

Colorimetric sensor array를 활용한 커피의 향 연구



Korea University
Lab. of Biopolymers Engineering

Park, Hyun Jin

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

1. About Coffee
2. Coffee Roasting
3. Colorimetric Sensor Array (CSA)
4. CSA 관련 통계
5. CSA 활용
6. Q & A

한국인은 커피를 얼마나 마시나?

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● 국내 커피 시장 규모 (2017년 기준)



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

- I -

About Coffee

1. 커피의 발견
2. 커피의 발전
3. Coffee cherry
4. 커피의 재배
5. Coffee processing

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

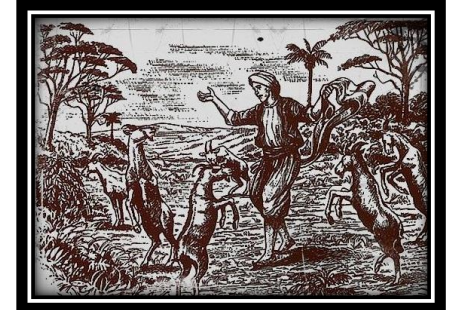
CSA 활용

Q & A

• 커피 발견의 3가지 전설

- The legend of Kaldi 칼디의 전설

A goatherd, Kaldi, stumbled upon romping goats that ate red cherries (coffee), and then he ate the cherries and felt a stimulating effect.



- The legend of Omar 오마르의 전설

An exiled monk, starving, Omar felt rested after eating a red cherry (coffee) being eaten by a bird.



- The legend of Mohammed 무함마드의 전설

A progenitor of Islam, Mohammed, heard that a red cherry (coffee) can cure his disease from the angle Gabriel appearing in his dream.



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

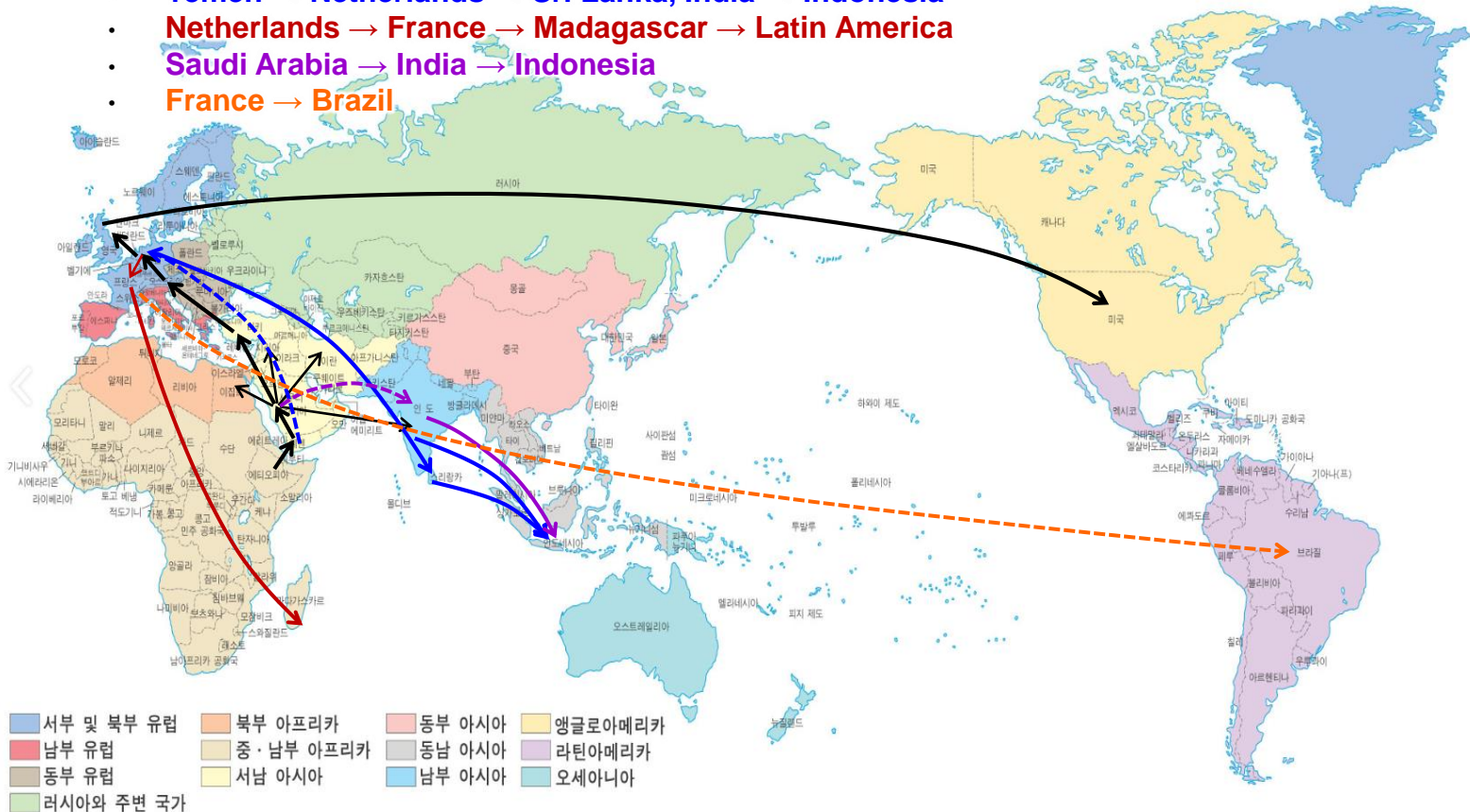
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

커피의 보급

- Ethiopia (Kaffa) → Yemen (Mocha) → Saudi Arabia (Mecca) → Turkey (Istanbul) → Europe (Netherlands, France, UK, etc.) → USA (from UK)
- Yemen → Netherlands → Sri Lanka, India → Indonesia
- Netherlands → France → Madagascar → Latin America
- Saudi Arabia → India → Indonesia
- France → Brazil



Index

About Coffee

Coffee Roasting

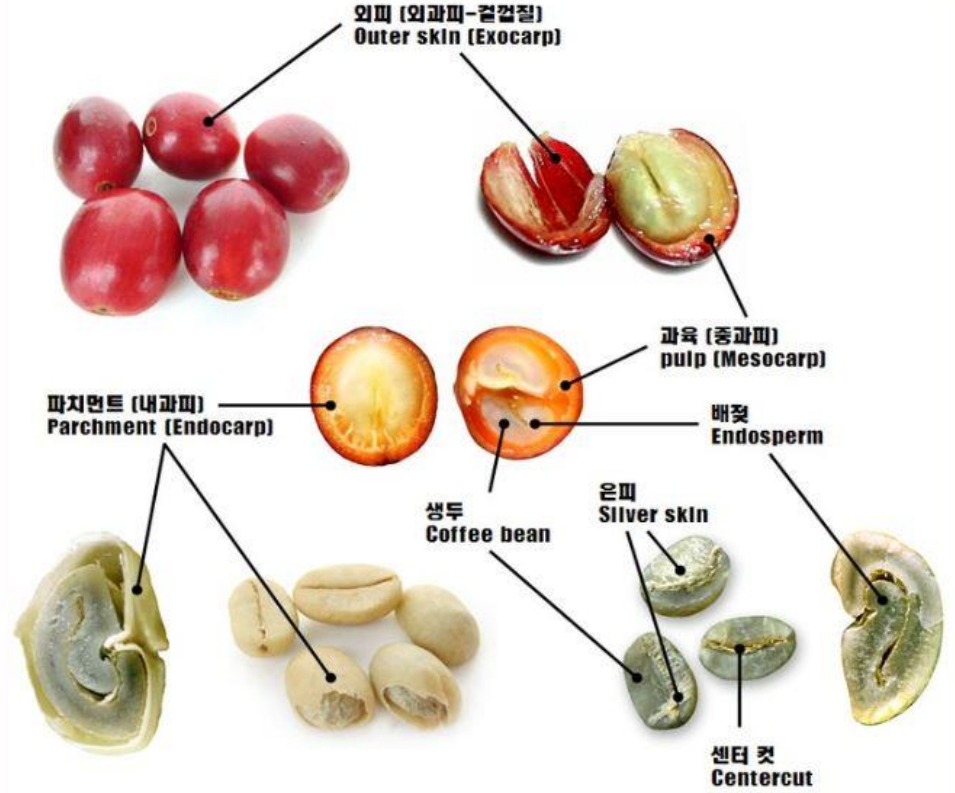
Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

커피열매의 구조



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

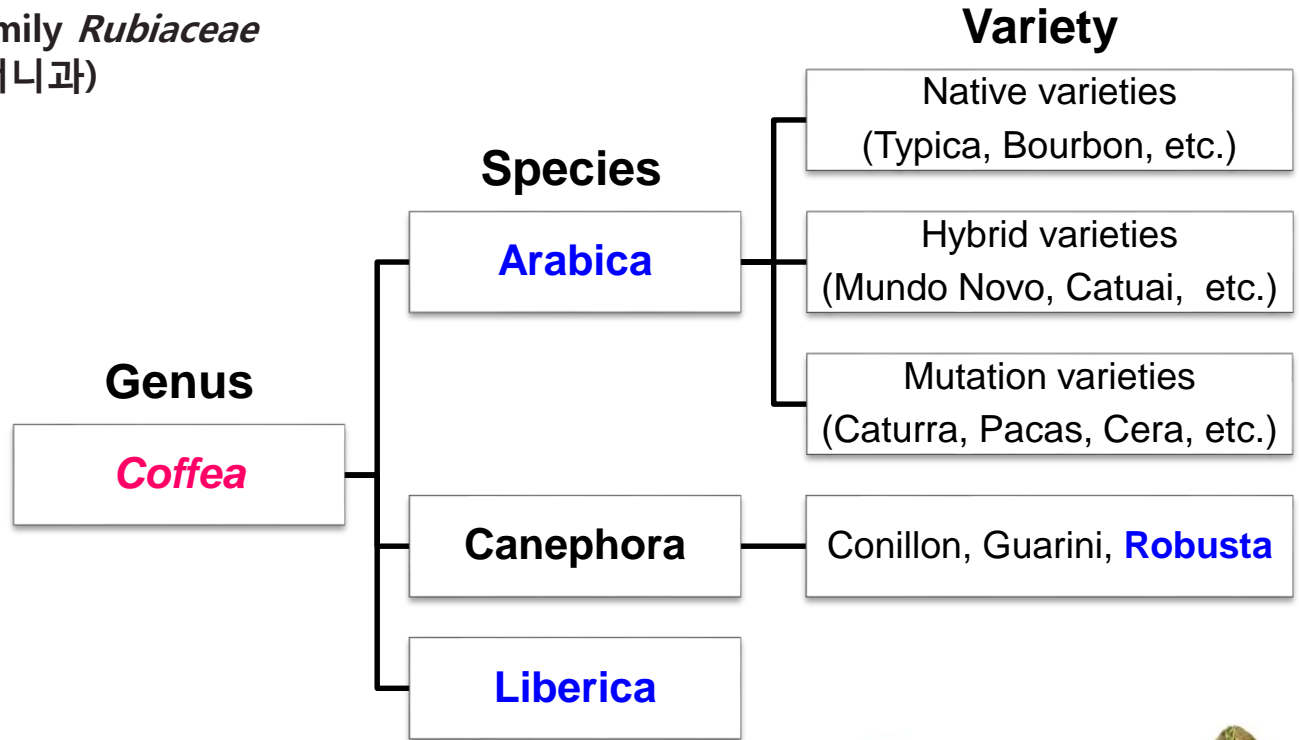
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

커피의 식물학적 명칭

The Family *Rubiaceae*
(꼭두서니과)



Arabica Robusta Liberica

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

커피재배 지역

Coffee belt

남위 25도에서 북위 25도 사이 (약 60개국)



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● 커피 재배의 최적 조건

- 온도
 - 연평균 기온: 15 ~ 24 °C (아라비카)
- 강수량
 - 연평균 강수량: 1,400 ~ 2,000 mm (아라비카), 2,000 ~ 2,500 mm (로부스타)
- 습도
 - 85% 이하: 60% (아라비카), 70~75% (로부스타)
- 토양
 - 화산성 토양의 충적토
 - 약산성
- 지형과 고도
 - 아라비카: 고지대 (1000m ~ 2400m)
 - 로부스타: 저지대
 - 고지대에서 생산될수록 보다 단단하고 밀도가 높아 향이 더 풍부하고 맛이 좋음

Index

About Coffee

Coffee Roasting

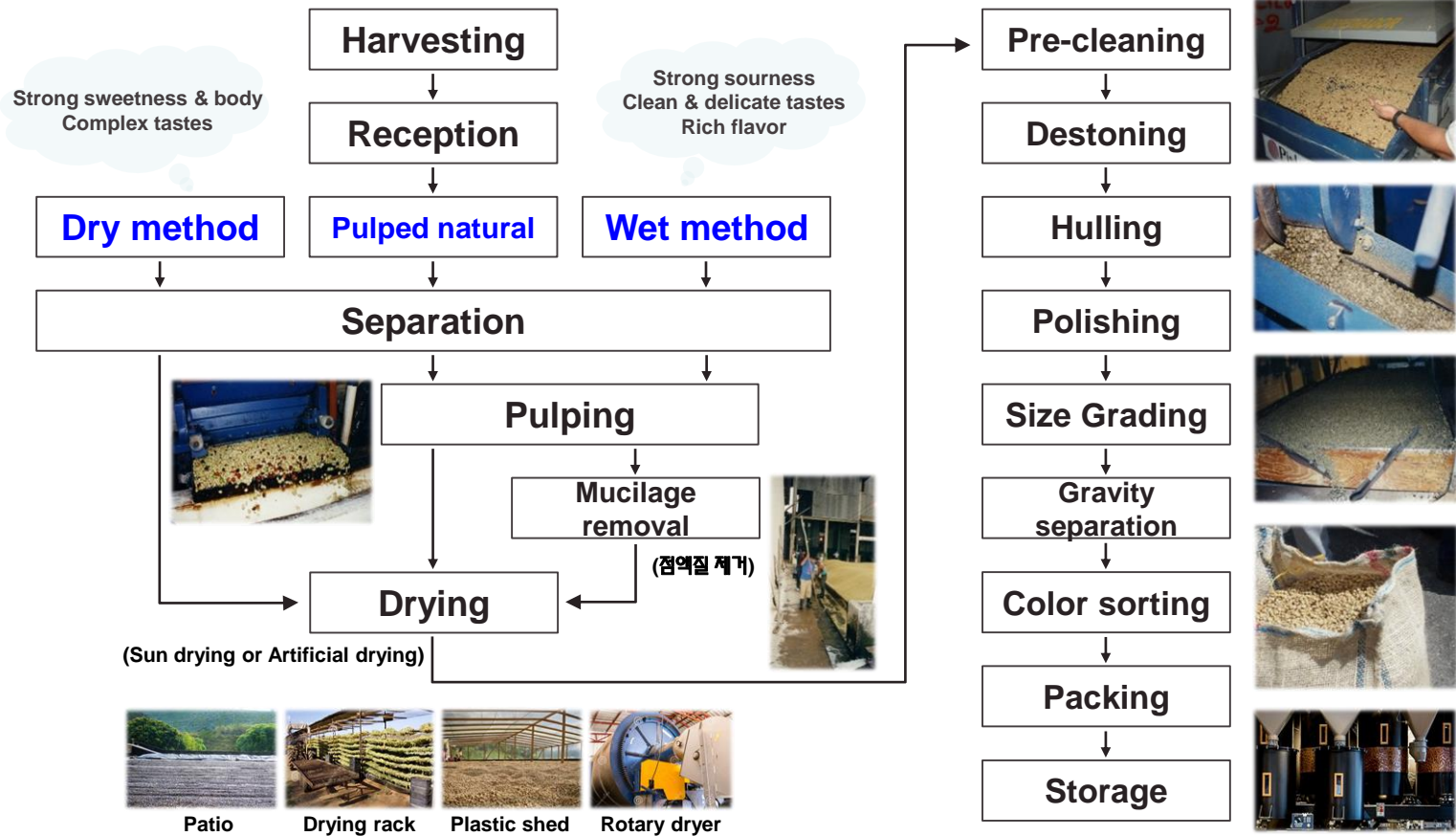
Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

Processing methods



Index

About Coffee

**Coffee
Roasting**

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

- II -

Coffee Roasting

1. Roasting
2. 커피 성분
3. 로스팅 후 성분 변화

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

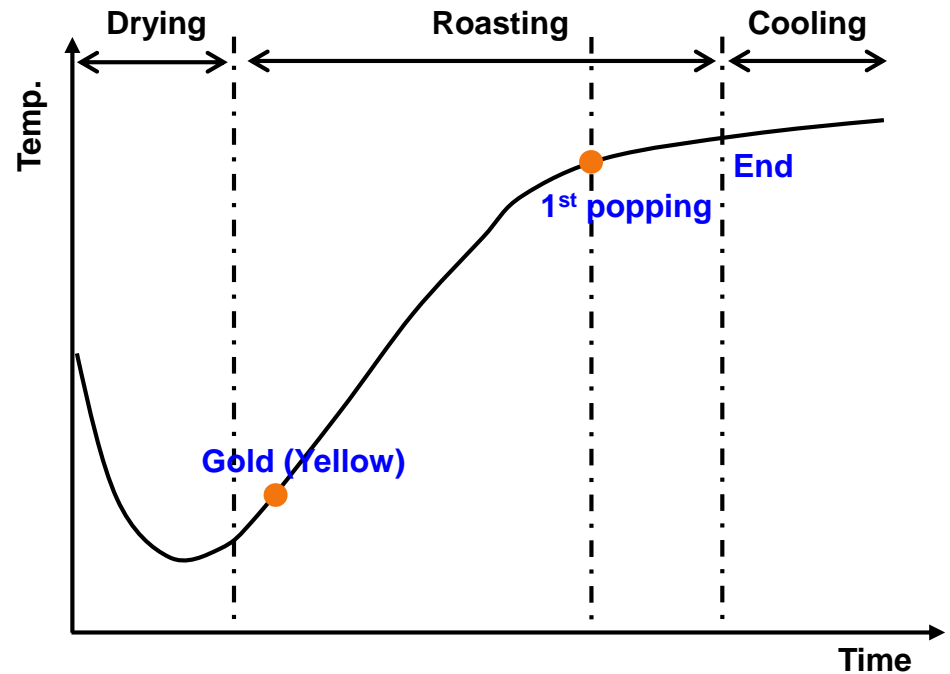
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

커피 로스팅의 3가지 단계

- Drying phase
- Roasting phase
- Cooling phase



Index

About Coffee

Coffee Roasting

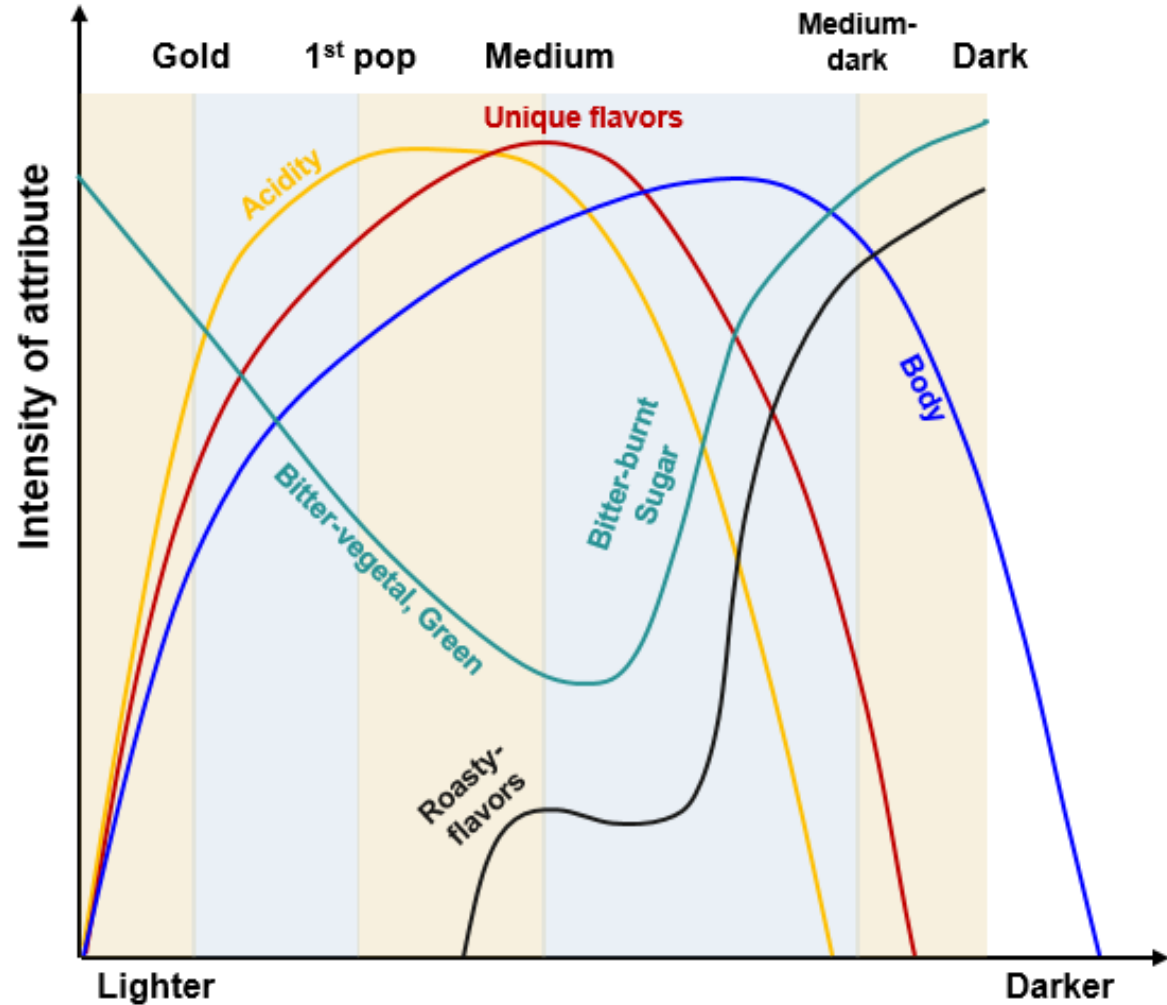
Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

로스팅 과정 중 향과 맛의 변화



Index

About Coffee

Coffee Roasting

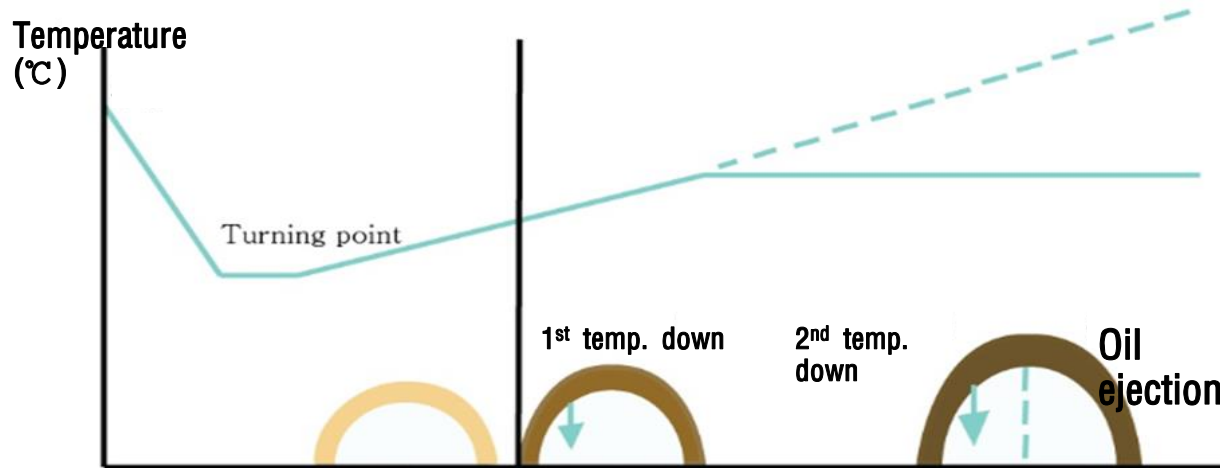
Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

로스팅 과정 중 물리화학적 변화



Condition	Drying phase			First popping		Second popping	
	Reaction	Endothermic reaction			Exothermic reaction	Endothermic reaction	Exothermic reaction
Color	Green	Yellow	Cinnamon	Light brown	Medium brown	Dark brown	Black
Odor	Green	Sweet	Sweet + Sour	Sour	Sour + Unique	Unique	Decreasing
Shape	Origin	Shrink		Swelling		Swelling	Stop
Weight loss				12~14%		18~25%	

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

커피원두의 색 변화



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● 생두의 구성 성분

Table 1 Chemical composition of green coffee

Component	Arabica ^a	Robusta ^a	Constituents
Soluble carbohydrates	9–12.5	6–11.5	
Monosaccharides		0.2–0.5	Fructose, glucose, galactose, arabinose (traces)
Oligosaccharides	6–9	3–7	Sucrose (>90%), raffinose (0–0.9%), stachyose (0–0.13%)
Polysaccharides		3–4	Polymers of galactose (55–65%), mannose (10–20%), arabinose (20–35%), glucose (0–2%)
Insoluble polysaccharides	46–53	34–44	
Hemicelluloses	5–10	3–4	Polymers of galactose (65–75%), arabinose (25–30%), mannose (0–10%)
Cellulose, β (1–4)mannan	41–43	32–40	
Acids and phenols			
Volatile acids		0.1	
Nonvolatile aliphatic acids	2–2.9	1.3–2.2	Citric acid, malic acid, quinic acid
Chlorogenic acid	6.7–9.2	7.1–12.1	Mono-, dicaffeoyl-, and feruloylquinic acid
Lignin		1–3	
Lipids	15–18	8–12	
Wax		0.2–0.3	
Oil		7.7–17.7	Main fatty acids: 16:0 and 18:2 (9,12) Palmitic Linoleic
N compounds		11–15	
Free amino acids		0.2–0.8	Main amino acids: Glu, Asp, Asp-NH ₂
Proteins		8.5–12	
Caffeine	0.8–1.4	1.7–4.0	Traces of theobromine and theophylline
Trigonelline	0.6–1.2	0.3–0.9	
Minerals		3–5.4	

From Belitz et al. (2009)

^a Values in percent dry-weight basis

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

로스팅 전후의 커피 성분

Component		Green bean		Roasted bean	
		Total (%)	Soluble (%)	Total (%)	Soluble (%)
Carbohydrate	Sugar	10.0	10.0	18.0 ~ 26.0	11.0 ~ 19.0
	Others	50.0	-	37.0	1.0
Lipid		13.0	-	15.0	
Protein		13.0	4.0	13.0	1.0 ~ 2.0
Mineral		4.0	2.0	4.0	3.0
Acids	Chlorogenic acid	7.0	7.0	4.5	4.5
	Organic acid	1.0	1.0	2.35	2.35
Alkaloids	Trigoneline	1.0	1.0	1.0	1.0
	Caffeine	1.0	1.0	1.2	1.2
Volatile compounds	Carbon dioxide	-	-	2.0	trace
	Incense component	-	-	0.04	0.04
Phenol		-	-	2.0	2.0
Total		100	26	100	27 ~ 35

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

저장기간 중 향 성분 변화

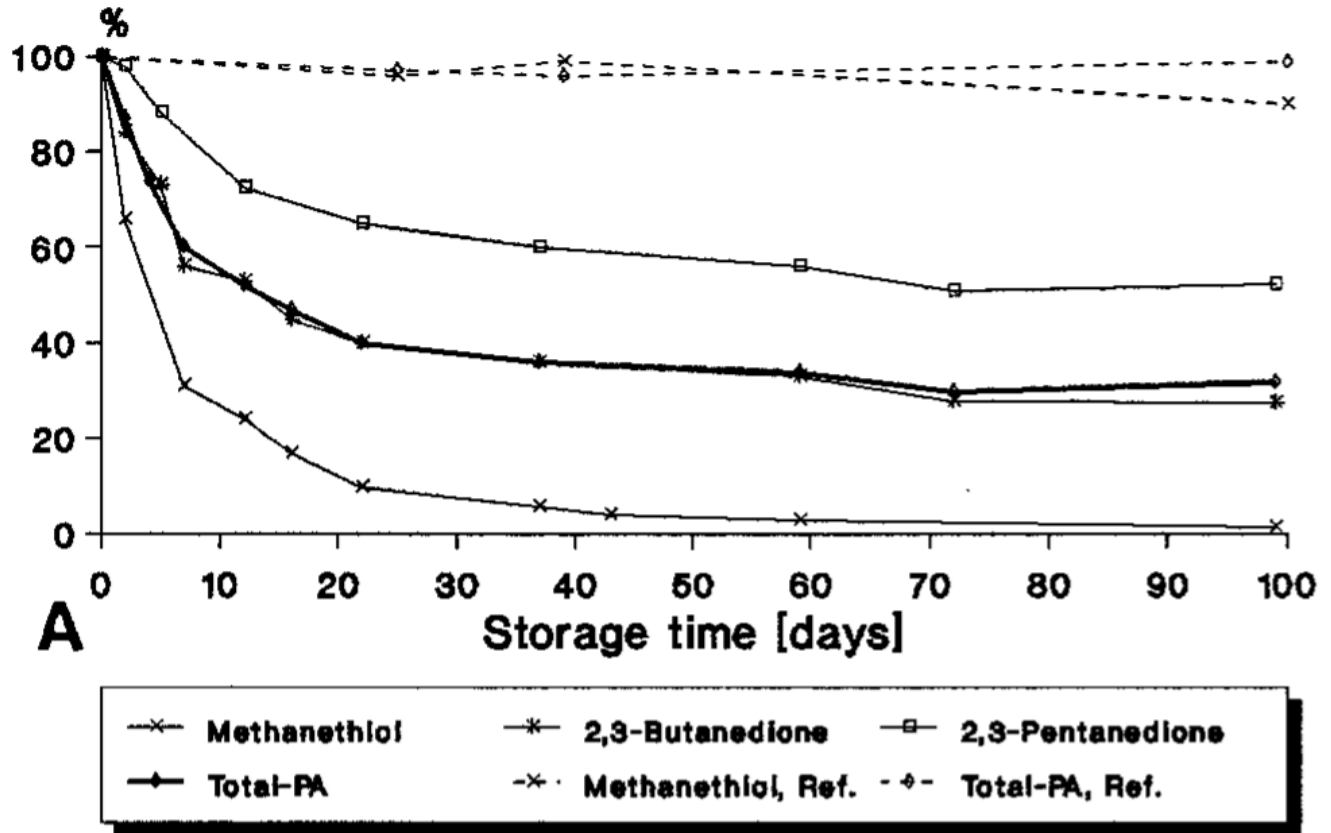


Figure 1. Kinetics of odorants contributing to the aroma freshness of roasted coffee during storage in non-air-tight packs (peak areas are given as % relative to the starting values; Ref. = reference sample)

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

**Colorimetric
Sensor Array
(CSA)**

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

- III -

Colorimetric Sensor Array (CSA)

1. CSA 소개
2. CSA 원리
3. CSA 시스템

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

CSA란?

- 냄새를 시각화 하는 간편하고 신속한 분석 방법
- CSA는 화학반응 기반 다양한 분석 물질의 검출 및 인식을 위한 새로운 기술
- 특정 휘발성 물질과 반응하는 dye들이 모여 만들어진 것이 CSA

CSA

Indicator Dyes

Dye classes

pH indicators: e.g., methyl red

Lewis acids: e.g., metalloporphyrins

Solvatochromic: e.g., Reichardt's dye

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

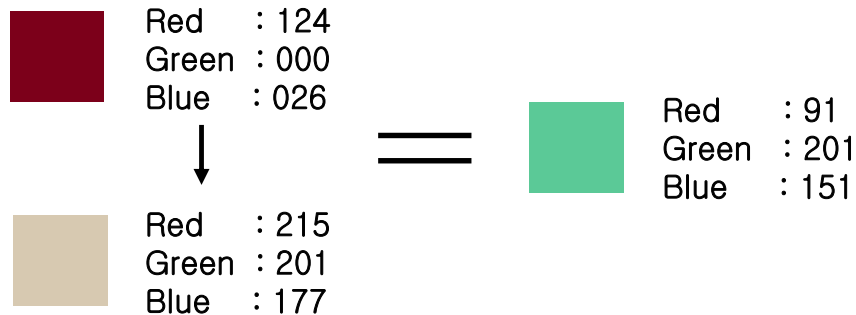
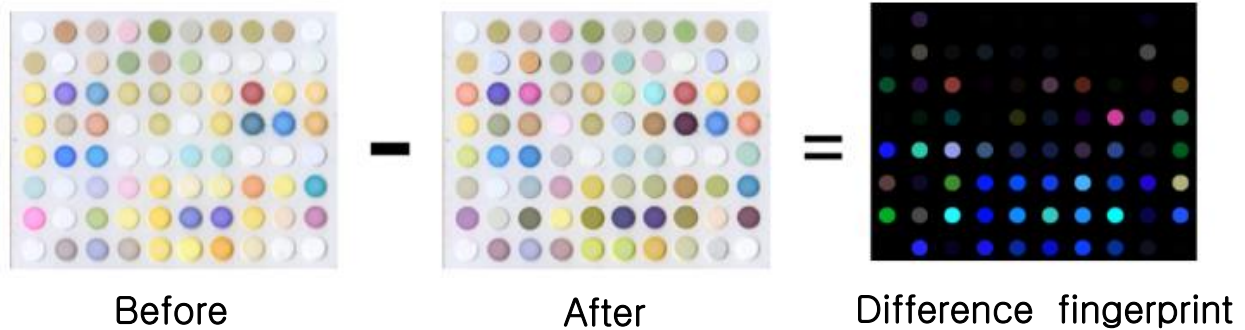
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

CSA란?

- 향기 성분과 dye가 만나 반응하면 색깔이 변하고 그 변한 색깔을 커피의 데이터로써 이용
- 색에 대한 수치는 RGB 값을 이용



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

CSA의 원리

- 물리적 흡착을 이용하는 전자코와는 달리 화학반응 기반이기 때문에 큰 반응 엔탈피를 가져 적은 양으로 검출에 필요한 역치를 넘어 감도가 좋음
- 습도에 의한 영향을 받지 않아 식품에 적용하기에 용이

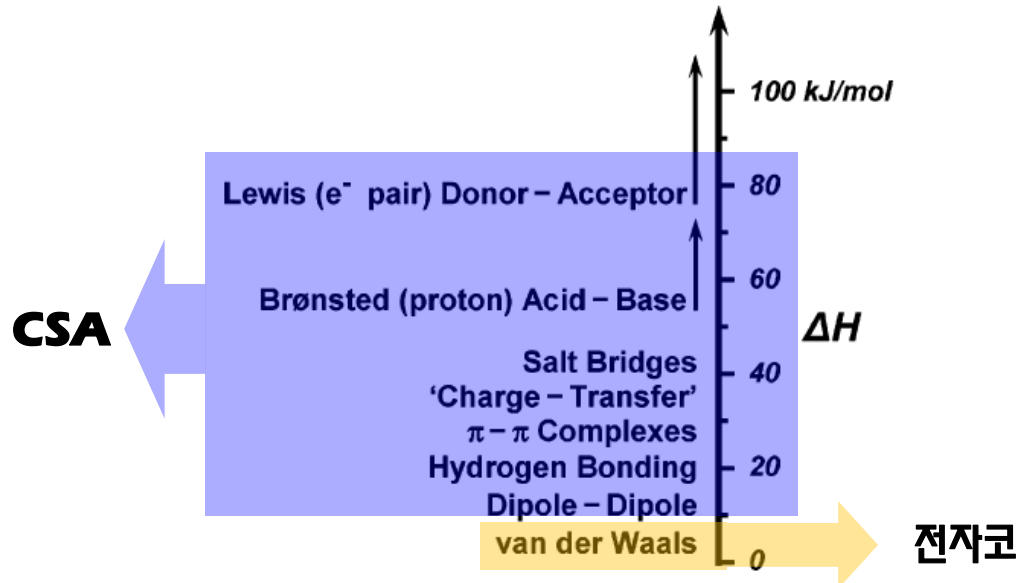


Figure 1. Intermolecular interactions on a semiquantitative energy scale.

Index

About Coffee

Coffee Roasting

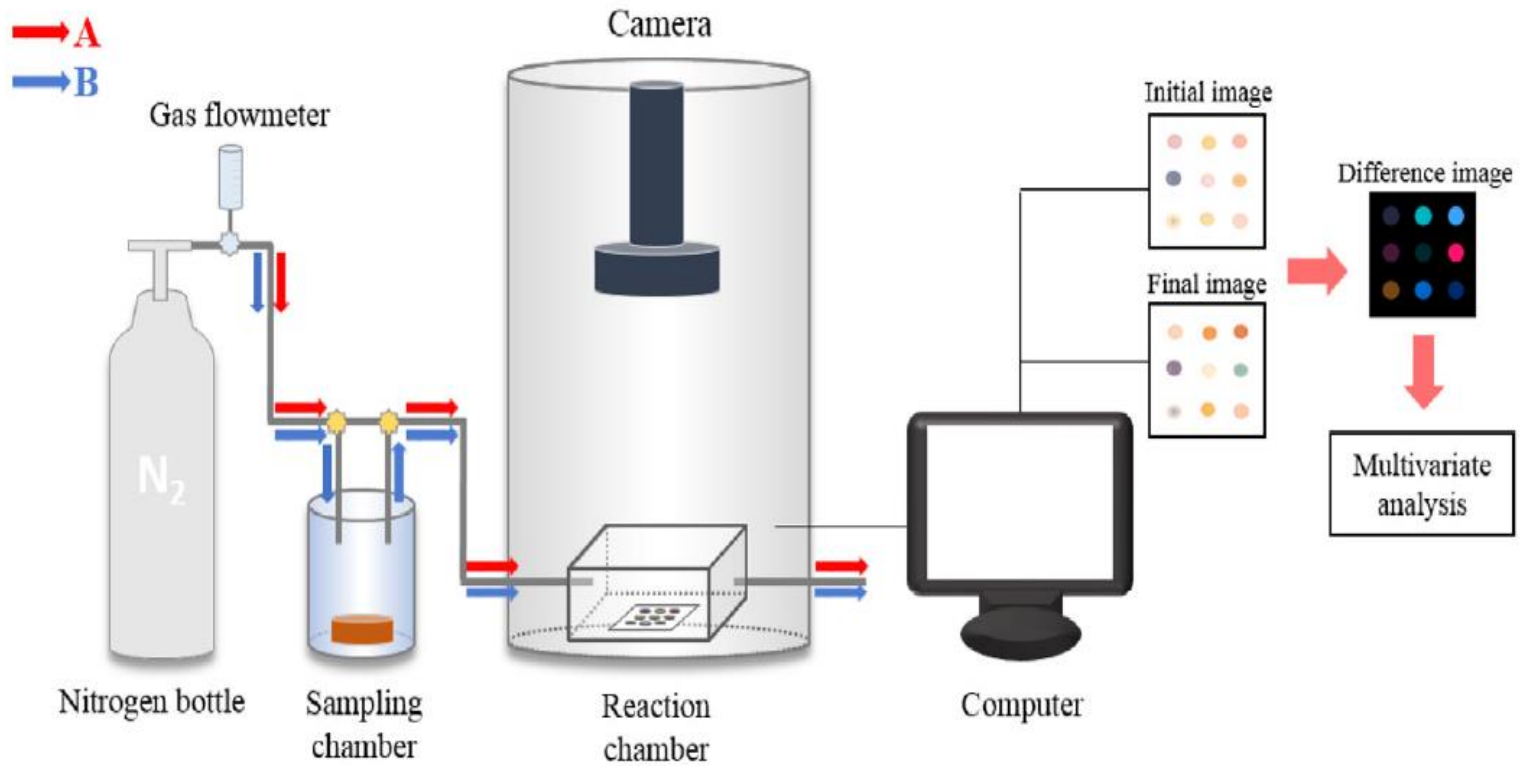
Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

CSA 시스템



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

- IV -

CSA 관련 통계

1. 주성분 분석
2. 주성분 분석 예시
3. 계층적 군집 분석
4. 계층적 군집 분석 예시

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● PCA(Principal Component Analysis, 주성분분석)

- 다변량 자료(Multivariate data)
 - 다수의 변수를 동시에 측정해 비교가 쉽지 않음
 - 변수의 개수 = 데이터의 차원 수
 - ✓ 2가지 변수 → x, y 평면에 표현 3가지 변수 → x, y, z 공간에 표현
 - ✓ 36가지 변수 → 36차원에 표현
- 주성분 분석
 - 고차원의 자료를 2차원 평면에 표현하는 방법
 - 차원을 낮추면서 정보를 최대한 포함하도록 변수를 합성
 - 잠재적인 정보를 추출하여 분류에 이용
- ❖ 목적 : 정보의 손실을 최소화하면서 서로 상관관계가 있는 변수들 사이의 복잡한 구조를 단순하고 이해하기 쉽게 설명

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

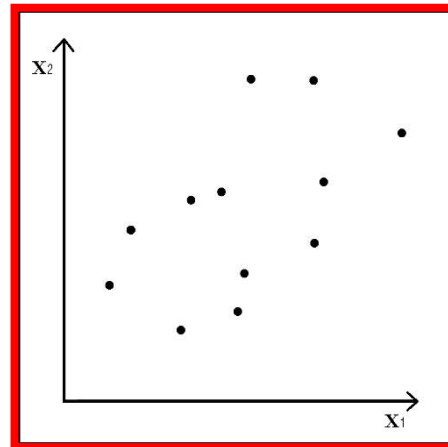
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● PCA(Principal Component Analysis, 주성분분석)

- 주성분(Principal Component, PC)
 - ✓ 서로 독립적인 새로운 **인공 변수**
 - ✓ 데이터들의 **분산**(흩어진 정도)이 가장 큰 방향으로 합성
 - ✓ 첫 번째 주성분은 데이터의 변동(분산, 정보)을 가장 많이 설명, 계속 구해지는 2, 3, ... 번째 주성분은 자료의 나머지 정보들을 설명



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

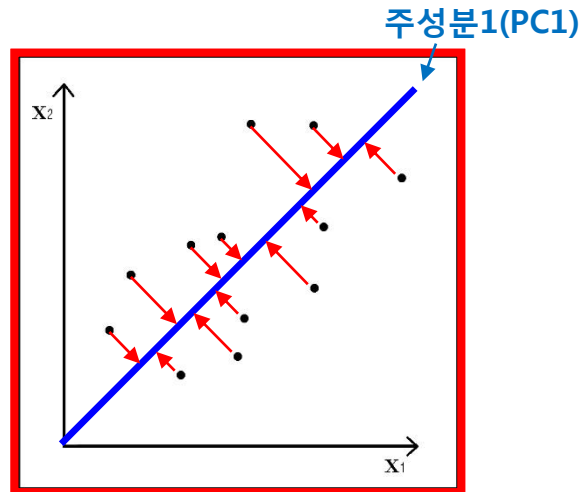
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● PCA(Principal Component Analysis, 주성분분석)

- 주성분(Principal Component, PC)
 - ✓ 서로 독립적인 새로운 **인공 변수**
 - ✓ 데이터들의 **분산**(흩어진 정도)이 가장 큰 방향으로 합성
 - ✓ 첫 번째 주성분은 데이터의 변동(분산, 정보)을 가장 많이 설명, 계속 구해지는 2, 3, ... 번째 주성분은 자료의 나머지 정보들을 설명



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

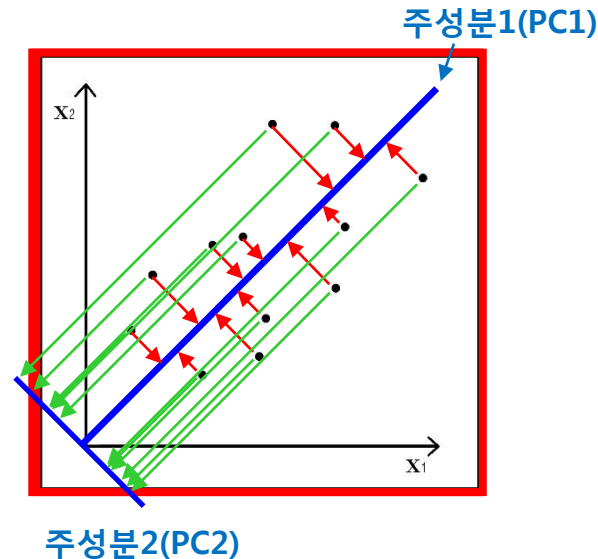
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● PCA(Principal Component Analysis, 주성분분석)

- 주성분(Principal Component, PC)
 - ✓ 서로 독립적인 새로운 **인공 변수**
 - ✓ 데이터들의 **분산**(흩어진 정도)이 가장 큰 방향으로 합성
 - ✓ 첫 번째 주성분은 데이터의 변동(분산, 정보)을 가장 많이 설명, 계속 구해지는 2, 3, ... 번째 주성분은 자료의 나머지 정보들을 설명



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

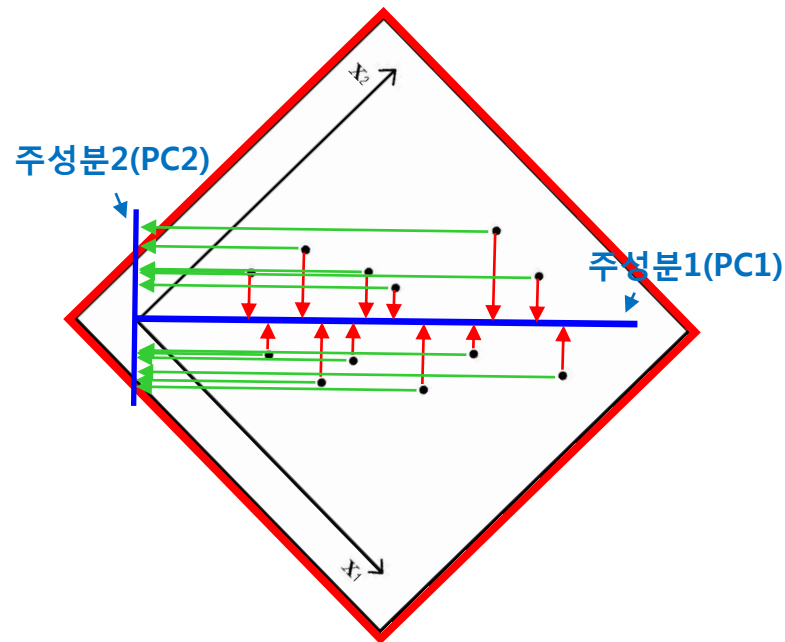
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● PCA(Principal Component Analysis, 주성분분석)

- 주성분(Principal Component, PC)
 - ✓ 서로 독립적인 새로운 **인공 변수**
 - ✓ 데이터들의 **분산**(흩어진 정도)이 가장 큰 방향으로 합성
 - ✓ 첫 번째 주성분은 데이터의 변동(분산, 정보)을 가장 많이 설명, 계속 구해지는 2, 3, ... 번째 주성분은 자료의 나머지 정보들을 설명



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

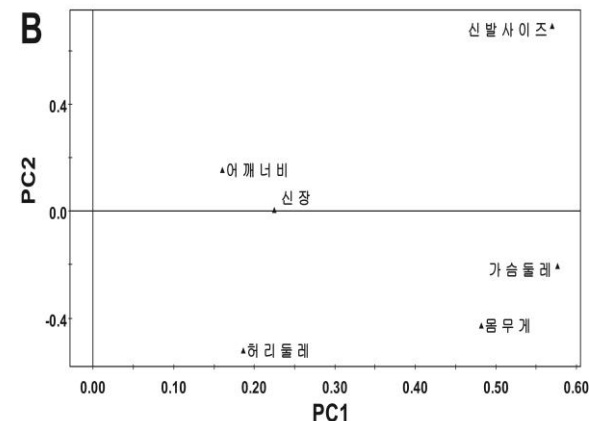
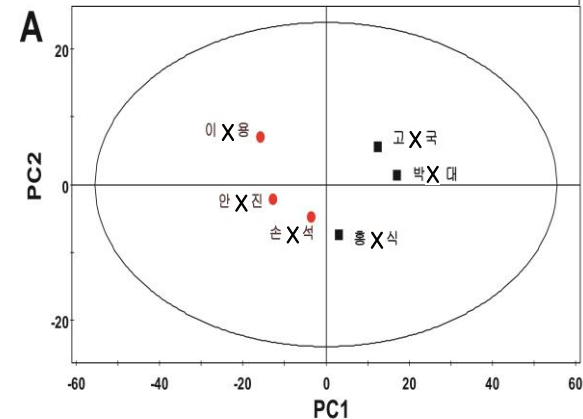
실험실 인원 신체 사이즈

	신장 (cm)	몸무게 (kg)	가슴둘레 (cm)	허리둘레 (cm)	어깨너비 (cm)	신발크기 (cm)	PC1 X 좌표	PC2 Y 좌표
홍X식	180	75	95	86	42	265	2	-7
고X국	180	72	98	84	48	280	12	7
박X대	176	76	104	86	46	280	17	2
안X진	172	62	87	83	43	260	-15	-3
손X석	170	68	92	88	43	265	-3	-5
이X용	172	59	82	76	41	265	-17	8

▶PC1=(0.3)X 신장 +(0.5)X 몸무게 +(0.4)X 가슴둘레 +(0.1)X 허리둘레 +(-0.2)X 어깨너비(-0.3)X 신발크기

▶PC2=()X신장+()X몸무게+()X가슴둘레+()X허리둘레+()X어깨너비()X신발크기

- 분산을 최대로 하는 방향으로 계수 결정
- 여러 변수들의 정보를 2차원 공간으로 축약
- 시각적으로 해석하기 쉽게 해줌
- 통계적으로 아무런 의미가 없는 데이터



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● HCA(Hierarchical Cluster Analysis, 계층적군집분석)

- 다변량통계분석의 일종
- 분석하고자 하는 샘플들이 갖는 특성치를 계산하여 분류하는 분류분석법
- 적당한 **유사도**(또는 거리)를 계산하고 유사도가 높은 것을 융합하여 군을 형성
- 먼저 군을 형성할수록 비슷한 성질을 의미
- 일반적으로 쓰이는 유사도 : 유클리디안 거리

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^p (x_{ip} - x_{jp})^2}$$

Index

About Coffee

Coffee Roasting

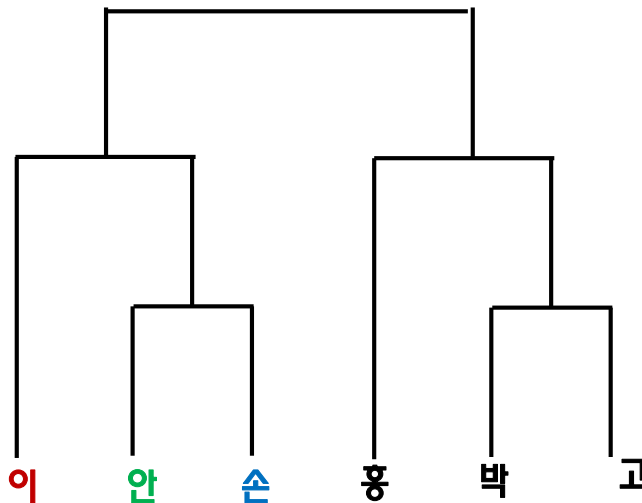
Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

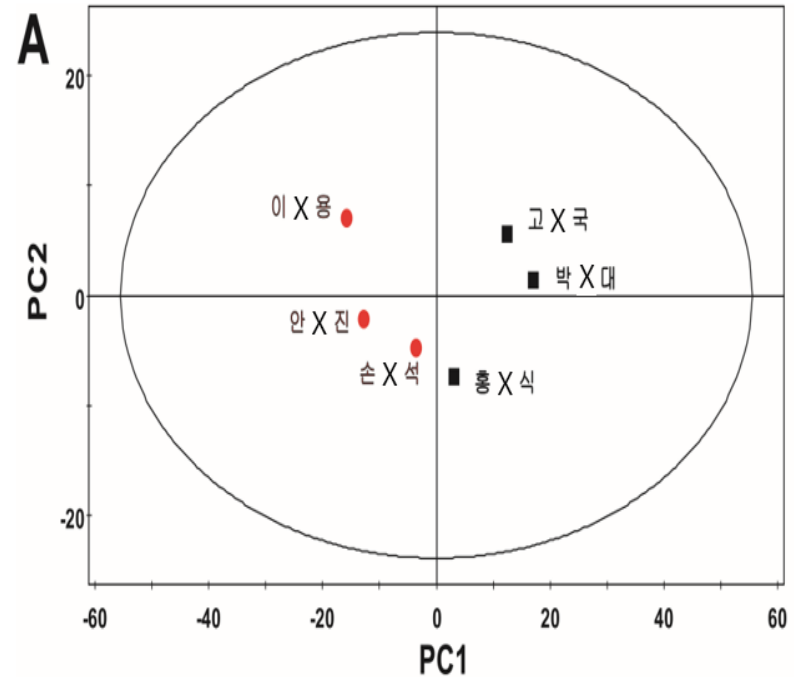
CSA 활용

Q & A

실험실 인원 신체 사이즈



위와 같은 예에선 **안**과 **손**이 유사하고 **이**는 상대적으로 유사성이 떨어지며 **홍**, **박**, **고**와는 아예 다른 특성을 가짐을 의미



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

- V -

CSA 활용

1. SCI 논문
2. 연구 과제

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● 논문 #1 - Prediction of key aroma of coffee using CSA

Food Chemistry 240 (2018) 808–816

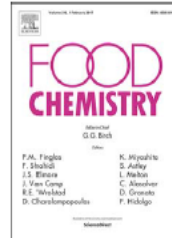


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Food Chemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchem



Prediction of key aroma development in coffees roasted to different degrees by colorimetric sensor array



Su-Yeon Kim^{a,c}, Jung-A Ko^a, Bo-Sik Kang^{b,*}, Hyun-Jin Park^{a,*}

^a Department of Biotechnology, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Republic of Korea

^b Department of Wine and Coffee, Daekyeung University, Jain-myeon, Gyeongsan-Si, Gyeongbuk 38547, Republic of Korea

^c World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Republic of Korea

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

논문 #1

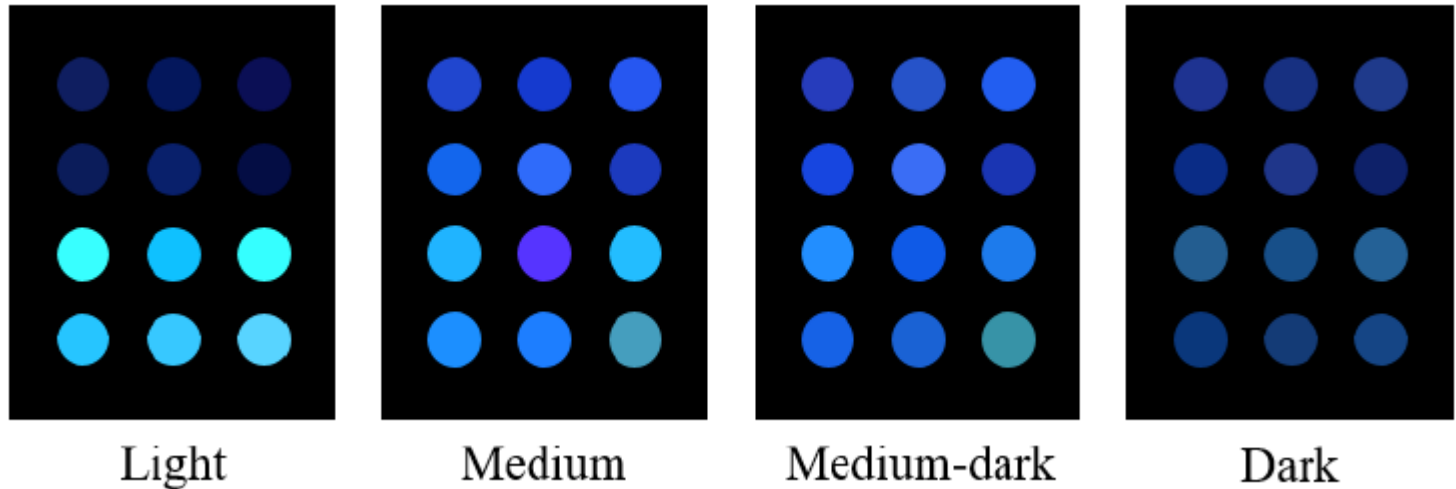


Fig. 2. Difference images of CSA for coffees roasted to different degrees.

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

논문 #1

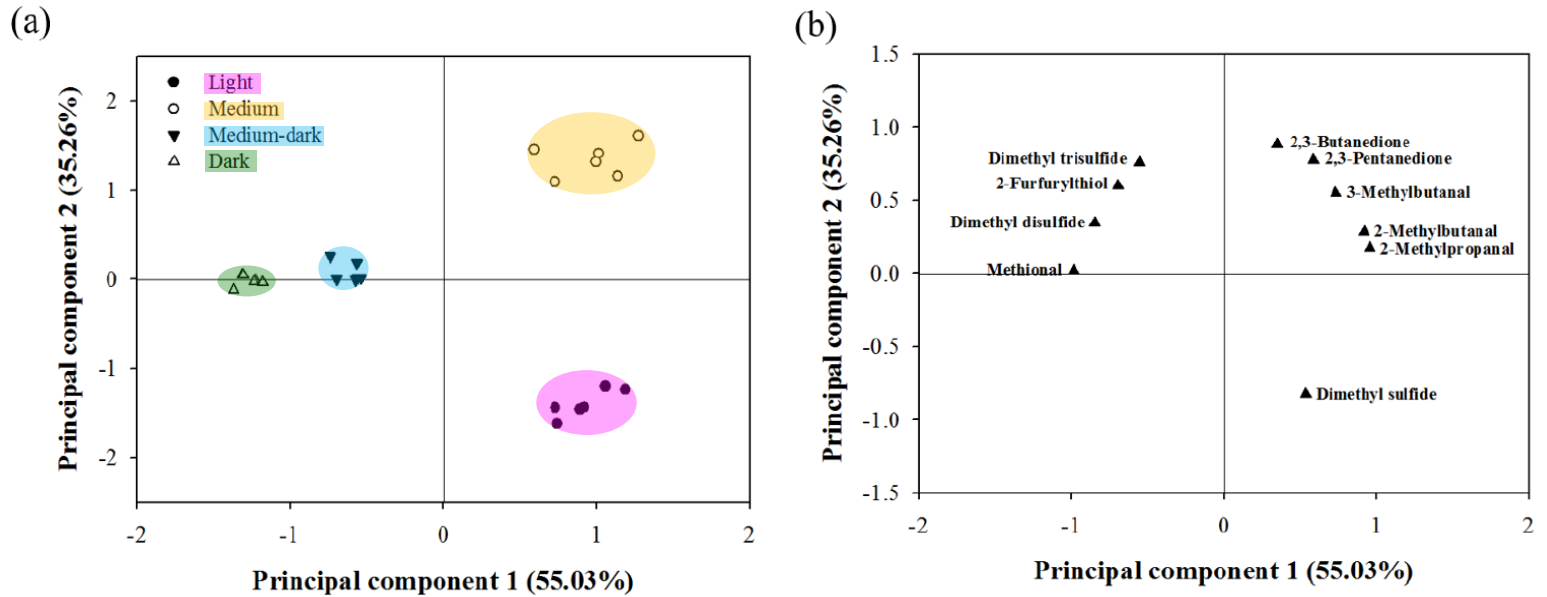


Fig. 1. PCA score (a) and loading (b) plots based on the concentrations of volatile compounds.

Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● 논문 #2 - Prediction of warmed-over flavor in cooked chicken by CSA

Food Chemistry 211 (2016) 440–447



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Food Chemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchem



Prediction of warmed-over flavour development in cooked chicken by colorimetric sensor array



Su-Yeon Kim ^{a,1}, Jinglei Li ^{a,c,1}, Na-Ri Lim ^a, Bo-Sik Kang ^{b,*}, Hyun-Jin Park ^{a,*}

^a Department of Biotechnology, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Republic of Korea

^b HiBio Co., Ltd., 903, Jungang Induspia 2, 144-5, Sangdaewon-dong, Seongnam, Gyeonggi 13201, Republic of Korea

^c College of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

논문 #2

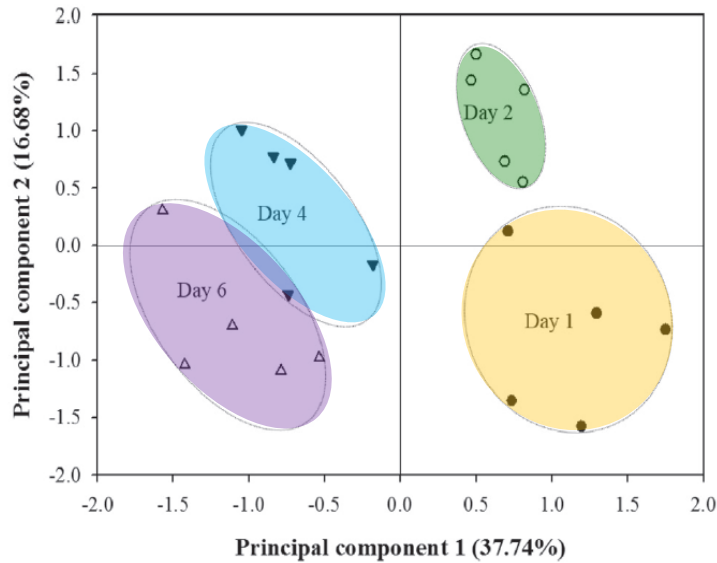
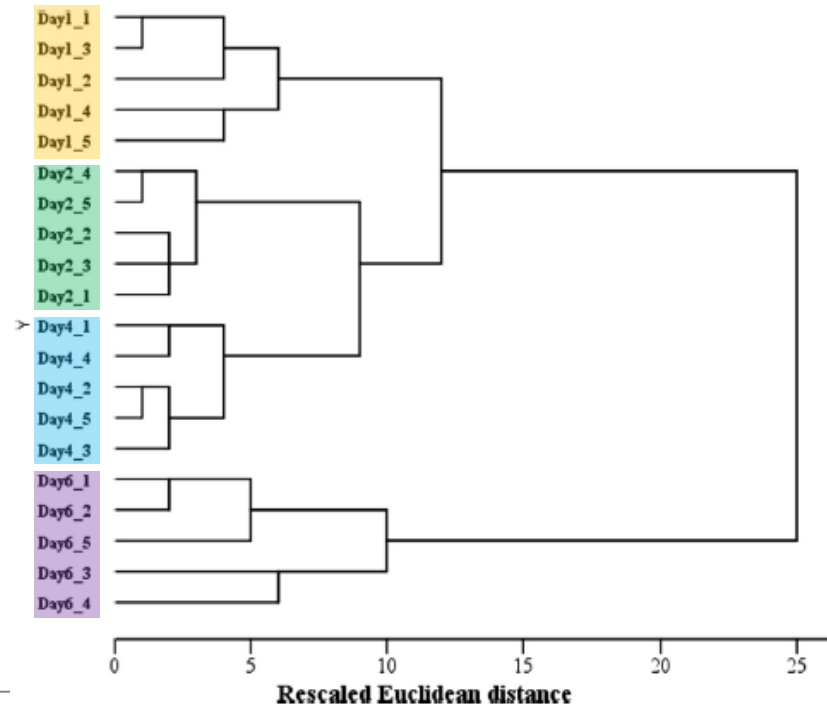


Fig. 3. PCA score plot constructed from first two PCs based on the CSA results.

Fig. 4. HCA dendrogram of the CSA results



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

● 논문 #3 – Classification of different extraction coffees by CSA

Sensors & Actuators: B. Chemical 275 (2018) 277–283

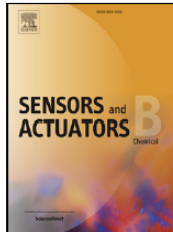


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Sensors and Actuators B: Chemical

journal homepage: www.elsevier.com/locate/snb



A colorimetric sensor array-based classification of coffees

Su-Yeon Kim^a, Bo-Sik Kang^{b,*}

^a World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Republic of Korea

^b HiBiO Co., Ltd., 903, Jungang Induspia 2, 144-5, Sangdaewon-dong, Seongnam, Gyeonggi-do 13201, Republic of Korea



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

논문 #3

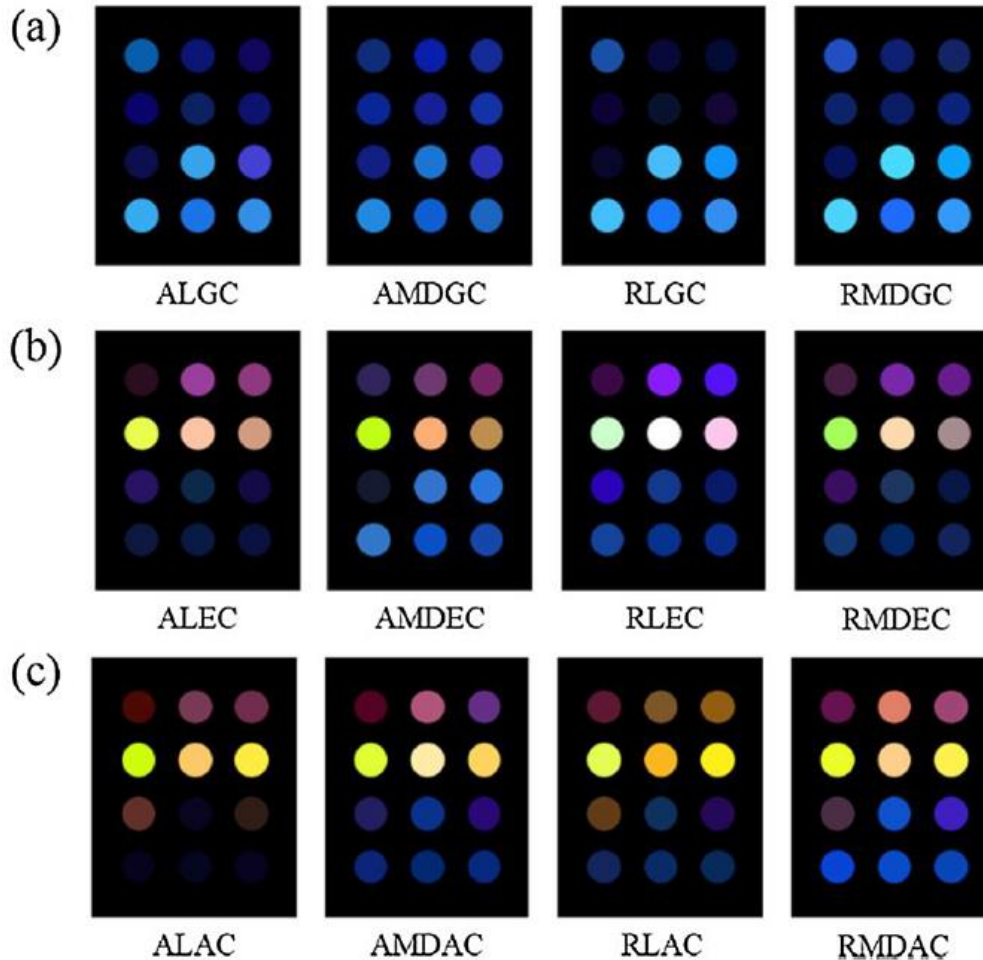


Fig. 2. Difference images of CSA for ground (a), espresso (b), and aero-press (c) coffees.

Fig. 2. Difference images of CSA for ground (a), espresso (b), and aero-press (c) coffees.

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

논문 #3

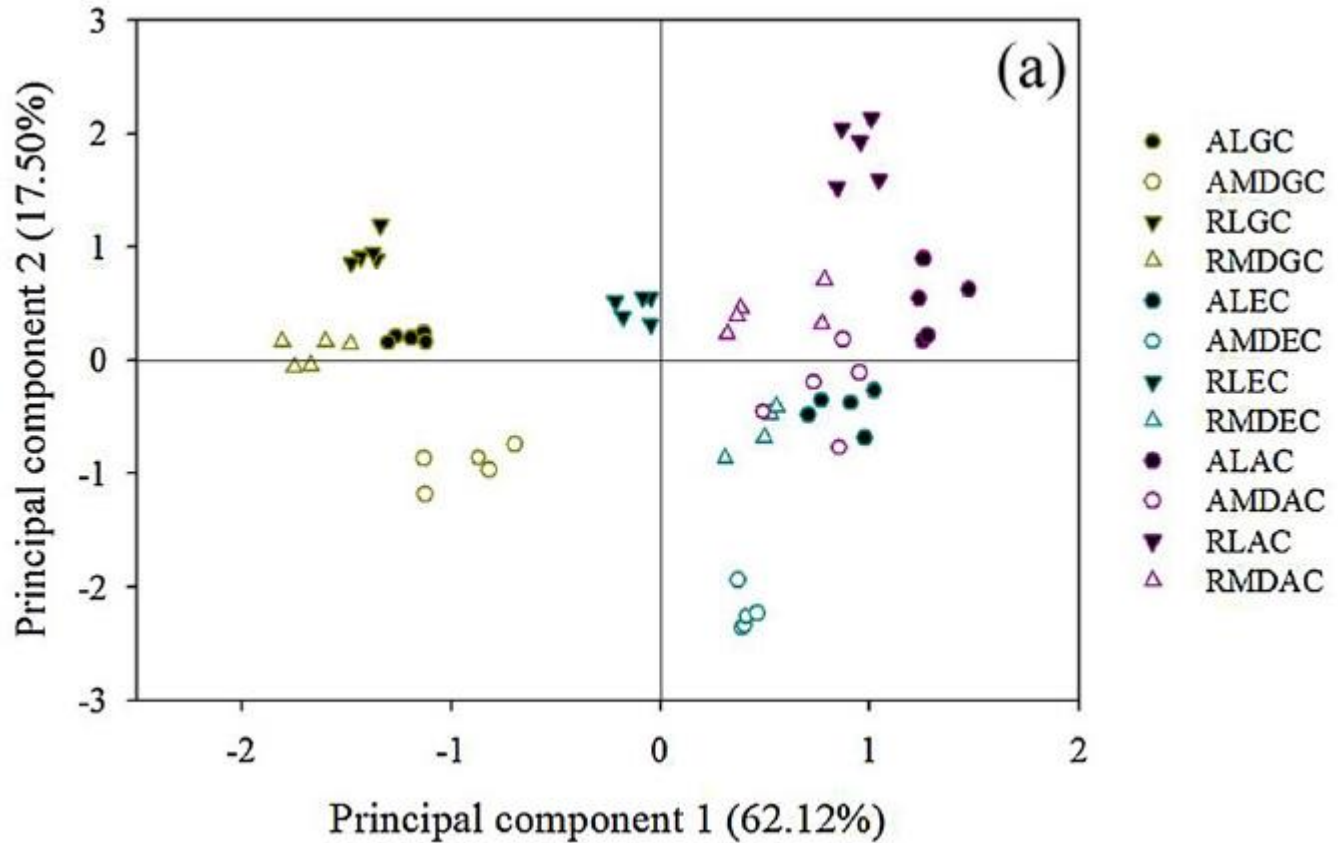


Fig. 3. PCA score plots based on the CSA responses.

Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

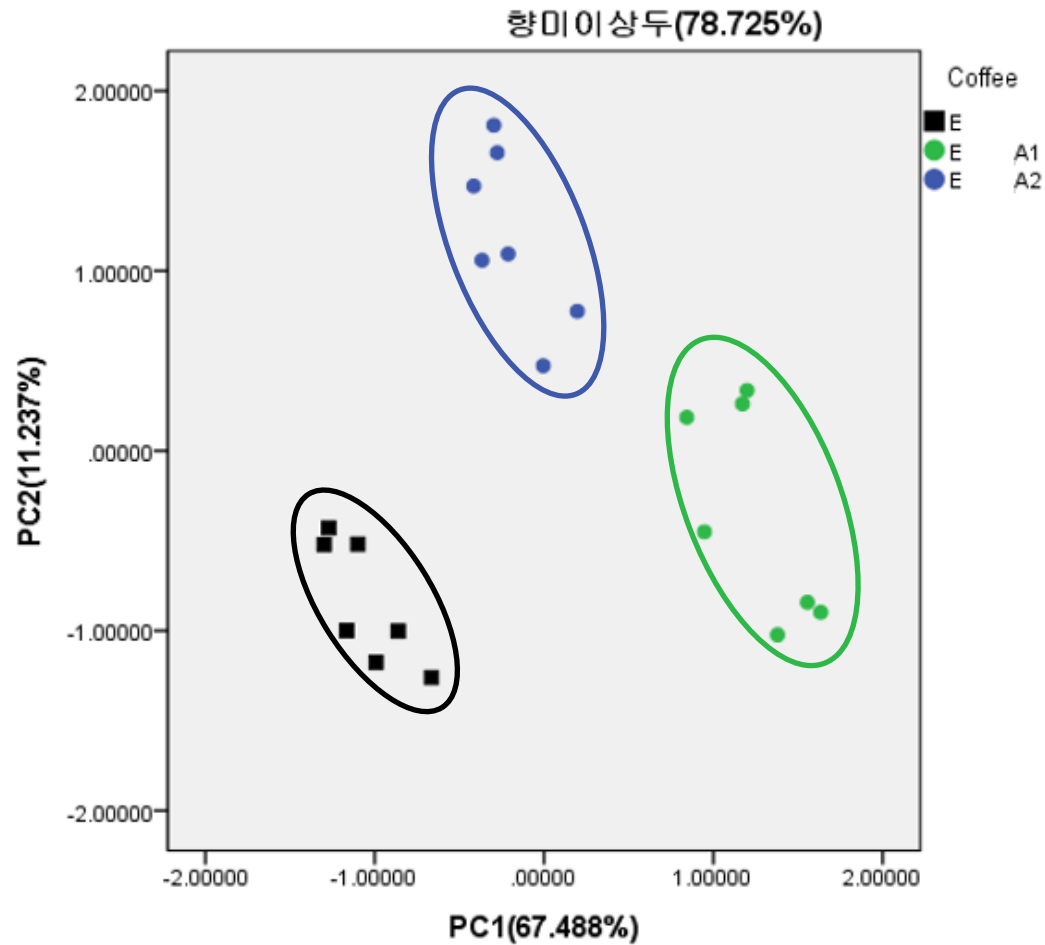
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

원두 향미 CSA

- 블렌딩 원두의 향미 이상유무를 CSA를 이용해 정확히 분석



Index

About Coffee

Coffee Roasting

Colorimetric Sensor Array (CSA)

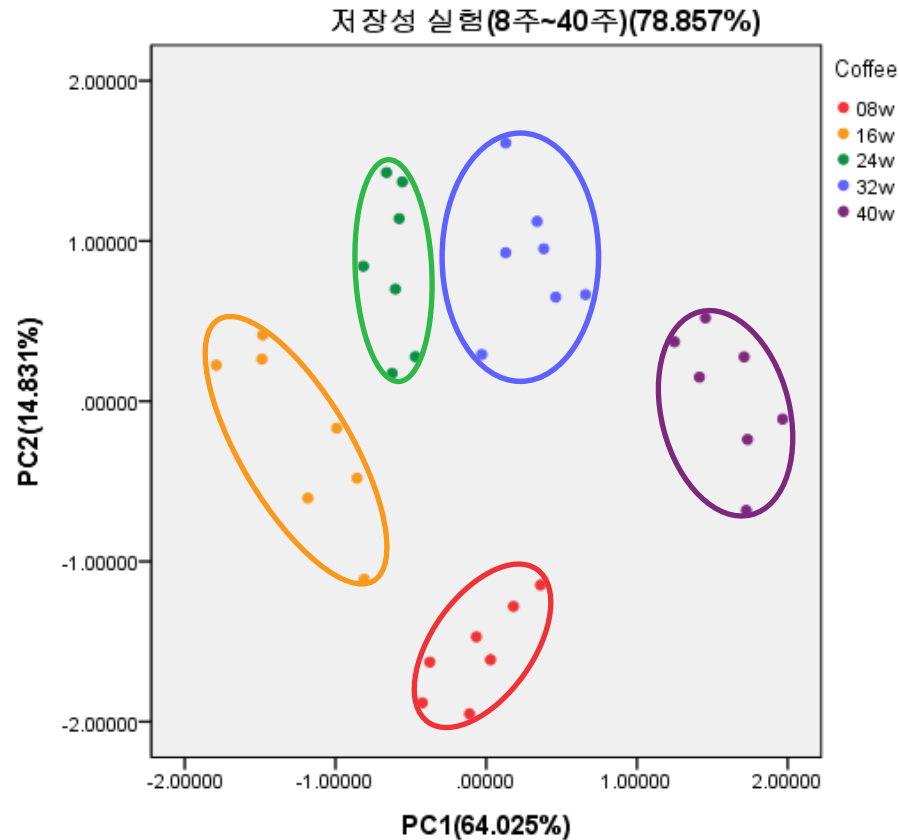
CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

원두 저장성 CSA

- 원두의 저장기간 동안의 향 변화를 CSA를 이용해 정확히 분석



Index

About Coffee

Coffee
Roasting

Colorimetric
Sensor Array
(CSA)

CSA 관련 통계

CSA 활용

Q & A

- VI -

Q & A

1. 좋은 커피와 나쁜 커피의 차이점은 무엇일까요?

정답은 산화된 정도의 차이입니다.

2. 맛있는 커피와 맛있는 커피의 차이점은 무엇일까요?

다양한 맛과 향의 조화로운 비율의 차이입니다. 당의 존재와 각각의 산의 함량/비율 등에 따라 커피의 맛과 향은 엄청나게 달라집니다.



**Thank
You**

