

수원지역 시판 콜드브루 커피의 이화학적 특성 및 항산화 활성

김 성 영[†]

경기대학교 교육대학원 영양교육전공 교수

Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Commercial Cold Brew Coffees in the Suwon Region

Seong Yeong Kim[†]

Professor, Nutrition Education, Graduate School of Education, Kyonggi University, Suwon 16227, Republic of Korea

ABSTRACT

This study investigated the physicochemical characteristics and antioxidant activities of commercially available cold brew coffee products in the Suwon region using multivariate statistical analyses, including principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA). PCA identified two principal components (PC1 and PC2), which together accounted for 86.28% of the total variance. PC1 was positively associated with soluble solids ($r = +0.938$), total acidity ($r = +0.923$), total polyphenol content ($r = +0.877$), and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity ($r = +0.638$). In contrast, it was negatively correlated with lightness (L^* , $r = -0.974$), redness (a^* , $r = -0.985$), yellowness (b^* , $r = -0.974$), and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging activity ($r = -0.737$). PC2 was primarily characterized by pH ($r = -0.932$), indicating that acidity-related attributes were a secondary source of variation among the products. HCA classified the 11 commercial samples into three distinct groups according to their physicochemical and antioxidant characteristics. Group A (Samples 5 and 10) consisted of light-colored coffees with relatively mild acidity. Group B (Samples 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, and 11) represented the largest cluster and was further subdivided into three subgroups: a light-colored, mildly acidic subgroup (Sample 7); an acidity-deficient subgroup (Samples 4 and 11); and a highly concentrated, dark-colored subgroup with pronounced or buffered acidity (Samples 1, 2, 3, 6, and 9). Group C comprised only Sample 8, which exhibited the highest concentration and acidity, consistent with its isolated position in the PCA score plot. These findings demonstrate that the combined application of PCA and HCA provides an effective approach for classifying commercial cold brew coffee products based on their physicochemical and antioxidant properties. This classification framework may serve as a useful tool for quality evaluation, product standardization, and the development of consumer-oriented cold brew coffee products.

Key words: cold brew coffee, physicochemical properties, antioxidant activity, principal component analysis, hierarchical cluster analysis

서 론

커피(*Coffea* sp.) 음료는 커피 특유의 맛과 향기 성분 때문에 전 세계적으로 큰 사랑을 받고 있다(Anese M & Nicoli MC 2003; Brezová V 등 2009; Angeloni G 등 2019; Castañeda-Rodríguez R 등 2022). 전 세계적 커피 소비량은 2020년도와 2021년도 기준 약 99억 9천 7백만 킬로그램에 달한다(Statista Research Department 2021).

콜드브루 커피(cold brew coffee)는 저온에서 장시간 추출하는 특성 때문에 높은 온도에서 단시간 추출하는 다른 일반 커피들에 비해 특유의 부드러운 관능적 특성과 낮은 산도의 특성을 나타내어 커피 애호가들의 인기를 증가시키고 있다(Wang X & Lim LT 2023). 특히, 즉석섭취 음료 형태로 유통

되는 시중의 콜드브루 커피 제품은 소비자들의 편의성과 함께 커피가 가지고 있는 유용한 생리활성 기능에 대한 관심도가 높아지면서 콜드브루의 시장규모가 더욱 커지고 있다(Anese M & Nicoli MC 2003; Angeloni G 등 2019; Socała K 등 2020; National Coffee Association 2023).

선행연구 결과, 콜드브루 커피는 열수 추출방식의 커피에 비해 높은 총 폴리페놀 함량을 가지고 있으며 라디칼 소거능을 이용한 항산화 활성평가 결과도 우수한 것으로 알려져 있다(Rao NZ & Fuller M 2018; Cordoba N 등 2019). 다른 선행연구에서도 콜드브루 커피의 항산화 활성이 열수 추출의 전통방식보다 우수했으며(So YJ 등 2014), 콜드브루 커피 특유의 추출방식은 항산화 활성능 뿐만 아니라 커피에 들어 있는 휘발성 성분 함량과 비휘발성 성분들에 의해 결정되는 다양한 이화학적 특성들에도 영향을 주었다고 보고하였다(Kang DE 등 2020).

[†] Corresponding author : Seong Yeong Kim, Tel: +82-31-249-9295, Fax: +82-31-249-9036, E-mail: ksyseong@kgu.ac.kr

시중 커피숍에서 판매되고 있는 콜드브루 커피들은 커피 원두 품종을 시작으로 볶는 정도, 분쇄 정도, 물의 양, 추출 시간 등이 매우 다양하다(Wang X & Lim LT 2023). 따라서 서로 다른 커피숍에서 추출되는 콜드브루 커피들은 고형분 함량을 비롯하여 산도, 색도, 총 폴리페놀 함량 등의 다양한 이화학적 특성들의 차이를 나타내게 된다. 이들 특유의 이화학적 특성과 생리활성능의 차이는 콜드브루 커피의 다양성 측면에서는 긍정적이나 소비자들에게 안정적인 콜드브루 커피 제품의 공급과 품질관리 측면에서는 어려운 생산환경으로 작용할 수 있다.

그러나 대부분의 선행연구들은 실험실 조건에서 위에 언급한 콜드브루 커피 추출과정에서 발생할 수 있는 특정한 변수들을 통제된 상태에서 단일 혹은 제한된 품질지표들을 중심으로 이화학적 특성 및 항산화 활성에 대한 비교를 수행한 연구들이 주를 이루었다(So YJ 등 2014; Park KD 2017; So YR 2018).

실제로 시중에 유통되는 콜드브루 커피 제품들은 서로 다른 이화학적 품질 특성 및 생리활성들을 가지고 있음에도 불구하고 품질 구조적인 이해를 통한 비교와 분석에 관한 연구는 매우 제한적이다.

또한, Andre CM & Soukoulis C(2020)는 식품의 품질평가가 단일 지표에 대한 평균값의 결과만을 가지고 비교하는 것만으로는 충분하지 않으며, 복합적 품질 특성을 갖는 식품들의 경우에는 다변량 통계기법을 활용한 통합적인 해석이 요구된다고 보고하였다. 다시 말해, 식품의 품질평가에서 주로 활용되는 화학적인 계량학의 방법과 다변량 접근을 통한 분석법의 한계를 보완하기 위해서 다변량 분석의 필요성을 제기한 것이다. 다변량 분석법 중 특히, 주성분 분석과 군집분석은 변수 간 상관관계를 제시할 수 있으며 제품들 간의 특징적인 유형들을 분류하는데 효과적인 도구로 제안되고 있다(Hossain MB 등 2011; Shim HJ 2018; Andre CM & Soukoulis C 2020).

따라서 본 연구에서는 수원지역에서 유통되고 있는 콜드브루 커피 제품 11종을 무작위적으로 수거한 후 이들을 대상으로 고형분, 총 산도, pH, 색도, 총 폴리페놀 함량과 같은 이화학적 특성평가와 더불어 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능을 통한 항산화 활성능 평가를 실시한 다음 측정된 결과값들 간의 상관성을 확인하고, 주성분 분석 및 계층적 군집분석을 통해 품질 인자들의 구조적인 분포와 제품들의 유형을 알아보고자 한다. 본 연구 결과는 단순한 이화학적인 결과들의 평균값들에 대한 비교를 넘어서 실제로 시중에서 유통되고 있는 콜드브루 커피 제품들의 품질 특성에 대해 통합적인 해석과 구조적인 해석이 동시에 가능한 분석 프레임으로 제시될 수 있다. 기존 연구들이 특정한 커피원두와 통제된 추출

법을 사용하여 단일 변수의 영향을 규명하는 데 집중했다면, 본 연구는 실제 시중에서 유통 및 판매되는 일부 콜드브루 커피 제품들을 다변량 통계기법으로 분석함으로써 소비자 관점에서의 실질적인 품질지표와 그룹별 특징을 제시한다는 점에서도 기존 연구들과의 차별성을 제시할 수 있을 것으로 여겨진다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

2024년도 8월 경기도 수원지역에서 유통되고 있는 커피숍 판매 콜드브루 커피제품 11종을 무작위적으로 수거하였다. 본 시료들은 얼음이 들어있는 아이스박스에 담아서 실험실로 8시간 내에 운반한 후 이화학적 특성 및 항산화 활성능 측정을 위한 분석 시료로 사용하였다.

2. 고형분, 총 산도, pH, 색도

고형분 함량은 디지털 굴절 당도계(PAL-1, Atago Co., Tokyo, Japan)를 활용하여 측정된 후 %로 나타냈다(Huang S 등 2026). 총 산도는 Whatman No. 6 여과지로 여과한 다음, 여과액 1 mL를 취한 후 페놀프탈레인 용액(Cat No. 6524-4425, Daejung Co., Siheung, Korea) 2~3방울을 첨가한 다음 0.1 N 수산화나트륨(NaOH) 용액으로 색깔의 변화 시점까지 적정하였다. 이때, 소비 mL 수를 측정된 다음 역가를 고려하여 구연산 당량(citric acid equivalent)으로 측정하였다. pH 값은 pH 측정계(PM-3, Cas Co., Seoul, Korea)를 이용하여 정확하게 측정하기 위해 사용 전에 표준용액을 사용하여 보정(calibration) 후 측정하였다. 색도는 색차계(JC-801, Color Techno System Co., Tsukuba, Japan)를 활용하여 L값(lightness, 명도), a값(redness, 적색도), b값(yellowness, 황색도)을 각각 측정하였다. 이때, 백색 표준판(standard plate)의 L, a와 b값은 각각 98.71, 0.12, -0.65였다. 모든 실험은 3회 반복하여 측정하였으며, 분석 결과는 평균값과 표준편차로 나타내었다.

3. 총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu법을 본 연구분석에 맞게 적절히 변형하여 측정하였다(Waterman PG & Mole S 1994). 시료 0.01 mL에 증류수 0.79 mL와 Folin-Ciocalteu 용액(Cat No. F9252, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 0.05 mL를 혼합시킨 다음 1분 동안 반응시켰다. 20% 탄산나트륨(Na_2CO_3 , Cat No. S2127, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 용액 0.15 mL를 첨가한 후 상온의 암소에서 2시간 동안 정치하였다. UV-Visible spectrophotometer(SpectraMax

190, Molecular Devices LLC., San Jose, CA, USA)를 활용하여 750 nm에서 시료들의 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 갈산[gallic acid(GA), Cat No. G7384, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA]을 이용하여 검량선을 작성한 후 총 폴리페놀 함량을 계산하였다. 실험은 3회 반복하여 측정하였으며, 분석 결과는 평균값과 표준편차로 나타내었다.

4. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능

ABTS radical 소거능은 Re R 등(1999)의 방법을 본 연구분석 목적에 맞게 적절하게 변형하여 분석하였다. 7.0 mM ABTS[2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), Cat No. A1888, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA]와 2.45 mM 과황산칼륨(potassium persulfate, Cat No. 379824, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 혼합하여 ABTS 용액을 제조한 다음 상온의 어두운 곳에서 12~16시간 동안 반응시켜서 ABTS 라디칼(ABTS+)을 충분히 생성시켰다. ABTS 라디칼이 생성된 용액은 UV-Visible spectrophotometer(SpectraMax 190, Molecular Devices LLC., San Jose, CA, USA)를 활용하여 흡광도 값이 734 nm에서 1.4~1.5가 되도록 증류수로 희석하였다. ABTS 라디칼 소거능은 ABTS 라디칼 용액 1 mL와 시료 50 μ L를 혼합한 후 60분 동안 상온의 암소에서 반응시켰다. 734 nm에서 흡광도를 측정한 후 백분율로 표시하였다. 실험은 3회 반복하여 측정하였으며, 분석 결과는 평균값과 표준편차로 나타내었다. ABTS 라디칼 소거능은 다음의 계산식으로 계산되었다. ABTS 라디칼 소거능(%) = $[(Ac - As) / Ac] \times 100$, 여기에서 Ac는 대조군 흡광도이며 As는 시료의 흡광도이다.

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능은 Cheung LM 등(2003)의 방법을 본 연구분석에 맞게 적절하게 변형하여 분석하였다. 95% 에탄올을 용매로 활용한 0.2 mM DPPH 에탄올 용액(Cat No. D9132, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 혼합한 후 상온의 암소에서 10분 동안 정치하여 반응시켰다. UV-Visible spectrophotometer (SpectraMax 190, Molecular Devices LLC., San Jose, CA, USA)를 활용하여 520 nm에서 흡광도를 측정한 후 백분율로 표시하였다. 실험은 3회 반복 측정하였으며, 분석 결과는 평균값과 표준편차로 나타내었다. DPPH 라디칼 소거능은 다음의 계산식으로 계산되었다. DPPH 라디칼 소거능(%) = $[(Ac - As) / Ac] \times 100$, 여기에서 Ac는 대조군 흡광도이며 As는 시료의 흡광도이다.

5. 통계 처리

본 연구 결과분석은 SPSS(Statistics Package for Social Science, SPSS Inc., Chicago IL, USA) 프로그램 윈도우 버전

29.0을 사용하여 통계 분석하였다. 실험 결과는 반복실험(n=3)을 원칙으로 하며, 이화학적 특성 및 항산화 활성평가 결과의 유의적인 차이는 일원배치 분산분석(one way analysis of variance, ANOVA)을 실시한 후 Duncan의 사후분석법(Multiple range test)을 이용하여 검증하였다. 이화학적 특성과 항산화 활성평가 결과들 간의 상관성은 Pearson의 상관계수를 측정하였다. 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 위한 추출방법은 주성분 분석, 회전방법은 베리맥스를 선택하여 초기 고유값(Eigen value)이 1.0 이상인 성분 2개를 추출하여 새로운 주성분(principal component, PC)이 만들어질 수 있게 간략화하였다(Lawless HT & Heymann H 1998). 군집분석은 계층적 군집분석(Hierarchical Clustering Analysis, HCA)을 통해 군집화하여 군집들 간의 특성을 비교, 분석하였다. 본 연구 결과들 간의 유의성 검증은 유의수준 $p < 0.05$ 에서 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 일반 특성

수거된 콜드브루 커피 시료들의 커피원두의 품종, 추출시간 및 추출방식과 같은 일반 특성은 Table 1에 제시하였다.

주로 콜드브루 커피는 목표로 하는 고품분 함량을 얻을 때까지 커피 분말에 찬물을 찬물을 담그는 침출식 추출방식을 활용하여 약 6~24시간 추출한다(Fuller M & Rao NZ 2017). Fuller M & Rao NZ(2017)는 카페인(cafeine)의 함량 및 클로로젠산(chlorogenic acids)의 함량이 균형 있게 추출되기 위해서는 최소한 상온에서 6~7시간의 추출시간이 필요하다고 보고하였다. Angeloni G 등(2019)은 콜드브루 커피 추출은 침출식보다는 커피 분말에 찬물을 한 방울씩 천천히 떨어뜨리는 점적식이 좀 더 쓴맛이 강한 카페인의 추출과 함께 클로로젠산의 함량도 높게 추출되었다고 보고하였다.

본 연구에서 수거된 콜드브루 커피 시료들의 추출시간은 최소 4시간에서 최대 48시간으로 나타났다. 추출방식은 7번과 10번 시료만이 점적식이었으며 그 외 시료는 모두 침출식으로 추출되었다.

고형분 함량 분석 결과, 2.83~5.91%로 매우 다양하게 나타나($p < 0.001$), 커피숍별로 서로 다른 농도의 콜드브루 커피를 제조하고 있는 것으로 나타났다(Table 2). 이들 시료 중 2번(5.91%), 3번(5.69%), 6번(5.71%), 8번(5.25%), 9번(5.01%)의 시료들은 5.01~5.91%로 상대적으로 높은 고품분의 함량을 나타낸 반면, 4번(2.83%), 5번(3.18%), 10번(3.16%)의 시료들은 2.83~3.18%로 상대적으로 낮게 나타났다($p < 0.001$).

침출식으로 제조된 콜드브루 커피의 고품분 함량은 커피 분쇄 크기, 추출온도, 추출비율 및 추출과정 중 담그는 시간

Table 1. Informed characteristics of collected commercial cold brew coffee samples

Sample No.	Volume (mL)	Extraction time (h)	Extraction method	Coffee beans
1	450	24	Immersion	Brazil 60%+Columbia 40% (blended)
2	350	24	Immersion	Guatemala+Honduras+Brazil (blended)
3	350	24	Immersion	Columbia (single)
4	300	12	Immersion	Ethiopia (single)
5	450	8	Immersion	Ethiopian Yirgacheffe+Papua New Guinea Washed (blended)
6	450	4	Immersion	Ethiopia+Brazil+Indonesia (blended)
7	300	24	Dripping	Mandelin+Kenya+Guatemala+Columbia (blended)
8	450	12	Immersion	Ethiopian Schooneck (single)
9	450	8	Immersion	Ethiopian Yirgacheffe+Kenya+Columbia (blended)
10	400	8-10	Dripping	Guatemala (single)
11	350	48	Immersion	Costa Rica+Guatemala+Columbia (blended)

Table 2. Soluble solid, total acidity, pH, color (lightness, redness, yellowness) of the commercial cold brew coffee samples

Sample No.	Soluble solid (%)	Total acidity	pH	Color values		
				Lightness	Redness	Yellowness
1	4.96±0.01 ^{1)f2)}	2.40±0.00 ^d	5.22±0.01 ^d	22.81±0.00 ^f	14.23±0.25 ^f	22.58±0.00 ^f
2	5.91±0.01 ^a	2.52±0.03 ^c	5.27±0.01 ^c	12.34±0.05 ^k	-3.83±0.20 ^j	4.34±0.08 ^k
3	5.69±0.01 ^c	3.05±0.05 ^a	5.08±0.02 ^f	14.32±0.00 ^j	-1.78±0.00 ^j	7.63±0.11 ⁱ
4	2.83±0.01 ^k	1.40±0.00 ⁱ	5.07±0.01 ^f	35.38±0.04 ^a	29.48±0.08 ^a	43.27±0.05 ^a
5	3.18±0.00 ^j	1.72±0.03 ^g	5.04±0.01 ^g	31.63±0.12 ^b	25.84±0.15 ^b	37.17±0.42 ^b
6	5.71±0.01 ^b	2.13±0.03 ^e	5.40±0.02 ^a	19.24±0.06 ^g	5.88±0.50 ^g	16.12±0.21 ^g
7	3.82±0.02 ^h	2.03±0.03 ^f	4.98±0.01 ^h	26.16±0.13 ^d	19.93±0.28 ^e	27.86±0.04 ^d
8	5.25±0.01 ^d	2.72±0.03 ^b	4.92±0.01 ⁱ	13.56±0.04 ^j	-5.00±0.75 ^k	6.07±0.08 ^j
9	5.01±0.01 ^e	2.52±0.03 ^c	5.11±0.03 ^e	17.45±0.03 ^h	3.15±0.29 ^h	12.77±0.06 ^h
10	3.16±0.01 ^j	2.00±0.00 ^f	4.92±0.01 ⁱ	29.72±0.08 ^c	24.83±0.17 ^c	33.94±0.14 ^c
11	3.87±0.01 ^g	1.58±0.03 ^h	5.31±0.01 ^b	24.41±0.08 ^e	21.12±0.16 ^d	24.80±0.14 ^e

¹⁾ Data was expressed Mean±S.D.

²⁾ Different small letters in the same column mean significantly different at $p<0.001$ by Duncan's multiple range test.

동안의 상호작용 등에 의해 영향을 받는다(Wang X & Lim LT 2023). 따라서 이러한 고형분 함량의 차이는 콜드브루 커피 제조시 각기 다른 커피의 품종 및 양, 볶은 정도, 분쇄 크기, 물의 양, 추출시간, 추출방식 등을 가지고 있었기 때문에 서로 다른 고형분 함량의 차이를 나타낸 것으로 여겨진다.

추출방식을 고려해 볼 때, 4번의 고형분 함량은 2.83%로 가장 낮았으며, 침출식으로 12시간 추출한 시료였다. 더불어 10번 시료의 고형분 함량은 3.16%로 두 번째로 낮은 수준의 시

료였으며 점적식으로 8~10시간 추출한 시료였다. 고형분 함량이 상대적으로 낮은 수준을 보인 까닭은 소량의 커피 또는 커피의 양에 비해 많은 양의 물을 사용하는 추출방식을 사용했을 가능성이 커 보였다. 가장 높은 고형분 함량을 보인 것은 2번 시료였으며 5.91%로 나타났다. 이 시료는 침출식으로 추출한 콜드브루 커피 제품으로 24시간 추출한 시료로 다른 시료들에 비해 상대적으로 많은 커피의 양과 적은 물의 양을 사용하여 24시간 동안 충분히 추출하여 제조한 것으로 여겨진다.

2. 이화학적 특성

커피에 들어있는 고형분 중 탄수화물 성분과 당 성분들은 산성 물질들과 향기 성분들의 생성을 위한 전구체로 작용하며, 일반적으로 볶은 커피에는 소량 존재하며 추출된 콜드브루 커피의 단맛 인식에 대한 기여성분으로 알려져 있다(De Maria CAB 1996; Poisson L 등 2017). 일반적으로 콜드브루 커피는 고온 추출방식의 전통적인 제조방법에 비해 낮은 산도를 나타내는 것으로 알려져 있다(Rao NZ & Fuller M 2018; Cordoba N 등 2019). 커피의 산도는 스페셜티 커피 소비자들 사이에서 특히 관심이 높으며 기존의 가볍게 볶은 커피에 비해 훨씬 더 가볍게 볶은 커피원두를 사용하게 된다. 산도는 일반적으로 커피 추출평가에서 중요한 항목 중 하나이며 관능평가에서도 매우 중요한 인자로 여겨지고 있다(Ginz M 등 2000). 일반적으로 높은 산도를 가진 커피를 높게 평가하는 경향이 있기 때문에 커피를 볶는 과정에서 산도를 유지시키는 방법들에 대한 연구들도 활발하게 진행되고 있다(Thomas E 등 2017). 따라서, 커피의 산도는 커피 음료의 향과 신맛에 대한 역할 뿐만 아니라 커피 품질평가의 설명자로서 결정적인 역할을 하게 되며, 커피 음료의 품질등급을 판가름하는 하나의 중요한 기준으로도 활용된다(Woodmann JS 1985; BorÅ©m FM 등 2016; Thomas E 등 2017).

본 연구에서, 커피의 산도에 영향을 미칠 수 있는 이화학적 인 평가 지표로 총 산도와 pH 값을 측정하였다. 그 결과, 수거된 콜드브루 시료들의 총 산도의 함량 범위는 1.40~3.05%로 다양했으며($p<0.001$), pH의 값도 4.92~5.40의 범위를 나타내어 시료들 간의 유의적인 차이를 나타냈다($p<0.001$). 이들 시료 중 총 산도가 상대적으로 높은 시료는 1, 2, 3, 8, 9번의 시료들이었으며 2.40~3.05%를 나타냈다. 특히, 이들 중에서도 가장 높은 총 산도를 나타낸 시료는 3번으로 3.05%였다. 이에 반해, 상대적으로 낮은 총 산도의 함량을 나타낸 시료는 4번(1.40%)과 11번 시료(1.58%)였다($p<0.001$). 시료별 pH를 측정한 결과, 8번(4.92)과 10번(4.92) 시료가 낮은 pH 값을 나타내어 상대적으로 강한 산도의 특성을 나타낸 반면, 6번(5.40)과 11번(5.31) 시료는 높은 pH 값을 나타내어 상대적으로 약한 산도를 나타냈다($p<0.001$). 일반적으로 커피 시료의 신맛에 영향을 주는 품질 특성은 수소이온농도(pH 값)뿐만 아니라 유기산의 종류 및 완충능력에 따른 적정 산도로 평가되는 총 산도와도 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Ginz M 등 2000).

선행연구에 따르면 커피의 신맛에 영향을 주는 이화학적 지표는 pH보다 적정 산도로 측정되는 총 산도의 영향이 더 큰 것으로 보고되었다(Batali ME 등 2021). 따라서, 선행연구 결과를 고려해 볼 때, 본 연구에서 수거된 콜드브루 커피의 산미 특성은 pH 값뿐만 아니라 총 산도의 결과를 포함하여 종합적으로 해석할 필요가 있다.

본 연구 결과, 총 산도가 높은 시료는 3번(3.05)이었으며 8번(2.72), 2번(2.52)과 9번(2.52) 순을 나타낸 반면, pH 값은 8번과 10번이 4.92로 공동으로 낮게 나타났다. 두 지표인 총 산도와 pH 값을 종합적으로 판단해 보았을 때, 3번 시료는 총 산도가 가장 높았음에도 불구하고 pH 값이 5.08로 비교적 높게 나타난 이유는 커피 추출액 내에 존재하는 단백질, 미네랄 등의 성분에 의한 완충능력이나 유기산 조성의 차이에서 기인된 것으로 사료된다(Mennah-Govela YA 등 2020). 반면, 8번 시료의 경우는 총 산도가 두 번째로 높은 결과와 함께 pH 값 역시 낮은 수준인 4.92를 나타냈다. 따라서 선행연구에서 보고한 총 산도의 중요성과 본 연구 결과의 pH 측정 값을 모두 고려해 보았을 때, 실질적으로 강한 산미의 특성을 나타낼 가능성이 높은 시료는 8번일 것으로 여겨진다.

일반적으로 커피원두의 산도에 대한 영향 물질은 구연산, 아세트산, 포름산, 젖산, 사과산과 같은 유기산들과 클로로젠산 및 인산과 같은 무기산 성분으로 알려져 있다(Yeager SE 등 2021). 이에 반해, 볶은 커피의 주요한 산성 물질은 클로로젠산, 아세트산, 젖산, 퀴산, 구연산, 말산, 인산이며, 때로는 타르타르산도 확인되고 있다(Ginz M 등 2000). 이러한 커피의 산도는 커피 추출방식의 차이에 의해서도 달라진다고 보고되고 있으므로(Gloess AN 등 2013; Farah A 2020), 커피원두의 품종을 시작으로 볶는 정도 및 추출조건들이 복합적으로 상업용 콜드브루 커피 제품들의 산도 형성에 영향을 미쳤을 것으로 여겨진다.

수거된 콜드브루 커피 시료들의 색상을 평가하기 위하여 명도, 적색도, 황색도를 측정하였다. 그 결과, 명도는 12.34~35.38의 범위를 나타냈으며($p<0.001$), 적색도는 -5.00~29.48($p<0.001$)을, 황색도는 4.34~43.27($p<0.001$)을 나타내어, 콜드브루 커피 제품들의 색상은 매우 다양한 것으로 나타났다. 명도가 높은 시료는 4번이 35.38로 가장 높았으며 5번(31.63), 10번(29.72) 순으로 나타나, 이들 시료들이 밝고 라이트한 색상을 나타낼 가능성이 있었다($p<0.001$). 반면에, 명도가 낮은 시료는 2번(12.34), 8번(13.56), 3번 시료(14.32) 순으로 나타나, 이들 시료들은 비교적 색이 어둡고 농축된 색상을 나타낼 가능성이 있는 것으로 여겨진다.

선행연구 결과, 소비자들은 음료의 색이 맛에도 영향을 준다고 인식하는 것으로 보고되었으므로(Carvalho FM & Spence C 2019), 본 연구 결과에서 나타난 콜드브루 커피의 명확한 색상 차이는 소비자들이 콜드브루 커피 제품을 선택할 때 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 섭취할 때에도 맛에 대한 인식도에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

Castañeda-Rodríguez R 등(2022)은 25℃에서 추출한 콜드브루 커피가 10℃에서 추출한 것에 비해 색이 더 진하고 산도도 높았을 뿐만 아니라 생리활성 물질의 함량도 높았다고 보고

하였다. 더불어 곱게 분쇄된 커피 분말이 중간 정도 분쇄된 커피 분말에 비해 생리활성 물질의 농도는 높고 산도와 명도는 낮았다고 보고하여, 추출과정 중 다양한 인자들이 색과 신맛, 생리활성 물질의 함량 등에 영향을 주는 것으로 여겨진다. 다시 말해, 다양한 추출조건(커피원두의 품종, 분쇄 정도, 물의 양, 추출온도, 추출시간 등)을 가지고 있는 본 시료들이 다양한 색뿐만 아니라 신맛에 대한 영향과 더불어 다양한 생리활성 기능들에도 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

Park KD(2017)의 연구에서 콜드브루 커피 제조과정 중 커피와 물 사이의 접촉 시간이 길어질수록 그리고 곱게 분쇄하는 것이 곱게 분쇄하는 것보다 클로로젠산의 추출함량이 높았다고 보고하였다.

Kim SY & Ahn SC(2023)는 커피 추출방식(에스프레소, 모카포트, 사이폰, 핸드드립, 사이폰, 프렌치프레스)의 차이에 따라 총 폴리페놀, 클로로젠산 및 카페인 함량을 비교한 결과, 에스프레소 방식이 가장 높았으며 핸드드립 방식이 가장 낮았다고 보고하였다. 또한, 커피 추출방식의 차이는 고형분 함량뿐만 아니라 유리당(fructose, sorbitol)과 유기산 함량(구연산, 말산, 젖산, 포름산, 초산, 푸말산)에도 영향을 주었으며 에스프레소 방식이 가장 높은 함량을 나타냈고 핸드드립 방식은 가장 높은 pH 값을 나타냈다고 보고하였다.

Gloess AN 등(2013)의 연구에서도 다양한 추출방식 중 에스프레소 방식이 고형분, 카페인, 클로로젠산의 함량이 높았으며 쓴맛과 묽은 향이 강한 특성을 나타낸 반면, 핸드드립 방식은 깔끔하며 균형이 잡힌 맛의 특성과 함께 지방함량은 적고 바디감과 향이 약한 특성을 나타냈다고 보고하였다. 이와 더불어, 커피 성분 중 카페인과 클로로젠산의 함량은 쓴맛 및 떫은맛과 양의 상관성을 나타냈다고 보고하였다.

Cordoba N 등(2019)의 연구에서는 콜롬비아 스페셜티 원두인 나리뇨(Nariño)와 우일라(Huila) 품종을 대상으로 분쇄도(중간, 굵게)와 추출시간(14시간, 22시간)의 차이가 이화학적 특성 및 관능평가에 미치는 영향을 살펴본 결과, 곱은 분쇄도로 22시간을 추출했을 때가 고형분, 추출수율, 총 산도 및 총 폴리페놀 함량이 높게 나타났으며, 곱은 분쇄 커피원두 14시간 추출했을 때는 강한 단맛, 과일 향, 꽃 향, 중간 정도의 쓴맛과 산미 및 크림미한 바디감의 관능특성을 나타냈다고 보고하였다. 총 산도와 pH에 주요한 영향 인자는 커피원두 품종의 차이였으며 나리뇨 커피원두가 우일라 커피원두보다 산도가 높았다고도 보고하였다. 더불어, 콜드브루 커피는 핫브루 커피보다 산도는 낮고 pH가 높게 나타나, 콜드브루 커피는 부드럽고 달콤한 맛의 특징을 나타냈다고 보고하였다. 콜드브루 커피의 주요한 향미 성분으로는 퓨란, 피라진, 케톤, 알데하이드, 피톨, 에스터, 락톤, 퓨라논, 페놀류 등이며 퓨란류는 달콤한 맥아향을 나타내는 데 기여하였고

피라진류는 견과류 및 고소한 향을 나타냈다고 보고하였다.

침출식 콜드브루 커피 제조과정 중 커피 분쇄도(282~1,057 μm), 추출온도(4°C, 23°C, 37°C), 커피와 물의 비율(커피:물의 중량비 1:3, 1:6, 1:9, 1:11) 및 추출시간(5분~18시간)의 차이에 따른 이화학적 특성을 살펴본 결과, 분쇄입자는 작을수록 그리고 추출온도는 높을수록 추출속도가 증가했으며 멜라노이딘 색소추출 함량도 증가했다고 보고하였다. 커피와 물의 비율은 물의 함량이 많을수록 고형분 함량이 낮았으며 추출온도가 낮을수록 pH는 높고 총 산도, 총 폴리페놀, 멜라노이딘 색소함량은 낮았다고 보고하였다. 추출온도에 따른 카페인과 클로로젠산 함량은 37°C와 23°C는 비슷한 수준을 나타냈으나 4°C 콜드브루커피는 상대적으로 낮은 수준을 나타냈다고 보고하였다(Wang X & Lim LT 2023).

그러나 Fuller M & Rao NZ(2017)는 콜드브루 커피 추출과정에서 볶는 온도(중간색과 어두운색)와 분쇄도(중간, 곱게)가 카페인과 클로로젠산 함량에 미치는 영향을 분석한 결과, 중간색의 볶은 원두가 어두운색의 볶은 원두보다 카페인과 클로로젠산 함량은 높게 나타났으나 분쇄크기는 콜드브루 커피에서 카페인과 클로로젠산 함량에 큰 영향을 주지는 않았다고 보고하였다. 곱은 분쇄도를 가진 커피원두를 가지고 추출온도에 따른 카페인 함량의 영향을 비교한 결과에서는 콜드브루 커피의 카페인 함량이 핫브루 커피보다 높았다고 보고하였다.

3. 총 폴리페놀 함량 및 항산화 활성

일반적으로 커피 속에 들어있는 폴리페놀은 방향족 화합물들로 슈퍼옥사이드를 비롯하여 과산화수소 및 하이드록시 라디칼과 같은 유리 라디칼들을 제거하여 항산화 효과를 발휘하게 된다. 따라서 커피뿐만 아니라 자연 식품들에 존재하는 폴리페놀계 성분들은 주요한 항산화 물질로 인식되고 있다(Aruoma OI 2003; Roginsky V 2003). 따라서 본 연구에서는 총 폴리페놀 함량을 측정하였고, 그 결과, 291.29~709.04 $\mu\text{g GA/mL}$ 의 범위를 나타내어 콜드브루 제품마다 서로 다른 총 폴리페놀 함량을 가지고 있었다($p<0.001$; Table 3). 높은 총 폴리페놀 함량을 나타낸 시료는 8번(709.04 $\mu\text{g GA/mL}$)이었으며 3번(512.33 $\mu\text{g GA/mL}$), 2번(468.61 $\mu\text{g GA/mL}$), 6번(458.75 $\mu\text{g GA/mL}$) 순으로 나타났다($p<0.001$).

항산화 활성은 ABTS 라디칼 및 DPPH 라디칼 소거능을 통해 측정되었다. ABTS 라디칼 소거능은 98.37~99.09%로 전반적으로 매우 높은 항산화 활성을 나타냈으며($p<0.001$), DPPH 라디칼 소거능은 ABTS 라디칼 소거능보다 약간 낮은 범위인 81.88~89.80%를 나타냈다($p<0.001$). 높은 ABTS 라디칼 소거능을 나타낸 시료는 4번(99.09%)의 시료였으며, 7번(98.98%), 10번(98.60%) 순으로 나타났다($p<0.001$). 반면

Table 3. Total polyphenol content and antioxidant activity (ABTS and DPPH radical scavenging activities) of commercial cold brew coffee samples

Sample No.	TPC ²⁾ (µg GA/mL)	Antioxidant activity (%)	
		ABTS ³⁾	DPPH ⁴⁾
1	424.55±10.38 ^{1)d5)}	98.83±0.22 ^{abc}	87.83±2.69 ^{ab}
2	468.61±12.01 ^c	98.60±0.25 ^{cd}	87.48±0.70 ^{ab}
3	512.33±22.44 ^b	98.73±0.25 ^{bc}	87.78±0.78 ^{ab}
4	291.29±3.05 ^g	99.09±0.00 ^a	81.88±0.63 ^d
5	311.74±11.31 ^f	98.91±0.09 ^{abc}	84.71±2.20 ^c
6	458.75±5.82 ^c	98.37±0.09 ^c	86.19±0.93 ^{bc}
7	388.24±5.28 ^e	98.98±0.16 ^{ab}	87.24±0.14 ^{ab}
8	709.04±6.88 ^a	98.37±0.25 ^c	87.16±2.14 ^b
9	430.90±5.82 ^d	98.60±0.09 ^{cd}	89.80±0.60 ^a
10	306.10±1.62 ^{fg}	98.96±0.16 ^{ab}	87.67±0.81 ^{ab}
11	305.04±3.40 ^{fg}	98.81±0.04 ^{abc}	81.88±0.78 ^d

¹⁾ Data was expressed Mean±S.D.

²⁾ TPC means total polyphenol content.

³⁾ ABTS means 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid).

⁴⁾ DPPH means 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

⁵⁾ Different small letters in the same column mean significantly different at $p<0.001$ by Duncan's multiple range test.

예, 높은 DPPH 라디칼 소거능을 나타낸 시료는 9번 시료 (89.80%)였으며, 1번(87.83%), 3번(87.48%), 10번(87.67%) 순으로 나타났다($p<0.001$). 본 연구 결과에서 총 폴리페놀 함량이 높았던 시료는 8번이었으나 ABTS 라디칼 소거능은 4번, DPPH 라디칼 소거능은 9번이 높게 나타나, 총 폴리페놀 함량이 높은 시료가 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능이 높지 않은 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 ABTS 라디칼과 DPPH 라디칼 소거능이 오직 폴리페놀 성분들에 의해서만 결정되는 않는다는 것으로 판단된다.

커피의 항산화 물질들은 커피원두에 들어있는 자연적인 구성 성분들과 볶음, 추출과정 등의 콜드브루 커피 제조과정 중에 생성된 물질들로 구성되어 있다. 커피의 잠재적인 항산화 성분은 카페인, 클로로젠산, 하이드록시신남산(hydroxycinnamic acids), 멜라노이딘(melanoidins) 같은 마이야르 반응 생성물들이 대표적으로 알려져 있다. 다시 말해, 커피의 항산화 활성은 클로로젠산과 하이드록시 신남산과 같은 폴리페놀 성분 외에도 볶는 과정에서 생성되는 비페놀성 고분자 물질인 멜라노이딘과 알칼로이드 계열의 카페인 등의 비페놀성 환원물질의 복합적인 영향을 받는다(Vignoli JA 등 2011). 따라서 본 연구에서 분석한 총 폴리페놀 함량 지표만으로 ABTS 라디칼과 DPPH 라디칼 소거능 활성의 차이가

설명되지는 않았던 것으로 여겨진다.

Floegel A 등(2011)은 수용성의 성질을 가졌거나 색소함량 및 수분함량이 높은 식품들에서는 ABTS 라디칼 소거능 측정법이 DPPH 라디칼 소거능 측정법보다 정확했다고 보고하였다. 이러한 이유들 때문에 일반적으로 항산화 평가 결과에서 ABTS 라디칼 소거능이 DPPH 라디칼 소거능보다 높게 나타난다고 보고하였다(Floegel A 등 2011). 또한, Rumpf J 등(2023)도 일반적으로 ABTS 라디칼 소거능 측정법이 DPPH 라디칼 소거능 측정법에 비해 항산화 활성을 보다 잘 추정한다고 보고하였다. 그 이유가 DPPH 라디칼은 입체적 장애(steric hindrance)가 크고 주로 친유성 환경에서 선택적인 특이성을 나타내는 반면, ABTS 라디칼은 수용성과 지용성 환경 모두에서 반응하는 유연성을 가진다고 보고하였다. 커피의 핵심적인 항산화 성분인 클로로젠산(chlorogenic acids)류는 대표적인 친수성 물질이며, 볶는 과정에서 생성되는 고분자 멜라노이딘 역시 친수성 물질에 다량 존재한다(Rumpf J 등 2023). 따라서 수용성 추출기반인 콜드브루 커피 시료의 특성상, 친수성 항산화 성분들이 DPPH 라디칼보다 ABTS 라디칼과 더 용이하게 반응한 것으로 판단된다. 결과적으로 이러한 항산화 성분들의 화학적 구조와 친수성 유무에 따라 ABTS 및 DPPH 라디칼들과의 친화도 차이를 발

생시켰고 총 폴리페놀 함량과 두 라디칼 소거능 간의 상관성 편차를 발생시키는 주된 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과에서 수거된 콜드브루 커피 시료들의 ABTS 라디칼 소거능이 DPPH 라디칼 소거능들에 비해 전반적으로 높게 나온 것으로 여겨진다.

4. 이화학적 특성 및 항산화 활성 간의 상관성

이화학적 특성 및 항산화 활성 간의 상관성을 분석한 결과는 Table 4에 제시하였다. 가장 높은 상관성을 보인 것은 명도와 황색도 (+1.000), ($p<0.01$)였으며, 명도와 적색도 (+0.980), ($p<0.01$), 황색도와 적색도(+0.981), ($p<0.01$)가 매우 높은 양의 상관성을 나타냈다. 명도, 적색도 및 황색도는 총 폴리페놀 함량[명도(-0.815), ($p<0.01$), 적색도(-0.868), ($p<0.01$), 황색도(-0.817), ($p<0.01$)]과 ABTS 라디칼 소거능 [명도(-0.533), ($p<0.01$), 적색도(-0.548), ($p<0.01$), 황색도(-0.529), ($p<0.01$)]과는 음의 상관성을 나타냈다. 그러나 DPPH 라디칼 소거능은 명도(+0.706), ($p<0.01$), 적색도(+0.724), ($p<0.01$), 황색도(+0.707), ($p<0.01$)와 양의 상관성을 나타냈다.

고형분 함량은 명도(-0.945), ($p<0.01$), 적색도(-0.937), ($p<0.01$) 및 황색도(-0.942), ($p<0.01$)와 매우 높은 음의 상관성을 나타냈다. 더불어 고형분 함량은 총 산도(+0.823), ($p<0.01$)와 총 폴리페놀 함량(+0.746), ($p<0.01$)과도 높은 양의 상관성을 나타냈으나, DPPH 라디칼 소거능과는 높은 음

의 상관성(-0.708), ($p<0.01$)을 나타냈다.

총 산도는 명도(-0.866), ($p<0.01$), 적색도(-0.884), ($p<0.01$), 황색도(-0.864), ($p<0.01$) 및 DPPH 라디칼 소거능(-0.518), ($p<0.01$)과 음의 상관성을 나타낸 반면, 총 폴리페놀 함량(+0.798), ($p<0.01$) 및 ABTS 라디칼 소거능(+0.722), ($p<0.01$)과는 양의 상관성을 나타냈다. 이에 반해, pH는 다른 이화학적 특성 및 항산화 활성 인자들과의 상관성이 모두 나타나지 않았다.

선행연구 결과, 커피 음료의 총 폴리페놀 함량은 항산화 활성들과 상관성이 있는 것으로 보고되었다(Kim DO 등 2002; Oliveira-Neto JR 등 2016). 그러나, 앞서 설명했듯이, 본 연구 결과에서는 총 폴리페놀 함량이 ABTS 라디칼과 DPPH 라디칼 소거능에 대한 절대적인 영향력을 나타내지는 않는 것으로 여겨졌다. 또한, 본 연구 결과에서는 총 폴리페놀 함량은 ABTS 라디칼 소거능과는 양의 상관성(+0.451), ($p<0.01$)을 나타낸 반면, DPPH 라디칼 소거능과는 음의 상관성(-0.663), ($p<0.01$)을 나타냈다.

Vignoli JA 등(2011)은 항산화 활성이 폴리페놀 성분 외에도 마이아르 반응에 의한 멜라노이딘 등의 생성물 및 카페인 함량 등과 같은 다른 성분들의 영향을 받는다고 보고하였다. 따라서 본 연구 결과에서 분석한 총 폴리페놀 함량만으로 ABTS 라디칼과 DPPH 라디칼 소거능 활성에 대한 영향력을 평가하기에는 어려운 것으로 나타났다. 또한, Rumpf J 등 (2023)은 ABTS 라디칼은 친수성 물질뿐만 아니라 지용성 항

Table 4. Correlation between soluble solid content, total acidity, pH, lightness, redness, yellowness, TPC, antioxidant activity (ABTS and DPPH radical scavenging activities) of commercial cold brew coffee samples

Variable	Physicochemical properties						TPC ¹⁾	Antioxidant activity	
	Soluble solid	Total acidity	pH	Lightness	Redness	Yellowness		ABTS ²⁾	DPPH ³⁾
Soluble solid	1								
Total acidity	0.823** ⁴⁾	1							
pH	0.445**	-0.086	1						
Lightness	-0.945**	-0.866**	-0.250	1					
Redness	-0.937**	-0.884**	-0.174	0.980**	1				
Yellowness	-0.942**	-0.864**	-0.244	1.000**	0.981**	1			
TPC	0.746**	0.798**	-0.119	-0.815**	-0.868**	-0.817**	1		
ABTS	0.511**	0.722**	-0.187	-0.533**	-0.548**	-0.529**	0.451**	1	
DPPH	-0.708**	-0.518**	-0.302	0.706**	0.724**	0.707**	-0.663**	-0.261	1

¹⁾ TPC means total polyphenol content.

²⁾ ABTS means 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid).

³⁾ DPPH means 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

⁴⁾ Significantly different at $p<0.01$ by Pearson's correlation coefficient.

산화 물질에도 반응하는 특성을 가지고 있는 반면, DPPH 라디칼은 지용성 물질 중심으로 반응하는 선택적 특이성을 가지고 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구 결과에서 콜드브루 커피 시료들의 ABTS 라디칼 소거능 활성이 DPPH 라디칼 소거능 활성보다 전반적으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한, 총 폴리페놀 함량과 ABTS 라디칼 및 DPPH 라디칼 소거능 활성과의 상관성에도 차이를 나타낸 것으로 여겨진다.

5. 주성분 분석

시판 콜드브루 커피 제품들의 품질에 영향을 주는 주요한 성분을 추출하기 위하여 이화학적 특성과 항산화 활성에 대한 분석 결과를 바탕으로 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 실시하였다. 그 결과, 2개의 주성분(PC1, PC2)이 추출되었고 결과는 Table 5에 제시하였다. 주성분 1(PC1)은 전체 데이터 변동의 70.430%를 설명하였고, 주성분 2(PC2)는 15.850%를 설명하여, PC1과 PC2로 전체 결과의 86.280%를 설명하는 높은 설명력이 확인되었다.

각 분석 항목에 해당되는 변수들의 공통성을 분석한 결과, 변수들의 추출 공통성 값이 최소 0.636에서 최대 0.974를 나타내어, 추출된 2개의 주성분이 각 개별 변수들의 정보를 충

Table 5. Principal component analysis (PCA) of commercial cold brew coffee samples

Variable	PC1 ²⁾	PC2 ³⁾	Commonality (h^2)
Soluble solid	0.938	-0.285	0.962
Total acidity	0.923	0.265	0.922
pH	0.139	-0.932	0.888
Lightness	-0.974	0.129	0.966
Redness	-0.985	0.063	0.974
Yellowness	-0.974	0.126	0.964
TPC ¹⁾	0.877	0.164	0.797
ABTS	-0.737	0.338	0.657
DPPH	0.638	0.478	0.636
Variance explanation value (%)	70.430	15.850	
Cumulative variance explanation value (%)	70.430	86.280	
Varimax rotation, Eigenvalue>1, KMO (Kaiser-Meyer-Olkin): 0.733, Bartlett: $p<0.001$.			

¹⁾ TPC means total polyphenol content.

²⁾ PC1 means principal component 1.

³⁾ PC2 means principal component 2.

분히 잘 대변하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 고형분 함량은 0.962, 명도 0.966, 적색도 0.974, 황색도 0.964 및 총 산도가 0.922로 0.9 이상의 매우 높은 설명력을 나타냈을 뿐만 아니라 pH도 0.888로 높은 설명력을 나타냈다.

베리맥스(Varimax) 회전법을 통해 각 성분들에 대해 어떤 변수들이 강하게 상관성을 나타내는지 분석한 결과, PC1에 해당되는 성분 중 양(+)의 상관성을 나타낸 변수는 고형분(+0.938), 총 산도(+0.923), 총 폴리페놀(+0.877), DPPH 라디칼 소거능(+0.638)이었으며 음(-)의 상관을 나타낸 변수는 명도(-0.974), 적색도(-0.985), 황색도(-0.974), ABTS 라디칼 소거능(-0.737)을 나타내어 콜드브루 커피 시료들의 종합적인 이화학적 품질의 특성을 대변하는 큰 축으로 나타났다. 다시 말해, PC1값이 높을수록 고형분의 함량, 총 산도, 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능에 대한 활성은 증가하고 색도(명도, 적색도, 황색도)와 ABTS 라디칼 소거능 활성은 낮아지는 특성으로 나타났다. PC2는 pH로 나타났으며 음(-)의 상관인 -0.932를 나타냈으므로 PC2의 값이 높을수록 pH 값은 낮아지는 특성으로 나타났다. 다시 말해, 주성분 분석 결과는 본 연구의 이화학적 특성 및 항산화 활성 결과의 대부분이 PC1에 의해 결정되며 pH만이 단독으로 PC2를 설명하는 것으로 나타났다. 또한, PC1의 축을 기준으로 고형분, 총 산도, 총 폴리페놀 및 DPPH 라디칼 소거능들의 특성은 색도와 ABTS 라디칼 소거능의 특성들과 정반대 방향적인 특성을 가진 것으로 나타났다.

PC1을 X축으로 하고, PC2를 Y축으로 하여 추출된 값들을 기준으로 산점도(Score Scatter Plot) 분포도를 분석한 결과는 Fig. 1에 제시하였다. 산점도를 기반으로 하여 영역별 시료의 특성을 분석해 본 결과, 오른쪽의 상단 영역은 3번, 8번, 9번의 시료들이 분포되었다. 이 시료들의 특성은 X축 PC1의 오른쪽에 해당되므로 비교적 고형분, 총 산도, 총 폴리페놀 함량 및 DPPH 라디칼 소거능 활성은 높은 반면, 명도를 비롯한 색도와 ABTS 라디칼 소거능 활성이 낮은 특성을 가지고 있었다. 더불어 Y축 PC2의 상단에 위치해 있으므로 pH 값이 낮은 특성으로 분석되었다. 즉, 산점도의 오른쪽 상단 시료들은 신맛에 영향을 주는 지표인 총 산도의 함량은 높고 pH 값은 낮으므로 신맛이 가장 강한 영역의 특성을 가지고 있었다. 더불어, 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능 활성이 높은 특성을 나타냈다. 따라서 오른쪽 상단에 위치한 시료를 DPPH 라디칼 소거능 활성이 높으며 고농축된 강산미 유형으로 분류하였다.

오른쪽 하단 영역은 시료번호 1번, 2번 및 6번의 시료로서, 이들의 특성은 X축 PC1의 오른쪽에 해당되므로 높은 고형분, 높은 총 산도 함량, 낮은 명도, 높은 총 폴리페놀 함량 및 DPPH 라디칼 소거능 활성을 나타낸 반면, ABTS 라디칼

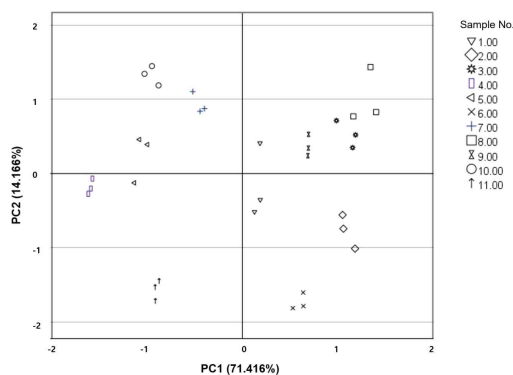


Fig. 1. Score plot of principal component analysis (PCA) of 11 collected commercial cold brew coffee samples based on principal component 1 (PC1) and principal component 2 (PC2). The plot illustrates the variance and clustering patterns among the samples, accounting for 85.582% of the total variance (PC1: 71.416%, PC2: 14.166%). 1.00 (▽) to 11.00 (↑): Represent 11 different commercially available cold brew coffee products collected for this study (labeled as Sample 1 to Sample 11, respectively).

소거능 활성은 낮은 시료들이 분포되었다. 더불어 Y축 PC2의 하단에 위치하므로 높은 pH 값의 특성을 가지고 있다. 신맛을 판단하는 기준인 총 산도의 함량과 pH 값이 모두 높으므로, 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능의 활성이 높은 특성과 함께 고농축된 완충 산미 유형으로 분류하였다.

왼쪽 상단 영역은 5번, 7번 및 10번의 시료가 분포되었다. 이들 시료의 특성은 X축 PC1의 왼쪽에 해당되므로 고품분, 총 산도, 총 폴리페놀의 함량 및 DPPH 라디칼 소거능 활성은 낮고, ABTS 라디칼 활성 및 명도가 높아 색이 연한 특성이 확인되었다. 더불어 Y축 PC2의 상단에 위치해 있으므로 pH 값이 낮은 특성으로 나타났다. 따라서 신맛 판단 기준인 총 산도의 함량이 낮고 pH 값은 낮은 특성을 가지고 있으므로, ABTS 라디칼 소거능 활성이 높은 특성과 함께 라이트한 마일드 산미 유형으로 분류하였다.

왼쪽 하단 영역은 4번과 11번 시료가 분포되었다. X축 PC1의 왼쪽에 해당되므로 고품분, 총 산도와 총 폴리페놀의 함량 및 DPPH 라디칼 소거능 활성은 낮은 반면, ABTS 라디칼 소거능 활성이 높으며, 명도가 높아 색이 연한 특성을 가지고 있었다. 더불어 Y축 PC2의 하단에 위치해 있으므로 pH 값이 높은 것으로 확인되었다. 신맛 판단 기준 총 산도의 함량이 낮고 pH 값도 높으므로 신맛이 가장 약한 영역에 해당되었다. 즉, 이 영역은 ABTS 라디칼 소거능 활성이 높은 특성과 함께 라이트한 산미 결핍 유형으로 분류하였다.

수거된 콜드브루 커피 제품 11종의 시료 중 산점도의 가장 가운데 영역에 위치한 시료는 1번으로 확인되었으며 본

연구에서 평가한 모든 항목들에 대한 측정 결과들의 중간 값을 나타내는 시료로 여겨지므로 수거된 시료들 중 가장 표준형 제품의 시료로 여겨진다.

시료들의 분산 정도는 전체적으로 고르게 퍼져 있는 결과를 나타내고 있으므로 본 연구에 사용된 시료들이 PC1과 PC2에 의한 기준으로 볼 때, 시료들이 서로 간에 특유의 개성적인 콜드브루 커피음료들의 특징을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 즉, 커피속별 추출방식이나 커피원두의 품종 및 배합비율 등에 기인한 콜드브루 커피의 품질 특성의 차이가 명확하게 시각화된 결과로 여겨진다. 더불어, 산점도 분포에서 같은 영역에 위치한 시료들은 비슷한 이화학적 특성을 공유하고 있을 가능성이 높으므로 관능적인 특성에서도 유사한 특성을 나타낼 가능성이 높을 것으로 추측된다. 또한, 한 시료당 3번 반복실험을 실시한 결과, 같은 시료들이 대체적으로 비슷한 위치에 모여 있는 결과를 나타내어, 재현성과 신뢰성이 확보된 것으로 판단된다.

6. 계층적 군집분석

계층적 군집분석을 실시하여 비슷한 이화학적 특성 및 향산화 활성을 가진 시료들을 덴드로그램(Dendrogram)으로 군집화한 결과는 Fig. 2에 제시하였다.

그 결과, 3개의 그룹(A, B, C)을 형성하는 것으로 나타났다. A그룹은 5번과 10번의 시료들로, 주성분 분석 후 산점도에서 왼쪽 상단에 위치한 시료들로 라이트한 마일드 산미 유형에 속해 있었다.

B그룹은 시료번호 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11번으로 수거된 11종의 시료 중 8종이 해당되어 가장 큰 그룹을 형성하는 것으로 나타났다. 가장 많은 시료들이 밀집되어 있으며 3개의 세부 군집으로 나누어서 묶인 뒤 다시 하나로 결합하는 구조를 형

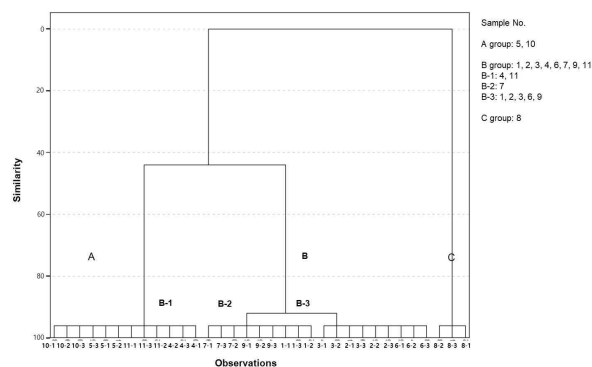


Fig. 2. Dendrogram of hierarchical cluster analysis (HCA) for 11 collected commercial cold brew coffee samples. The samples are categorized into three main clusters (Groups A, B, and C) and sub-clusters (B-1, B-2, and B-3) of Group B at specific similarity thresholds.

성하는 것으로 나타났다. 세부 군집 B-1그룹은 4와 11번으로 산점도의 왼쪽 하단에 분포되어 있었던 라이트한 산미 결핍 유형이었다. 세부 군집 B-2그룹은 7번으로 산점도의 왼쪽 상단에 위치한 라이트한 마일드 산미 유형이었다. B-3그룹은 1, 2, 3, 6, 9번으로 산점도의 오른쪽 상단과 하단에 위치한 고농축 강산미 유형과 고농축 완충 산미 유형들로 구성되었다.

C그룹은 8번의 시료 단독으로 분류되었으며 주성분 분석 후 산점도에서 오른쪽의 가장 상단에 위치한 시료로 고농축 강산미 유형에 해당되며 산점도 위치상으로 판단해 볼 때, 가장 강한 산미를 나타내는 콜드브루 커피 제품에 해당되는 것으로 여겨진다. 이러한 결과는 산점도와 계층적 군집분석 결과를 모두 종합해 볼 때, 수거된 11종의 시료 중 8번의 시료가 가장 독특하고 이질적인 특성이 가장 강한 제품으로 여겨진다.

본 연구에서 시판 중인 콜드브루 커피 제품들의 이화학적 품질 특성을 분석한 후 주성분 분석을 통한 산점도와 계층적 군집분석 결과 간의 통계학적 특성을 살펴보았다. 그 결과, 주성분 분석을 통한 산점도 결과는 시료들의 이화학적 특성과 향산화 활성평가에 대한 측정 변수들의 연구 결과들 중 설명력이 높은 상위 2개의 주성분(누적 설명력 86.28%)만을 활용하여 2차원 평면에 시각화한 결과였다. 이에 반해, 계층적 군집분석 결과는 와드(ward) 연결법으로 전체 측정변수에 대한 결과값들을 모두 활용한 고차원적인 거리를 데이터값들의 손실 없이 그룹화하는 과정에 모두 반영한 결과였다. 따라서 본 연구 결과는 주성분 분석의 산점도 분포를 통해 시판 콜드브루 커피 시료들의 전반적인 품질 특성들에 주로 영향을 주는 경향에 대한 패턴을 확인할 수 있었으며 더불어, 계층적 군집분석을 통해 실제 시료들 간의 품질 특성적인 부분에서의 이질성을 상호 보완적으로 해석할 수 있었다.

그러나, 본 연구분석에 사용된 콜드브루 커피 시료들은 수원이라는 특정한 일부 지역에서 판매되는 11종의 제품들만을 수거하여 분석되었으므로 우리나라 전체지역의 콜드브루 커피 제품시장을 대변하기에는 한계점을 가지고 있다. 특히, 시료들을 수거할 당시 표본 선정기준이 될 수 있는 브랜드(전국 단위 프랜차이즈와 개인 매장의 비율 등)를 체계적으로 수립하지 못하였고, 실제 브랜드들의 국내 시장에서의 제품 판매량이나 점유율을 반영한 가중치 부여가 이루어지지 않았으므로 전체 시장의 특성을 일반화하여 해석하는 데는 무리가 있다. 따라서, 이에 대한 한계점을 고려하여 본 연구 결과들을 제한적으로 해석해야 할 필요성이 제기되었다. 또한, 본 연구 결과는 커피원두의 품종, 배합비, 추출조건 등이 상이할 수 밖에 없는 환경을 가지고 있는 시판용 콜드브루 커피들을 수거하여 조사되었다. 이에, 향후에는 시장 점유율과 판매량을 반영한 체계적인 브랜드 선정기준을 바탕으로

전국 단위의 시판용 콜드브루 커피 시료들을 확보할 필요가 있다. 이와 더불어, 커피 품종을 비롯한 콜드브루 커피 제조 과정에서 발생할 수 있는 다양한 변수들을 직접 통제할 수 있는 실험실 규모의 콜드브루 커피 제품들을 제조한 후, 상업용과 실험실 규모의 콜드브루 제품들과의 이화학적 품질 특성을 비교·분석하는 체계적인 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 수원지역 커피숍에서 판매되는 상업용 콜드브루 커피들을 무작위적으로 직접 수거하여 품질에 기여할 수 있는 이화학적 특성들과 향산화 활성을 평가하였을 뿐만 아니라 이들 결과를 기반으로 주성분 분석 및 계층적 군집분석에 대한 연구 결과를 제시하였다. 이는 시중 콜드브루 커피의 품질 특성을 객관적 데이터에 기반하여 그룹별로 유형화함으로써, 소비자들에게는 취향에 맞는 콜드브루 선택 가이드를 제공할 수 있고, 제조사에는 품질관리 및 제품개발(산미, 단맛, 색도 조절)을 위한 기초 자료를 제공할 수 있다는 점에서 기본적인 그 의의가 있다. 이와 더불어 본 연구의 의의를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 시중 유통 중인 콜드브루 커피 품질 특성의 정량적 분류 및 품질지표를 객관화하였다. 무작위로 수거한 11종의 콜드브루 커피를 단순히 맛으로 평가하는 것이 아니라, 이화학적 특성(고형분, 총 산도, pH, 색도)과 생리활성능(향산화 활성) 평가를 통해 정량적인 품질 특성들을 제시하였다.

둘째, 주성분 분석을 통해 핵심적인 품질 인자(PC1, PC2)를 도출하였다. 많은 분석 항목을 PC1(고형분, 총 산도, 폴리페놀, DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능, 색도 등)과 PC2(pH)라는 핵심 요소로 압축하여, 어떤 성분들이 서로 높은 관련성을 나타내며, 산점도의 분포를 통해 시판용 콜드브루 커피의 품질 특성에 따라 4종류(고농축된 강산미 유형, 고농축된 완충산미 유형, 라이트한 마일드 산미 유형, 라이트한 산미 결핍 유형)로 분류하였다.

마지막으로, 계층적 군집분석을 통해 이화학적 특성 및 향산화활성 결과들을 이용하여 콜드브루 커피제품들을 객관적으로 그룹화(A, B, C군)하였다. 주성분 분석 결과를 바탕으로 한 산점도 결과는 11종의 시료를 4가지로 분류했었으나 계층적 군집분석 결과는 3개 그룹으로 분류하여 콜드브루 커피 제품의 이화학적 특성과 향산화 활성의 특징에 기반한 소비자의 요구도의 맞춤형 유형화를 시도하였다. 그 결과, A 그룹(5와 10번)은 ABTS 라디칼 소거능을 가진 라이트한 마일드 산미 유형 시료들로 구성되었으며 B그룹(1, 2, 3, 4, 6, 7, 9와 11번)은 수원지역에서 판매되는 대다수의 콜드브루 커피제품들이 속해 있는 그룹으로 구성되었다. 이들은 산점도 분포도에서 라이트한 마일드와 산미 결핍 유형뿐만 아니라 고농축 강산미와 완충 산미 유형의 시료들이 골고루 속해

있었다. C그룹은 8번의 시료만이 속해 있었으며 한 개의 시료만이 C그룹으로 분류된 것과 산점도의 분포도로 미루어 볼 때, 고농축 강산미 유형에 속해 있으면서도 총 산도의 함량이 가장 높고 pH 값도 가장 낮은 수준의 위치에 자리하고 있으므로 신맛이 가장 강하면서도 색이 굉장히 진한 가장 독특한 품질 특성을 가진 것으로 여겨진다.

요약 및 결론

경기도 수원지역 커피숍에서 판매되는 콜드브루 커피를 무작위적으로 11종을 수거한 후 콜드브루 커피 품질에 영향을 주는 이화학적 특성 및 항산화 활성을 측정 후 주성분 분석(PCA) 및 계층적 군집분석(HCA)을 실시한 후 결과를 요약하면 다음과 같다. 커피 품질에 영향을 주는 주요한 성분을 추출하기 위해 주성분 분석 결과, 2개의 주성분(PC1, PC2)이 추출되었으며, PC1(X축)과 PC2(Y축)는 전체 변수의 86.28%를 설명하는 것으로 나타났다. PC1값이 클수록 고형분의 함량, 총 산도, 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능은 높아지고 색도(명도, 적색도, 황색도)와 ABTS 라디칼 소거능은 낮아지는 특성으로 나타났다. PC2는 pH 값이 단독으로 구성되었으며 PC2의 값이 높을수록 pH 값은 낮아지는 특성을 나타냈다. 주성분 결과를 기반으로 한 시판용 콜드브루 커피의 품질 특성에 따른 산점도 분포 영역은 4개의 영역으로 분류되었으며 고농축된 강산미 유형, 고농축된 완충 산미 유형, 라이트한 마일드 산미 유형, 라이트한 산미 결핍 유형이었다. 계층적 군집(덴드로그램)을 분석한 결과는 총 3개의 그룹(A, B 및 C)으로 분류되었다. A군은 5와 10번의 시료로, 주성분의 산점도 분포에서 라이트한 마일드 산미 유형에 포함되었다. B그룹은 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11번으로 다시 세부 그룹인 B-1(4와 11번), B-2(7번), B-3(1, 2, 3, 6, 9번)의 그룹이 합쳐진 것으로 나타났으며 산점도 분포에서 4가지 유형에 골고루 분포된 시료들로, 수거된 시료들의 대다수가 포함된 대형 그룹으로 구성되었다. C그룹은 8번의 시료로, 수거된 11종의 콜드브루 커피 중 주성분 분석의 산점도 분포에서 가장 산미가 강한 위치에 있었던 시료였다. 본 연구 결과는 실제로 시중에서 유통되고 있는 콜드브루 커피 제품들을 대상으로 이화학적 품질 특성 및 항산화 활성평가 결과에 근거하여 품질 특성의 그룹들을 객관적으로 분류하여 소비자에게 제시하였다. 비록, 분석 시료 수가 11종에 불과하나 소비자들의 선택적 소비권리를 향상시켰다는 점에서 의의가 있다고 볼 수 있다. 더불어 콜드브루 커피 제품 제조 및 판매자들에게는 시판되고 있는 콜드브루 커피 제품들에 대한 현장감 있는 품질 특성 분류결과를 이해하는데 있어 좋은 기초 자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Andre CM, Soukoulis C (2020) Food quality assessed by chemometrics. *Foods* 9(7): 897.
- Anese M, Nicoli MC (2003) Antioxidant properties of ready-to-drink coffee brews. *J Agric Food Chem* 51(4): 942-946.
- Angeloni G, Guerrini L, Masella P, Innocenti M, Bellumori M, Parenti A (2019) Characterization and comparison of cold brew and cold drip coffee extraction methods. *J Sci Food Agric* 99(1): 391-399.
- Aruoma OI (2003) Methodological considerations for characterizing potential antioxidant actions of bioactive components in plant foods. *Mutat Res* 523-524: 9-20.
- Batali ME, Cotter AR, Frost SC, Ristenpart WD, Guinard JX (2021) Titratable acidity, perceived sourness, and liking of acidity in drip brewed coffee. *ACS Food Sci Technol* 1(4): 559-569.
- BorÅ©m FM, Figueiredo LP, Ribeiro FC, Taveira JS, Giomo GS, Salva TJG (2016) The relationship between organic acids, sucrose and the quality of specialty coffees. *Afr J Agric Res* 11(8): 709-717.
- Brezová V, Šlebodová A, Staško A (2009) Coffee as a source of antioxidants: An EPR study. *Food Chem* 114(3): 859-868.
- Carvalho FM, Spence C (2019) Cup colour influences consumers' expectations and experience on tasting specialty coffee. *Food Qual Prefer* 75: 157-169.
- Castañeda-Rodríguez R, Mulík S, Ozuna C (2022) Brewing temperature and particle size affect extraction kinetics of cold brew coffee in terms of its physicochemical, bioactive, and antioxidant properties. *J Culin Sci Technol* 20(4): 366-387.
- Cheung LM, Cheung PCK, Ooi VEC (2003) Antioxidant activity and total polyphenolics of edible mushroom extracts. *Food Chem* 81(2): 249-255.
- Cordoba N, Pataquiva L, Osorio C, Moreno FLM, Ruiz RY (2019) Effect of grinding, extraction time and type of coffee on the physicochemical and flavour characteristics of cold brew coffee. *Sci Rep* 9(1): 8440.
- De Maria CAB, Trugo LC, Aquino Neto FR, Moreira RFA, Alviano CS (1996) Composition of green coffee water-soluble fractions and identification of volatiles formed during roasting. *Food Chem* 55(3): 203-207.

- Farah A (2019) Flavor development during roasting. pp 267-309. In: Drying and roasting of cocoa and coffee. Hii CL, Borém FM (eds). CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA.
- Floegel A, Kim DO, Chung SJ, Koo S, Chun OK (2011) Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular anti-rich US foods. *J Food Compos Anal* 24(7): 1043-1048.
- Fuller M, Rao NZ (2017) The effect of time, roasting temperature, and grind size on caffeine and chlorogenic acid concentrations in cold brew coffee. *Sci Rep* 7(1): 17979.
- Ginz M, Balzer HH, Bradbury AGW, Maier HG (2000) Formation of aliphatic acids by carbohydrate degradation during roasting of coffee. *Eur Food Res Technol* 211: 404-410.
- Gloss AN, Schönbächler B, Kloppege B, D'Ambrosio L, Chatelain K, Bongartz A, Strittmatter A, Rast M, Yeretzian C (2013) Comparison of nine common coffee extraction methods: Instrumental and sensory analysis. *Eur Food Res Technol* 236(4): 607-627.
- Hossain MB, Patras A, Barry-Ryan C, Martin-Diana AB, Brunton NP (2011) Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify different spices based on *in vitro* antioxidant activity and individual polyphenolic antioxidant compounds. *J Funct Foods* 3(3): 179-189.
- Huang S, Zheng J, Chen S, Fu J, Xie J, Zhou X, He Y, Xia K, Dai D, Wang W (2026) Application of multimodal data fusion model GAT-Net in prediction of soluble solids content in mango. *J Food Compos Anal* 154: 109177.
- Kang DE, Lee HU, Davaatseren M, Chung MS (2020) Comparison of acrylamide and furan concentrations, antioxidant activities, and volatile profiles in cold or hot brew coffees. *Food Sci Biotechnol* 29(1): 141-148.
- Kim DO, Lee KW, Lee HJ, Lee CY (2002) Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *J Agric Food Chem* 50(13): 3713-3717.
- Kim SY, Ahn SC (2023) Quality characteristics and antioxidant activity of blended coffee with different extraction methods. *Food Eng Prog* 27(2): 146-154.
- Lawless HT, Heymann H (1998) Sensory Evaluation of Food (Principles and Practices): Data Relationships and Multivariate Applications. Aspen Publishers Inc., New York, NY, USA. pp 738-753.
- Mennah-Govela YA, Cai H, Chu J, Kim K, Maborang MK, Suh W, Bornhorst GM (2020). Buffering capacity of commercially available foods is influenced by composition and initial properties in the context of gastric digestion. *Food Funct* 11(3): 2255-2267.
- National Coffee Association (2023) The National Coffee Association Cold Brew Resource Center. <https://www.ncausa.org> (accessed on 12. 10. 2025).
- Oliveira-Neto JR, Rezende SG, de Fátima Reis C, Benjamin SR, Rocha ML, de Souza Gil E (2016) Electrochemical behavior and determination of major phenolic antioxidants in selected coffee samples. *Food Chem* 190: 506-512.
- Park KD (2017) Draw comparison of chlorogenic acid content of the Dutch extraction method. *FoodServ Ind J* 13(4): 297-305.
- Poisson L, Blank I, Dunkel A, Hofmann T (2017) The chemistry of roasting-decoding flavor formation. pp 273-309. In: The craft and science of coffee. Folmer B (ed), Elsevier Inc., Amsterdam, The Netherlands.
- Rao NZ, Fuller M (2018) Acidity and antioxidant activity of cold brew coffee. *Sci Rep* 8(1): 16030.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26(9-10): 1231-1237.
- Roginsky V (2003) Chain-breaking antioxidant activity of natural polyphenols as determined during the chain oxidation of methyl linoleate in Triton X-100 micelles. *Arch Biochem Biophys* 414(2): 261-270.
- Rumpf J, Burger R, Schulze M (2023) Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *Int J Biol Macromol* 233: 123470.
- Shim HJ (2018) Principal component analysis on antioxidant capacity and quality characteristics of salted fermented soybean. Ph D Dissertation Catholic University, Bucheon. pp 196-201.
- So YJ, Lee MW, Yoo KM, Kang HJ, Hwang IK (2014) Physicochemical characteristics and antioxidant activity of Dutch coffee depending on different extraction conditions and storage. *Korean J Food Sci Technol* 46(6): 671-676.
- So YR (2018) Physicochemical and sensory characteristics of cold brew Kenya AA according to soaking condition. MS Thesis Honam University, Gwangju. pp 44-45.

- Socała K, Szopa A, Serefko A, Poleszak E, Wlaź P (2020) Neuroprotective effects of coffee bioactive compounds: A review. *Int J Mol Sci* 22(1): 107.
- Statista Research Department (2021) Global Coffee Consumption 2012/13-2023/4. <http://statista.com> (accessed on 12. 15. 2025).
- Thomas E, Puget S, Valentin D, Songer P (2017) Sensory evaluation-profiling and preferences. pp 419-456. In: *The Craft and science of coffee*. Former B (eds), Elsevier Inc., Amsterdam, The Netherlands.
- Vignoli JA, Bassoli DG, Benassi MT (2011) Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chem* 124(3): 863-868.
- Wang X, Lim LT (2023) Effects of grind size, temperature, and brewing ratio on immersion cold brewed and French press hot brewed coffees. *Appl Food Res* 3(2): 100334.
- Waterman PG, Mole S (1994) *Analysis of Polyphenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. p 83.
- Woodmann JS (1985) Carboxylic acids. pp 266-289, In: *Coffee- volume 1: Chemistry*. Clarke RJ, Macrae R (eds). Elsevier Inc., Amsterdam, The Netherlands.
- Yeager SE, Batali ME, Guinard JX, Ristenpart WD (2021) Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition. *Crit Rev Food Sci Nutr* 63(8): 1010-1036.
-
- Date Received Jun. 22, 2026
Date Revised Aug. 10, 2026
Date Accepted Aug. 13, 2026