>, and Bong Soo Noh\*

Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

<sup>1</sup>Seoul Venture University

<sup>2</sup>Mysore Coffee

<sup>3</sup>Department of Food and Nutritional Sciences, Hanbuk University

**Abstract** An 'electronic nose' based on mass spectrometer and discriminant function analysis (DFA) was used to evaluate the grade of coffee beans. The data obtained from the electronic nose was analyzed by DFA. The discriminant function first score (DF1) of natural coffee beans showed a greater decrease than the different processing methods. Defective coffee beans were separated well from non-defective coffee beans by DF1, which correlated with a weaker flavor than that of the others. Flavor patterns of the defective and the non-defective coffee beans were determined as complementary information. The flavor patterns obtained in this study can explain, in a simplified way, the differences between the defective and the non-defective coffee beans.

Keywords: coffee bean, flavor pattern, electronic nose, discriminant function analysis

### 서 론

커피나무에 열리는 커피체리는 열매의 껍질을 벗겨내면 점액질이 있고 내과피와 은피로 싸여져 2개의 씨앗이 마주보고 있다. 이 씨앗이 커피 생두이며, 농장에서는 씨앗을 정제하기 위해 건조와 탈곡과정을 거치게 되는데 건식법으로 가공한 natural coffee, 습식법로 가공한 washed coffee 또는 반 건조식 방법으로 가공한 pulped natural coffee가 있다(1). 커피 생두의 품질은 대부분 농장에서 커피 재배, 수확, 가공 과정에 따라 결정되기 때문에 농장에서 수확시기에 올바른 방법으로 가공하지 않으면 좋은 품질의 커피를 생산할 수 없다(2).

커피콩의 등급은 생두의 크기, 결점원두, 재배지역의 고도, 지역명칭 등에 의해 분류하며 나라별로 기준을 달리한다. 결점원두에 의해 나뉘는 커피 등급은 미국 스페셜티 커피협회(specialty coffee association of America; SCAA) 기준으로 생두 300g에 포함되어 있는 결점원두의 개수에 따라 등급이 나눠진다. 결점원두는 수확시기에 잘못된 가공방법으로 인해 생성되며 과숙되거나과잉 발효된 발효콩(sour bean), 해충의 피해를 입은 콩(insect damaged bean), 너무 늦게 수확된 black bean, 불완전한 탈곡으로 생성된 parchment 등이 있다(3).

\*Corresponding author: Bong Soo Noh, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

Tel: 82-2-970-5636 Fax: 82-2-970-5977 E-mail: bsnoh@swu.ac.kr

Received July 2, 2013; revised October 11, 2013;

accepted October 28, 2013

커피원두의 품질평가는 커피가 생산되는 나라마다 규격이 다르고 매우 다양한 원두가 생산되고 있어 오랜 기간 동안 숙련을 거친 사람만이 할 수 있는 작업이다. 원두의 품질을 제대로 평가할 능력이 없을 경우 저가의 원두를 고가에 지불하고 구매하는 경우도 발생하며 일정한 품질의 원두를 구매할 수 없어 균일한 품질의 제품을 생산할 수 없게 되므로, 커피 제조업체에서는 원두 품질평가자가 매우 중요한 역할을 담당하게 된다(4).

전자코는 식품의 품질관리와 평가 분야에서 다양하게 활용되 고 있다(5). 특히 곡류에서 미생물에 의한 오염 정도를 파악하는 데 이용되고 있으며 곰팡이(6,7), 곰팡이와 ochratoxin A (8), 곰팡 이와 세균(9)을 동정한 바 있다. 또한 커피원두의 분류를 위하여 전자코를 사용한 바 있는데 단순하게 arabica와 robusta 종을 구 분한 연구(10)부터, 상업적으로 판매되는 커피의 브랜드를 분류 하는 데 적용된 바 있다(11). 전자코 분석은 비파괴적인 분석법 으로 단 시간 내에 보다 많은 시료를 연속적으로 분석할 수 있 는 장점이 있어 커피 원두 품질 평가에 적합할 것이라 여겨진 다. Seo 등(12)은 동일한 볶음 및 분쇄 조건하에서 처리한 네 종 류의 커피 원두 및 여덟 종류의 상업용 배합 커피를 가지고 커 피 원산지 및 브랜드 분류작업에서 surface acoustic wave (SAW) 센서를 바탕으로 한 전자코의 적용 가능성을 입증한 바 있다. 또 한, 에스프레소를 대상으로 gas chromatography-olfactometry (GC-O)와 전자코 분석한 결과를 사용하여 인공신경망을 통한 관능평 가와의 관계를 알아본 연구에서는 커피원두의 배전(roasting) 정 도와 산지를 평가하기 위한 방법으로 GC-O와 전자코 분석이 적 합함을 보고한 바 있다(13). 그러나 생두와 배전두의 경우 배전 조건에 따라 차이가 나고 결점원두의 경우 생두에서는 큰 차이 가 감별되지 않으나 배전과정을 통해 향의 미세한 변화가 일어 나기 때문에 이러한 차이로 인한 커피 맛의 차이를 구별하여 보

다 양질의 커피를 제공하는 것이 요구된다.

본 연구에서는 양질의 커피 품질 유지를 위해 커피 6종에 대하여 가공방법에 따른 커피 향기패턴을 비교하였으며 비결점원두와 결점원두를 비교 및 분석하여 전자코의 향기패턴으로 품질의 차이를 구분하는 것이 가능한지 알아보고자 하였다.

# 재료 및 방법

#### 재료

시료는 브라질산 원두(2011년산)를 사용하였으며 가공방법에 따라 natural coffee, pulped natural coffee, washed coffee로 세분화하여 총 9가지 시료를 미소레 커피(Cheonan, Korea)에서 제공받아 연구에 사용하였다. 결점원두는 해충, 벌레 등에 의해 손상된원두와 늦은 수확으로 너무 익어버렸거나 발효탱크에 장시간 방치된 발효 원두를 사용하였으며 대조구로 엑설런스 등급(cup of excellence#8, coe#8)을 사용하였다. 커피의 경우 원두와 분쇄된 후유통되는 경우도 있으므로 두 가지로 나누어 비교해 하였으며, 시료의 측정 시 같은 시료 간의 변수를 고려하기 위하여 동일한시료이지만 각기 따로 포장되어 있는 시료 3봉에서 3회 측정하였다. 분말형태의 시료는 0.05g, 원두시료의 경우 3개를 채취하여 10 mL vial (Pharma Fix. Chemmea, Bratislava, Slovakia)에넣은 후 PTFE/silicone 뚜껑으로 밀봉하여 분석하였다. Vial을 90℃에서 10분간 열을 가하면서 350 rpm으로 교반하였다. 이 후 vial의 head space에서 휘발성분을 채취하였다.

### 전자코 분석

전자코 시스템의 주입구 온도는 130°C인 상태를 유지하면서 질소(99.999%)가스를 230 mL/min의 유속으로 흘려보냈다. Syringe purge는 3초를 유지한 후 thermostatted tray holder에 놓은 후 headspace syringe를 사용하여 2.5 mL 취하여 시료를 주입하였다. 이때 데이터 수집시간은 3분이었으며 분석 후 purge는 3분간 지속되었고 자동시료채취기가 연결된 전자코(SMart Nose 300, SMart Nose, Marin-Epagnier, Switzerland)로 분석하였다. 본 연구에 사용된 전자코는 질량분석기(Quadrupole Mass Spectrometer, Balzers Instruments, Liechtenstein, Switzerland)가 연결되어 있으며, 휘발성물질들은 70 eV에서 이온화시켜 180초 동안 생성된 이온 물질을 사중국자(quadrupole) 질량 필터링을 거친 후 특정 질량범위 (10-200 atomic mass unit, amu)에 속하는 물질을 정수단위로 측정하여 channel수로 사용하였다.

### 판별함수분석(discriminant function analysis, DFA)

휘발성 성분으로부터 생성된 ion fragment 중 각 시료 간에 차별성이 높은 fragment (m/z)들의 해당 감응도 값을 이용하여 판별함수분석(DFA)을 실시하였다. 판별함수분석을 위해 150여 개의 ion fragment 중 이온화되어 얻어진 분자들의 질량별 검출량을 기준으로 각 시료 간에 차별성이 높은 20-30여 개의 fragments (m/z)그룹을 독립변수로 선택하였다. 선택된 독립변수에 해당하는 감응도를 이용하여 다음의 식에 따라서 판별함수분석을 실시하였으며 종속변수에 영향을 주는 독립변수를 검정하였다.

## $DFA = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 \cdots + B_n X_n$

DFA는 판별함수 값,  $B_0$ 는 판별상수,  $B_1$ 는 판별함수계수, X는 각 fragment의 amu값에서의 감응도를 나타낸다. 이들 독립변수 중에서 종속변수를 예측할 수 있는 판별함수 값은 DF1(first score from discriminant function analysis), DF2(second score from dis-

criminant function analysis), DF3 ...... DFn으로 나타내었다. 여러 독립변수들 중에서 종속변수에 영향력을 주는 순서를 기준으로 DF1과 DF2를 정하였고, 주로 이 2가지의 종속변수를 이용하여 커피 간의 풍미패턴을 해석하였다.

#### 통계분석

차별성이 높은 분자랑(m/z)을 갖는 변수 그룹을 20-30여 개 정도 선정하여 판별함수분석을 실시하였다. 이때 SMart Nose statistical analysis software (Smart Nose)의 통계프로그램을 사용하였다.

# 결과 및 고찰

### 가공법에 따른 향기 분석 결과

커피의 가공방식에 따른 휘발성분의 차이를 알아보기 위하여 전자코에 연결된 질량분석기로 10-199 amu 범위에서 mass spectrum을 측정하였다(Fig. 1). 40 amu 이하에서 나타난 ion fragment (m/z)는 대부분이 공기 중에 포함된 성분에 해당되는 것으로 40-200 amu 내의 ion fragment에서 나타난 감응도의 차이를 위주로 비교하였다. 그 결과 붉은색 화살표로 표시한 ion fragment에서 시료 간의 감응도 차를 나타내었다. 각 시료의 차이를 한 눈에

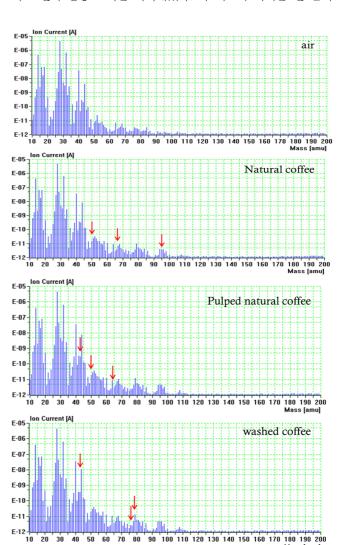


Fig. 1. Mass spectrum of coffee beans with different processing methods using MS based on electronic nose.

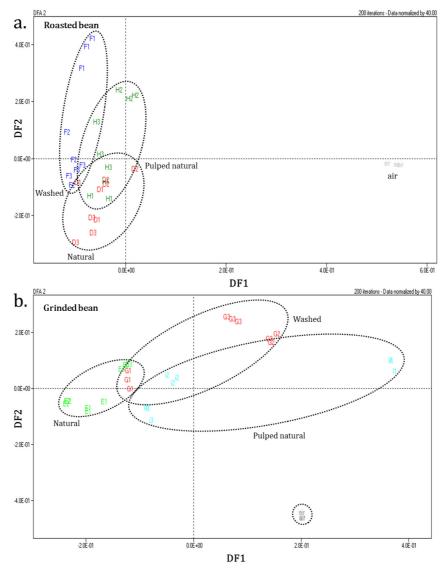


Fig. 2. Discriminant function analysis of the obtained data from electronic nose for the flavor patterns of the grinded and the roasted coffee beans with different processing methods. (a) Roasted bean (DF1,  $r^2$ =0.9932, F=323.79; DF2,  $r^2$ =0.9416, F=35.82) and (b) Grinded bean (DF1,  $r^2$ =0.9987; F=1718.30; DF2,  $r^2$ =0.9935; F=337.46).

알아보기 위해 전자코로 분석하여 얻은 ion fragment의 감응도 값을 이용하여 통계처리 한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

본 연구에 사용된 통계처리 방법인 판별함수 분석은 시료 간의 차이를 갖는 수십 개의 ion fragment가 갖고 있는 특성의 의미를 함축하여 그래프의 x축에 DF1을 y축에는 DF2에 의한 2차원 그래프로 표현하여 시료 간의 차이를 구분한다. 시료 간의 차이를 구분 짓는 판정의 성공률을 『값으로 나타내고 판정의 영향력을 F value로 나타낸다. Fig. 2a는 커피 원두를 3가지 다른 가공방식을 도입하였을 때 향기 패턴을 분석한 결과이다. 그 결과 x축에 해당하는 DF1의 F값이 323.79이고 y축에 해당하는 DF2의 F값이 35.82로 나타났으며 DF1과 DF2의 F값의 차이가 10배정도 나타나는 것으로 보아 시료 간의 차별성이 x축과 y축이 10:1의 비율로 영향을 받아 구분되었다. 즉 시료 간의 차별성이 크게 영향을 미치는 x축을 토대로 비교해 보면 가공방법의 차이에 따른 시료 간의 차이는 크게 나타나지 않았다. 향이 없는 공기가위치한 DF1의 오른쪽에 비해 pulped natural, natural, washed 방법으로 가공 처리한 커피 3가지는 DF1의 왼쪽 범주에 속하였으

며 향이 없는 오른쪽에서 왼쪽으로 이동할수록 휘발성분이 많이 함유되어 있음을 미루어 볼 때 시료 3종은 향기패턴 면에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. v축 방향으로 DF2값이 일 부 중복되면서 미미한 차이를 보인 것을 고려하면 3가지 가공 방 법이 차이를 주기는 하나 매우 미세한 정도임을 알 수 있었다. 한편, 분쇄한 커피(Fig. 2b)의 경우 x축의 F값이 1718.30이고 y축 은 337.46으로 F값이 약 5배 가량 차이를 보이며 구분되었다. 단 순히 배전한 커피에 비하여 분쇄한 커피가 보다 많은 향과 다양 한 향이 생성되므로 Fig. 2b에서는 Fig. 2a에 비하여 분산정도 크 게 나타났으며 시료 간의 차이도 크게 나타나는 경향을 보였다. 시료 간의 차이를 나타내는 natural 가공방식의 경우 air와 가장 멀리 떨어진 DF1의 왼쪽범주에 속하며 가장 향이 강한 것으로 나타났다. Washed의 경우 DF1의 왼쪽부터 가운데 방향에 위치 하는 것으로 나타나 natural 보다는 적은 향을 갖지만 pulped natural보다 향이 강한 경향을 보였다. Pulped natural의 경우 향이 약한 것에서부터 폭넓게 분산되어 있음을 알 수 있었다. 이는 Mori 등(14)이 natural, washed, pulped natural 커피의 관능 평가 결과에서 natural 커피가 강한 바디감과 향미를 나타내었고 pulped natural 의 경우 좋은 향기, 그리고 washed 커피의 경우 약한 풍미를 나타내었다는 결과와 전체적의 향의 강도 수준으로 간주한다면 유사한 결과라고 판단된다. 또한 natural coffee의 경우 수세를 제외한 건조공정을 거치기 때문에 pulped natural, washed coffee와 다른 바디감과 향미를 갖는 것으로 풀이된다(15). 본 실험에서는 관능검사와 함께 분석한 것이 아니라 단순히 커피의 전체적인 향의 강도만을 제시한 것이다. 따라서 소비자의 취향에따라 가공방법이 달리 선택될 수 있을 것이며 그런 경우 해당 제품의 품질관리를 위해서 전자코 분석 활용이 가능할 수 있을 것이다.

#### 등급에 따른 결점원두 향기 분석 결과

커피 원두의 등급은 각 나라마다 약간의 차이가 있으나 국제 적으로 통용되는 기준(16)에 따르면 첫째, 커피생두의 크기와 결 점원두의 포함여부, 둘째, 커피생두의 색깔, 셋째, 커피맛 테스트 를 포함한 방법 등으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 결점원두 의 포함여부를 판단함에 있어 가시적으로 판단하기 어려운 결점 원두를 전자코로 분석하여 미미한 휘발성분의 차이를 이용하여 이를 선별하고자 하였다.

분쇄한 커피 원두를 대상으로 고품질 원두인 coe#8과 해충이나 벌레에 의해 손상된 원두 그리고 발효가 일부 일어난 발효콩을 대상으로 통계처리 하여 Fig. 3에 나타내었다. 그 결과 향이 없는 공기가 DF1의 오른편에 위치하고 고품질의 분쇄 커피는 DF1의 왼편에 위치하는 것으로 보아 고품질의 coe#8 원두가 향기 성분의 함량이 가장 많은 것으로 나타났다. 한편, 해충이나 벌레가 생긴 커피 그리고 발효가 일부 일어난 발효콩의 경우에는 coe#8에 비하여 향기성분 함량이 비교적 낮은 경향을 보여주었다. Ramalakshmi 등(17)은 결점원두 대상으로 이화학적 특성을평가하였을 때 비결점원두에 비해서 밀도, 밝기, 적정산도, pH, 수분, 수용성 고형분, 카페인, 단백질, 지방, 자당, 총 폴리페놀 함량이 낮은 것으로 나타났으며 반면, 결점원두의 chlorogenic acid함량이 높음을 보고한 바 있다. 결점원두의 경우 향에 관한 분석

Table 1. Responses of major ion fragments in analysis of MS based on electronic nose for coffee with high quality and defective coffee beans

	Intensity of ion fragment (×10 <sup>4</sup> )		
amu	Coe#8	Sour bean	Insect damaged bean
41	17.24±2.70 <sup>a</sup>	13.67±0.42 <sup>a</sup>	22.95±4.36 <sup>b</sup>
42	$79.86\pm2.85^{a}$	$77.02\pm2.21^{a}$	$92.31 \pm 6.27^{b}$
56	$2.11\pm0.34^{a}$	$1.73\pm0.14^{a}$	$2.64 \pm 0.40^{b}$
57	$1.83 \pm 0.28^{ab}$	$1.48{\pm}0.20^a$	$2.28 \pm 0.36^{b}$
70	$0.89\pm0.12^{a}$	$0.75 \pm 0.08^a$	$1.14\pm0.18^{b}$
71	$0.53 \pm 0.05^a$	$0.47{\pm}0.03^a$	$0.62 \pm 0.07^{b}$
77	$0.55 \pm 0.04^{ab}$	$0.51\pm0.01^{a}$	$0.68 \pm 0.07^{b}$
83	$0.57 \pm 0.04^a$	$0.54\pm0.02^{a}$	$0.63 \pm 0.04^{b}$
84	$1.06\pm0.06^{a}$	$1.02\pm0.03^{a}$	$1.15\pm0.05^{b}$
94	$0.72\pm0.13^{a}$	$0.71 \pm 0.05^a$	$1.17 \pm 0.20^{b}$
95	$0.92 \pm 0.22^{ab}$	$0.74{\pm}0.06^a$	1.12±0.21 <sup>b</sup>
101	$0.30\pm0.01^{a}$	$0.31 \pm 0.01^{ab}$	$0.32 \pm 0.00^{b}$
104	$0.31 \pm 0.01^{a}$	$0.32 \pm 0.01^{b}$	$0.33\pm0.01^{c}$
133	$0.29\pm0.01^{a}$	$0.31 \pm 0.02^{b}$	$0.32 \pm 0.01^{b}$
140	0.29±0.01ª	0.31±0.01 <sup>b</sup>	0.32±0.01 <sup>b</sup>

은 이루어지지 않았으나 고형분, 당, 지방, 단백질 등의 함량이 낮은 것으로 미루어 볼 때 향의 함량도 낮아졌을 것이라고 판단된다. 또한 결점원두가 coe#8와 신선한 공기의 중간 위치에 차지하는 것으로 향의 정도가 미약하였고 DF1의 변화로 미루어 볼때 본 연구에서 또 다른 휘발성 성분이 함유되어 있는 것으로 예상된다. 결점원두의 경우 Fig. 3에서 보는 바와 같이 낮은 향 함량을 보인 것으로 나타났으며 비결점원두와 결점원두는 이화학적 특성 뿐만 아니라 향의 함량에 의한 차이에 의해서도 구분되어짐을 확인할 수 있었다.

결점원두와 비결점원두 간의 차이가 ion fragment상에서 나타 나는지 비교해 보기 위하여 각 amu에서의 감응도를 Table 1에

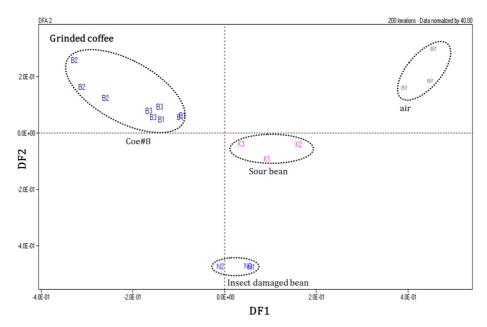


Fig. 3. DFA of the obtained data from electronic nose for the flavor patterns of non-defective and defective coffee beans (DF1,  $r^2$ =0.9828, F=137.01; DF2,  $r^2$ =0.9762, F=98.43).

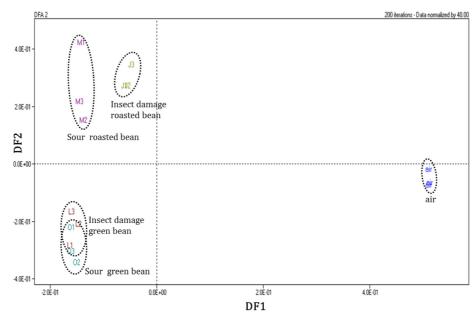


Fig. 4. DFA of the obtained data from electronic nose for the flavor patterns of raw and roasted coffee beans (DF1,  $r^2$ = 0.9997, F=7511.60; DF2,  $r^2$ =0.9361, F=36.63).

나타내었다. 그 결과 42 amu에서 coe#8의 감응도가 79.86, insect damaged bean이 92.31로 가장 높은 감응도를 보였다. 각 ion fragment의 감응도를 비교해 보았을 때 결점원두와 비결점두 간의 유의적 차이를 보인 ion fragment는 133, 140 amu인 것으로 나타났으며 이 외 ion fragment에서는 결점원두와 비결점두 간의 유의적 차이를 보이지 않았다(p>0.05). 이를 통하여 전자코 분석은 커피의 유통 및 저장 중에 발생되는 결점원두의 품질관리에 적용 가능함을 확인할 수 있었다. 결점원두도 배전을 통하여 적당한 수준으로 볶으면 향기 성분들이 발생되기는 하나 맛이 좋은 엑설런스 등과 비교하여 보았을 때 전자코에 의해 확연히 향기패턴의 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

다음으로 결점원두 중에서 insect damaged bean과 sour bean의 구분 가능성을 알아보기 위하여 생두와 배전한 원두로 나누어 향 기패턴을 알아보았다. 그 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 생두 와 배전한 원두는 DF2에 의하여 구분되었으며 생두 상태일 때 insect damaged bean과 sour bean은 DF1값의 차이를 보이지 않아 구분이 어려운 것으로 나타났다. 한편, 배전한 원두의 경우 sour bean과 insect damaged bean의 향기패턴의 DF1값 간의 차이를 보 여주고 있어 결점원두를 선별하여 insect damaged bean과 insect damaged bean을 구분하는 것이 가능함을 보여주었다. 이는 생두 상태에서 품질관리 공정에서 구분, 분류되어 제거되기 어려운 생 두 형태의 결점원두도 배전과정을 거치면 전자코에 의해 구분이 가능한 것으로 품질관리 목적으로 본 방법의 유용가능성을 발견 할 수 있었다. 향후 커피원두를 생두형태로 관리하거나 가공방법 에 따라 그 차이를 볼 때, 혹은 결점이 있는 커피원두를 가공한 것까지도 품질관리가 가능하여 풍미가 좋은 커피를 제공하는데 전자코 분석이 활용될 수 있을 것으로 여겨진다.

#### 요 약

가공방식을 달리한 커피 원두와 분말을 대상으로 향기패턴 분석한 결과 커피 분말의 경우 washed coffee, pulped natural coffee, natural coffee 순으로 향이 높은 것으로 나타났다. 다음으로

는 결점원두를 대상으로 통계 처리한 결과 일반원두에 비해서 항함량이 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 향후 커피 원두의품질관리 및 평가에 적용될 수 있음을 확인하였고 향후 전자코가 커피원두의 등급을 매기는 커피원료전문가(Q-grader)로서의 역할이 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 2013년도 서울여자대학교 자연과학연구소 교내학술 비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

- 1. Batista LR, Chalfoun SM, Prado G, Schwan RF, Wheal AE. Toxigenic fungi associated with processed (green) coffee beans (*Coffea arabica* L.). Int. J. Food Microbiol. 85: 293-300 (2003)
- 2. Feria-Morale AM. Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/expert tasters in sensory evaluation for quality control. Food Qual. Prefer. 13: 355-367 (2002)
- 3. Song JB. The Science of Coffee. Jubean, Seoul, Korea. pp. 45-52 (2008)
- Kim JW. To classify of quality in coffee beans. pp. 93-96. In Food Culture. Korea Food Research Institute 9ed). DadaArt, Seoul. Korea (2008)
- Falasconi M, Concina I, Gobbi E, Sbervelieri, Pulvirenti A, Sbervelieri G. Electronic nose for microbiological quality control of food products. Int. J. Electrochem. 2012: 1-12 (2012)
- Paolesse R, Alimelli A, Martinelli E, Natale CD, D'Amico A, D'Egidio MG, Aureli G, Ricelli A, Fanelli C. Detection of fungal contamination of cereal grain samples by an electronic nose. Sensor. Actuat. B-Chem. 119: 425-430 (2006)
- Balasubramanian S, Panigrahi S, Kottapalli B, Wolf-Hall CE. Evaluation of an artificial olfactory system for grain quality discrimination. LWT-Food Sci. Technol. 40: 1815-1825 (2007)
- Olsson J, Borjesson T, Lundstedt T, Schnurer J. Detection and quantification of ochratoxin A and deoxynivalenol in barley grains by GC-MS and electronic nose. Int. J. Food Microbiol. 72: 203-214 (2002)

- Jonsson A, Winquist F, Schnurer J, Sundgren H, Lundstrom I. Electronic nose for microbial quality classification of grains. Int. J. Food Microbiol. 35: 187-193 (1997)
- Gardner JW. Shumer HV, Tan TT. Application of an electronic nose to the discrimination of coffee. Sensor. Actuat. B-Chem. 6: 71-75 (1992)
- 11. Pardo M, Niederjaufner G, Benussi G, Comini E, Faglia G, Sberveglieri G, Holmberg M, Lundstrom. Data preprocessing enhances the classification of different brands of espresso coffee with an electronic nose. Sensor. Actuat. B-Chem. 69: 397-403 (2000)
- Seo HS, Kang HJ, Jung EH, Hwang IK. Application of GC-SAW (Surface Acoustic Wave) electronic nose to classification of origins and blended commercial brands in roasted ground coffee beans. Korean J. Food Cookery Sci. 22: 229-306 (2006)
- Michishita T, Akiyama M, Hirano Y, Ikeda M, Sagara Y, Araki T. Gas chromatography/olfactometry and electronic nose analyses

- of retronasal aroma of espresso and correlation with sensory evaluation by an artificial neural network. J. Food Sci. 75: S477-489 (2010)
- 14. Mori EEM, Bragagnolo N, Morgano MA, Anjos VDA, Yotsuy-anagi K, Faria EV, Iyomasa JM. Brazil coffee growing regions and quality of natural, pulped natural and washed coffees. Foods Food Ingredients J. Jpn. 208: 416-423 (2003)
- Clifford MN. Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Bean and Beverage. Avi Publishing Co., Westport, CT, USA. pp. 230-250 (1985)
- National Quality Standards International Coffee Organization. Available from: http://dev.ico.org/documents/cy2012-13/pm-29e-quality-standards.pdf. Accessed Oct. 10, 2013.
- Ramalakshmi K, Kubra IR, Rao LJM. Physicocheminal characteristics of green coffee: comparison of graded and defective beans. J. Food Sci. 75: 333-337 (2007)