

Discrimination of the geographical origin of commercial sesame oils using fatty acids composition combined with linear discriminant analysis

Nam-Hoon Kim[★], Chae-man Choi, Young-Ju Lee, Na-Young Kim, Mi-Sun Hong, and In-Sil Yu

Seoul Metropolitan Research Institute of Public Health and Environment, Gwacheon-si 13818, Korea

(Received April 1, 2021; Revised April 26, 2021; Accepted May 19, 2021)

지방산 조성과 선형판별분석을 활용한 유통판매 참기름의 원산지 판별

김남훈[★] · 최채만 · 이영주 · 김나영 · 홍미선 · 유인실

서울특별시보건환경연구원

(2021. 4. 1. 접수, 2021. 4. 26. 수정, 2021. 5. 19. 승인)

Abstract: In this study, the fatty acid (FA) composition of commercial sesame oils (n = 62) was investigated using gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID). Multivariate statistical techniques, including principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA), were applied to the chromatographic data of the FAs to discriminate the geographical origin of sesame oils. A statistically significant difference was observed in the content of C16:0, C18:0, C18:1, and C18:2 between domestic and imported sesame oils. A satisfactory recovery rate of 82.8-100.2 % was achieved for C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, and C18:3. The correlation of C16:0, C18:1, and C18:2 in domestic sesame oils showed opposite trends compared to imported oils. The PCA plot demonstrated that sesame oils were clustered in distinct groups according to their origin. LDA was used to predict sesame oil samples in one of the two groups. C16:0 (Wilks $\lambda = 0.361$) and C18:1 (Wilks $\lambda = 0.637$) demonstrated the highest discriminant power for classifying the origin of the samples. The correct prediction rates were 88.9 % and 100 % for the domestic and imported samples, respectively. Further, 60 of the 62 sesame oil samples (96.8 %) were correctly classified, indicating that this approach can be used as a valuable tool to predict and classify the geographical origin of sesame oils.

요 약: GC-FID를 이용하여 유통판매 참기름 62건(국산 18건, 수입산 44건)의 지방산 조성을 확인 하였으며 참기름의 원산지 판별을 위해 주요지방산 5종(C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3)에 대하여 다변량 통계분석인 주성분 분석과 선형판별 분석을 실시하였다. t-검정 결과 국산과 수입산 참기름에서 C16:0, C18:0, C18:1, 및 C18:2 함량 간에 유의적인 차이가 확인되었으며, C16:0과 C18:1 및 C18:2의 상관성은 국산과 수입산 참기름에서 서로 반대되는 경향을 보였다. 실험법 검증에 의한 회수율 검정 결과 82.8~100.2 %의 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 주성분 분석을 통해 참기름의 원산지에 따른 집단 분포

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)2-570-3192 Fax : +82-(0)2-570-3269

E-mail : nhkim70@seoul.go.kr

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

양상의 차이를 시각적으로 확인하였다. 참기름 시료를 원산지에 따라 두 집단으로 분류하기 위해 선형판별 분석을 실시한 결과 국산은 88.9%, 수입산은 100%의 판별 정확성을 보였다. C16:0 (Wilks λ = 0.361)과 C18:1 (Wilks λ = 0.637)은 참기름 원산지 판별에 가장 판별력이 큰 지방산으로 확인되었다. 전체 62건의 참기름 중 60건이 정확하게 분류되어 96.8%의 예측정확성을 보였으며 이러한 결과는 상기의 접근법이 참기름의 원산지를 판별하고 분류하는 유용한 틀로서 활용될 수 있음을 보여준다.

Key words: sesame oils, fatty acid, correlation matrix, principal component analysis, linear discriminant analysis

1. 서 론

참깨(*Sesamum indicum* L.)는 평균 51%의 식용유지를 함유한 곡류로서 아시아와 아프리카에서 오래 전부터 재배되어 왔으며¹ 동양에서는 노화를 방지하고 에너지를 제공하는 건강식품으로 인식되어 왔다.² 참깨는 식용유지를 추출하기 위한 목적뿐만 아니라 칼슘, 인 등의 무기질과 비타민 B1, B2, 불포화 지방산인 리놀렌산 및 리그난류의 항산화 물질 등 영양성분이 풍부한 식품으로 알려지고 있다.³ 참기름은 일반적으로 참깨를 180~260 °C에서 가열·볶은 후 물리적 압착법으로 추출하는 식용유지로 고유의 향미와 색 때문에 우리나라 식단에서 아주 중요한 조미용 양념으로 이용되고 있다.^{4,5} 참기름의 지방산 조성은 올레인산(C18:1)과 리놀레산(C18:2)이 약 80% 이상을 차지하며 소량(0.5% 이하)의 리놀렌산(C18:3)과 항산화 성분인 세사민류의 리그난 화합물로 인해 산화 안정성을 보인다.⁶

참깨는 생산의 기계화가 어렵고 농작업의 대부분을 노동력에 의존해야 하기 때문에 생산단가가 높은 작물이며 한국인 식생활에서 빠질 수 없는 필수 식재료로 한국인 총 소비량 가운데 대부분을 수입에 의존하고 있는 상황이다. 2017년 기준 연간 국내 참깨 소비량은 약 9만톤이며 이 중 국내 생산량은 1.4만톤(전체 소비량의 약 15.9%)이었다.⁷ 우리나라의 최대 참깨 수입국은 인도(38.8%)이며, 그 다음은 중국(36.8%)이 차지하였다. 참깨는 평균 45%의 유지를 함유한 고유지 함유 작물이지만 그 가공품인 참기름의 kg당 생산단가는 다른 식물성 유지에 비해 높아 옥배유의 약 5배이며, 대두유보다는 19배 이상 높은 것으로 알려져 있다. 또한 수입산에 비해 국산 참기름은 4배 이상 높은 가격으로 판매되고 있는 실정이다. 이와 같이 다른 식용유지에 비해 생산단가가 비싸고 수입산과 국산의 큰 판매가격 차이로 인해 한국과 중국을 포함한 아시아권에서 경제적 이득을 취할 목적으로 비양심

제조업자들에 의해 위·변조된 참기름의 제조·유통이 이루어져 왔다.⁸

국내외적으로 옥배유 등 이종유가 혼합된 참기름의 진위판별을 위해 가스/액체 크로마토그래피를 이용한 지방산 조성 분석법,^{9,12} 근적외선(NIR) 분광광도법¹³ 및 전자코를 활용한 분석법¹⁴ 등 많은 연구가 보고되어 왔다. 반면 식용유지의 원산지 판별과 관련해서는 국내보다는 주로 외국에서 연구가 활발히 진행되어 왔으며 Longobardi *et al.*¹⁵은 올리브유에서 과산화물가 등 이화학 분석결과를 이용하여 최대 82.5%의 판별이 가능함을 보고하였다. 참기름의 원산지 판별은 한국과 중국의 연구진들을 중심으로 근적외선 분석법,^{16,17} 탄소 안정동위원소 분석법,¹⁸ 핵자기공명(NMR)법¹⁹들이 보고된 바 있으며 또한 Jeon *et al.*²⁰은 참깨로부터 추출한 3종류의 참기름 지방산과 리그난 성분을 분석하여 97.6%의 원산지 판별이 가능함을 제시하였다. 일반적으로 식물성 유지의 성분조성은 재배작물의 품종, 환경 및 재배방법에 의해 영향을 받으며 식용유지의 성분분석을 통해 작물의 지리적 원산지를 구분할 수 있다고 알려지고 있다.²¹ 한편 Li *et al.*²²은 식용유지의 지방산 조성 차이만으로는 식물성유지의 진위 판별에는 한계가 있다고 보고하였으며 얻어진 이화학 분석결과에 다변량 통계 방법을 적용함으로써 정확하고 효율적인 진위판별이 가능함을 보여주고 있다.

다변량 통계분석은 기기분석 등을 통해 얻어진 다수의 데이터(변수)들을 통계 처리하여 시료 사이의 차이점과 유사점을 인식하는데 있어 유용하게 쓰이는 데이터 처리 기술이다. 다변량 통계분석 중에서 주성분분석은 측정변량의 데이터를 보다 작은 수의 모든 변수를 대표할 수 있는 새로운 변량 데이터로 전환하여 종합적으로 데이터를 해석하는 통계기법이며 판별 분석은 두 개 이상의 그룹을 구분하기 위하여 그룹 내 분산에 비하여 그룹 간 분산의 차이를 최대화하는 독립변수들의 계수를 찾아내는 기법으로 그룹을 분류하고 예측하며 시각적으로 표현하는데 유용한 통계기

법이다. 식용유지의 위변조 및 원산지 판별에도 복잡한 기기분석결과에 다변량 통계기법을 적용한 많은 연구결과가 보고되고 있으며 유용한 툴로서 평가받고 있다.²²⁻²⁴

본 연구에서는 시중 유통 참기름의 원산지 판별을 위해 참기름의 지방산 조성을 가스크로마토그래피를 이용하여 분석한 데이터를 다변량 통계처리 함으로써 보다 정확하고 효율적인 원산지 판별법을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

시중에서 판매되는 참기름 62건(원료 원산지 국산 18건, 수입산 44건)을 서울시내 대형마트 및 즉석제조업체에서 구매한 후 37종의 지방산 분석을 위한 실험 재료로 사용하였다.

2.2. 시약 및 기구

표준물질인 지방산(C4-C24)메틸에스테르(FAME)는 Supelco사(Bellefonte, PA, USA)의 제품을 사용하였으며 에탄올, 메탄올, 클로르폼 및 이소옥탄은 Fisher사(Seoul, Korea) 기기분석용 등급 제품을 사용하였다. 14% 트리플루오로보란메탄올(boron trifluoride methanol)과 내부표준물질로 사용되는 undecanoic acid (C11:0)는 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)로부터 제공받았다. 회수를 검증을 위한 NIST 표준인증물질 3274-4 (Gaithersburg, MD, USA)는 오메가-3, -6 지방산을 포함하는 들기름을 사용하였다.

2.3. 지방산 에스테르화

유지의 지방산 분석은 식품공전 시험법²⁵에 따라 참기름 약 25 mg을 뚜껑이 있는 유리튜브에 취한 후 약 2 mg/mL 농도의 내부표준용액 undecanoic acid 1 mL를 가하였다. 이어 0.5 N 메탄올성 수산화나트륨 용액 1.5 mL를 가한 후 뚜껑을 덮고 혼합한 다음 100 °C heating block에서 5분간 가온하였다. 냉각 후 14% 트리플루오로보란메탄올 용액 2 mL를 가한 후 100 °C에서 30분간 가온하였다. 이어 30~40 °C로 냉각하여 이소옥탄 1 mL를 가한 후 뚜껑을 덮고 30초간 진탕 혼합 하였다. 다음으로 포화 염화나트륨용액 5 mL를 가하고 진탕한 후 상온으로 냉각한 다음 수층으로부터 분리된 이소옥탄층을 무수황산나트륨으로 탈수하여 시험용액으로 사용하였다.

2.4. GC 분석 조건

참기름의 지방산 분석은 불꽃이온화검출기(FID)가 장착된 Shimadzu사의 GC-2010 모델을 사용하였고 분석용 카필러리 컬럼은 ASP-2560 fused silica 컬럼(100 m×0.25 mm×0.2 μm)이 사용되었다. GC-FID 분석 조건은 다음과 같았다. 주입구와 검출기 온도는 260 °C 이었으며 초기 컬럼 온도는 140 °C에서 5분간 유지한 후 분당 3 °C의 비율로 240 °C까지 상승시킨 후 13분간 유지하였으며 총 분석시간은 51.3분이었다. 헬륨은 분당 0.7 mL의 유량을 유지하였으며 수소와 공기는 각각 분당 40 mL과 400 mL 이었다. 주입량은 1.0 μL 이었으며 1:5의 split ratio를 사용하였다.

2.5. 통계분석

주성분 분석(principal component analysis)과 선형판별 분석(linear discriminant analysis)을 포함하는 다변량 통계분석과 국산과 수입산 참기름의 지방산 함량 차이를 비교하기 위한 t-검정은 IBM SPSS 통계 프로그램 버전 24.0을 사용하였다. 국산과 수입산 참기름에서 지방산 사이의 상관관계 분석을 위해 jamovi²⁶ 프로그램을 이용하여 피어슨 상관계수와 상관행렬을 구하였다.

3. 결과 및 토의

3.1. 참기름 지방산 조성

서울시내 유통 참기름 62건(원료 원산지 국산 18건, 수입산 44건)에 대하여 GC-FID를 이용한 지방산 분석 결과는 Table 1과 같았다. GC-FID상에서의 분석 결과는 각 지방산의 메틸 에스테르이므로 해당 지방산의 %함량을 구하기 위해서는 먼저 각 지방산 피크들을 반응계수를 이용하여 표준화한 후 지방산 메틸 에스테르 전환계수를 가지고 계산하였다. 평균함량이 0.05% 이하인 지방산을 제외한 총 9종의 지방산이 확인되었다. 측정변수 5개 지방산에 대한 Levene의 등분산 검정 결과 C16:0, C18:0, C18:3의 유의확률 *p*는 0.05보다 커서 등분산을 가정함을 확인하였다. 국산과 수입산 참기름의 평균 지방산 함량에 대한 독립표본 t-검정 결과 Table 1에서 보듯이 C16:0, C18:0, C18:1 및 C18:2에서 통계적으로 유의적인 차이가 있음을 확인하였다. C18:3 함량은 국산 0.32%, 수입산 0.31%로 차이가 없었으며 모두 식품공전에 규정된 참기름의 규격기준(리놀렌산 함량 0.5% 이하)에 적합하였다. 불포화지방산 함량은 85% 이상으로 전체 지

Table 1. Fatty acids composition and specific ratios of commercial sesame oils analysed by GC-FID

Fatty acids content (%), Mean ± SD	Fatty acids content (%), Mean ± SD	
	Domestic products (n = 18)	Imported products (n = 44)
C16:0 (Palmitic)	8.05 ± 0.22a ^d	8.78 ± 0.26b
C16:1 (Palmitoleic)	0.09 ± 0.01a	0.09 ± 0.03a
C18:0 (Stearic)	5.03 ± 0.32a	5.26 ± 0.19b
C18:1 (Oleic)	40.64 ± 1.93a	38.52 ± 0.94b
C18:2 (Linoleic)	45.06 ± 2.10a	46.21 ± 1.17b
C18:3 (Linolenic)	0.32 ± 0.03a	0.31 ± 0.03a
C20:0 (Arachidic)	0.51 ± 0.04a	0.51 ± 0.04a
C20:1 (Eicosenoic)	0.14 ± 0.01a	0.13 ± 0.01a
C22:0 (Behenic)	0.08 ± 0.02a	0.08 ± 0.02a
TSFA ^a	13.73 ± 0.32	14.68 ± 0.38
TMUFA ^b	40.87 ± 1.93	38.73 ± 0.94
TPUFA ^c	45.38 ± 2.12	46.53 ± 1.18
TPUFA/TSFA	3.31 ± 0.22	3.17 ± 0.16
Omega-6/Omega-3	141.89 ± 12.80	148.65 ± 14.17

^aTSFA : total saturated fatty acids; ^bTMUFA : total monounsaturated fatty acids; ^cTPUFA : total polyunsaturated fatty acids. ^dMeans with the same letter in the same row are not significantly different (p > 0.05). The content of fatty acids which were not larger than 0.05%(w/w) was omitted from the Table.

지방산 중 대부분을 차지하였으며 이는 Bae & Lee⁹ 및 Jeon *et al.*²⁰의 기존 연구와 매우 유사하였다. 국산은

Table 2. Recovery validation for major Fatty acids with SRM 3274-4

Fatty acid	Mean value of fatty acid (g/100 g)		Recovery rate (%)
	Certified value	Estimated value	
Palmitic (C16:0)	5.64	5.33	94.5
Stearic (C18:0)	2.09	1.73	82.8
Oleic (C18:1)	16.68	14.69	88.1
Linoleic (C18:2)	16.00	14.99	93.7
Linolenic (C18:3)	62.90	63.01	100.2

C18:1, 수입산에서는 C18:2가 상대적으로 높은 함량을 보였으며 통계적으로 유의적인 차이를 나타내었는데 이는 참기름에서 C18:1과 C18:2의 함량은 참깨의 원산지, 유전적 변이, 정제과정 및 재배환경에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다.²⁷

표준인증물질 SRM 3274-4를 이용하여 실험법 검증을 위한 회수율 검정을 실시하였다. 5 개 주요지방산에 대한 회수율 결과는 Table 2와 같으며 82.8~100.2%의 양호한 값을 얻을 수 있었다.

국산과 수입산 참기름의 5 개 지방산에 대하여 상관분석을 실시한 결과 Fig. 1과 같은 상관행렬을 얻을 수 있었다. 국산참기름에서는 C18:0과 C18:1이 피어슨 상관계수 0.909로 가장 큰 양(+)의 상관성을 보였

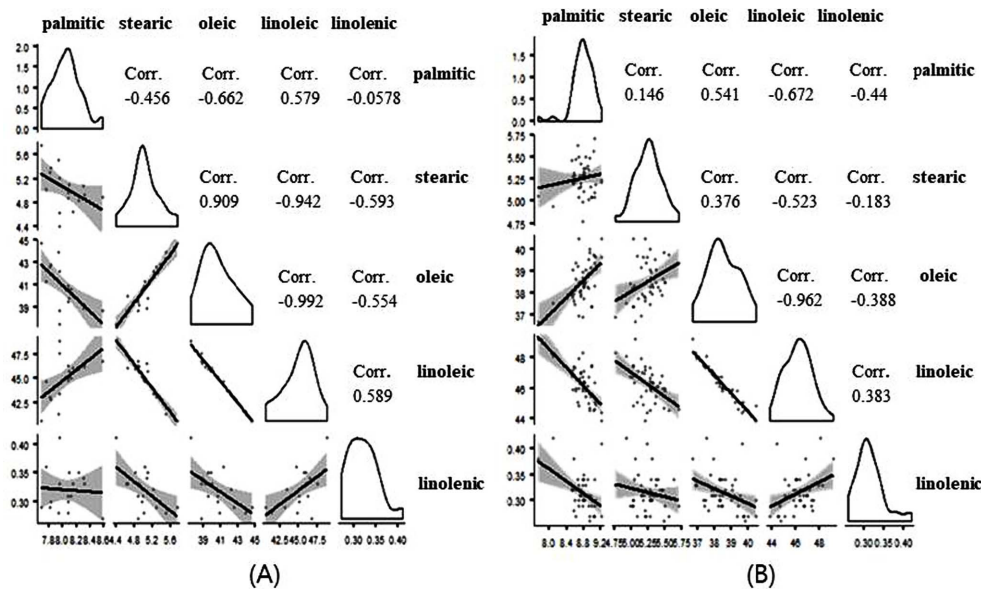


Fig. 1. Correlation matrix among major fatty acids in domestic (A) and imported (B) sesame oils.

으며 반대로 C18:1과 C18:2는 -0.992 의 음(-)의 상관성을 나타내었다. 수입산에서는 C18:0과 C18:1이 0.376 의 양(+)의 상관성을 보였으나 국산에 비해서는 상관성이 현저히 작은 것을 확인하였고 C18:1과 C18:2는 -0.962 로 음(-)의 상관성을 보여 국산과 큰 차이가 없었다. 국산과 수입산 참기름에서 C16:0과 C18:0, C18:1 및 C18:2는 서로 상반되는 상관성을 보였는데, 특히 C16:0과 C18:1의 상관성은 국산 -0.662 , 수입산 0.541 이었으며 C16:0과 C18:2의 상관성은 국산 0.579 , 수입산 -0.672 로 확인되어 국산과 수입산 참기름을 구분하는데 C16:0과 C18:1 및 C18:2의 상관성이 중요한 지표로서 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

참기름의 TPUFA/TSFA 비율은 $3.17 \sim 3.31$ 로 확인되어 WHO에서 제시하는 이상적인 범위인 $0.8 \sim 1.0^{28}$ 보다는 다소 높았으며 이는 참기름의 높은 불포화지방산 함량에 기인한 것으로 판단되었다. 오메가-6와 오메가-3 지방산은 인체 내에서 합성되지 않아 외부에서 식이로 섭취해야만 하는 필수 지방산으로 본 연구에서 참기름의 오메가-6/오메가-3 지방산의 비율은 국산 141.9 , 수입산은 148.7 이었으며 WHO 권장비율인 $5 \sim 10$ 보다 높은 것으로 확인되었다. Simopoulos²⁹

에 의하면 오메가-6/오메가-3 지방산의 비율이 높을수록 심장병, 암, 염증 등의 질병이 증가할 수 있다고 하였으며 현대인의 식이는 고함량의 오메가-6 지방산 영향으로 $15.0 \sim 16.7$ 의 비율을 보인다고 하였다.

3.2. 지방산 주성분 분석

참기름의 5개 주요 지방산 (C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3)을 변수로 하여 변수들간의 상관성을 확인하고 시각화하기 위하여 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석은 여러 변수들 중에서 모든 데이터들을 설명할 수 있는 최적의 변수, 즉 주성분(principal component)을 추출하는 통계기법으로 Fig. 2에서 국산과 수입산 참기름의 지방산 조성에 따른 집단 분포 양상의 차이를 2개의 주성분 점수를 이용하여 시각적으로 확인할 수 있었다. 변수들의 상관성은 유의적 ($p < 0.05$)이었으며 제 1 주성분과 제 2 주성분의 설명력은 각각 49.0% 와 30.5% 이었다. 스크리도표에서 확인된 고유값(eigenvalue)이 1보다 큰 주성분 2개의 누적기여율(% 분산)은 79.5% 이었다. 또한 두 개의 요인에 의해 구성된 2차원 회전 공간에 5개의 지방산 변수들이 위치하고 있음을 확인할 수 있었다.

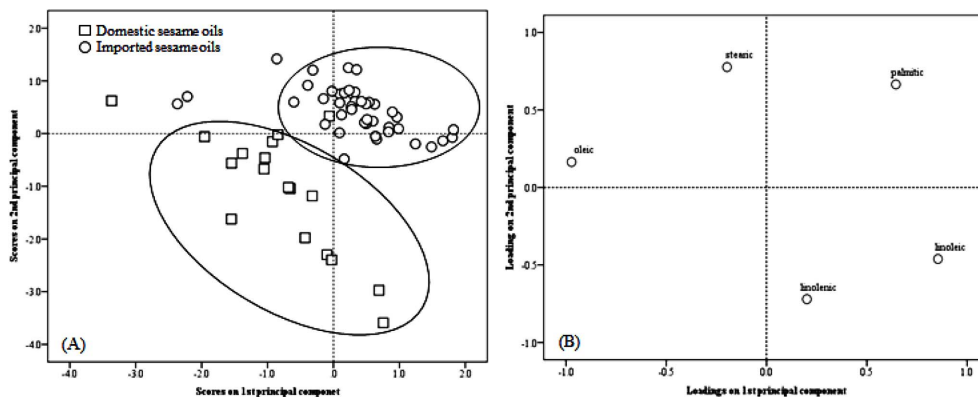


Fig. 2. Principal component scores (A) and loadings (B) plot for the major fatty acids of commercial sesame oils.

Table 3. Examination of similarity of group means

Variables	Wilks λ	F value	df1 ^a	df2	p value
Palmitic (C16:0)	0.361	106.233	1	60	0.000
Stearic (C18:0)	0.835	11.890	1	60	0.001
Oleic (C18:1)	0.637	34.137	1	60	0.000
Linoleic (C18:2)	0.888	7.550	1	60	0.008
Linolenic (C18:3)	0.993	0.394	1	60	0.532

^adf : degree of freedom

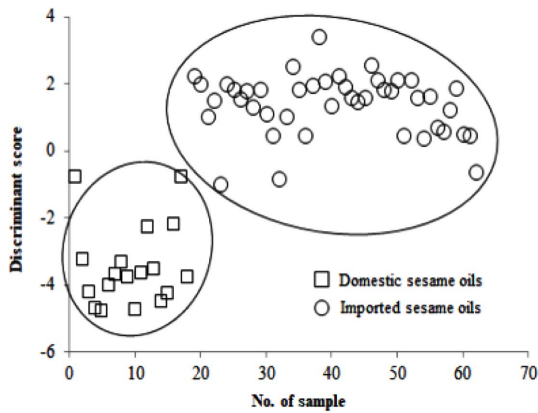


Fig. 3. Discriminant scores plot for commercial sesame oils.

3.3. 참기름 원산지 판별 분석

국산과 수입산 참기름의 원산지 판별을 위해 참기름의 주요 지방산 분석데이터를 SPSS 프로그램을 이용하여 선형판별 분석을 실시하였다. 5 개 주요 지방산을 독립변수로, 원산지를 집단변수로 하여 판별 분석한 결과 Table 3과 같이 집단평균의 동질성에 대한 검증결과를 얻을 수 있었으며 Fig. 3에서 국산과 수입산 참기름의 판별점수에 따른 분포양상을 확인하였다. 집단 사이에 공분산행렬의 동일성에 대한 검증을 위해 Box’M(=65.05) 테스트 결과 $p < 0.05$ 이었으며 이를 통해 집단 간 공분산 행렬이 동일하지 않음을 확인하였으며 이는 시료의 크기와 정규분포 여부에 크게 영향을 받기 때문인 것으로 판단되었다. 일원배치 분산분석 결과 C18:3을 제외한 지방산들은 유의확률 $P < 0.05$ 이므로 집단 간에 차이가 통계적으로 유의적임을 확인하였고 판별력의 정도를 나타내는 Wilks λ (집단내 분산/(집단내 분산+집단간 분산))는 C16:0이 0.361로 가장 낮았으며 그 다음으로 C18:1이 0.637로 낮아 판별력이 높은 지방산으로 확인되었다. 이는 집단 간의 분산이 집단 내 분산에 비해 클수록 Wilks λ 값이 “0”에 가까워지며 반대로 분산분석의 F값은 커지게 되어 판별력이 높아지게 되는 것이다. 공분산 행

Table 4. Fisher’s linear discriminant function for predicting the group of geographical origin

Variables	Group	
	1	2
Palmitic (C16:0)	21385.457	21418.107
Stearic (C18:0)	24347.937	24388.142
Oleic (C18:1)	19698.895	19712.487
Linoleic (C18:2)	19906.951	19924.332
Linolenic (C18:3)	44794.520	44846.170
Constant	-1003348.120	-1005177.260

렬의 동일성에 대한 검증 결과 정준상관계수(canonical correlation coefficient)는 0.913 이었으며 $(0.913)^2 = 0.834$ 로 이는 판별점수 분산의 83.4%가 5 개의 독립변수들에 의해 설명됨을 의미하며 정준상관계수의 값이 “1”에 가까울수록 판별점수의 판별능력은 크다고 할 수 있다. Wilks λ 의 유의확률 $P < 0.05$ 이었으며 이는 5 개의 독립변수는 두 집단을 구분하는데 유용함을 확인하였다. 각 변수와 표준화된 정준판별함수간의 상관관계를 나타내는 구조행렬의 판별적재값은 C16:0이 0.593의 상관성을 보여 가장 판별력이 큰 변수이며 동시에 유의적 ($> \pm 0.4$) 임을 확인하였다. 표준화되지 않은 정준 판별함수 계수(unstandardized canonical discriminant function coefficient)는 집단의 중심값을 계산하는데 사용되며 판별점수(Z)는 정준 판별함수 계수와 각 지방산 변수를 이용하여 $Z = 6.710(C16:0) + 8.262(C18:0) + 2.793(C18:1) + 3.572(C18:2) + 10.614(C18:3) - 376.922$ 와 같이 계산한 결과 국산 -3.453, 수입산 1.413의 평균 중심값을 얻을 수 있었다. 분류함수(classification function) 또는 Fisher’s 선형판별함수는 새로운 분류대상이 있을 때 그 분류대상의 독립변수값들을 분류함수에 삽입하여 계산한 결과 큰 값으로 나타나는 집단에 분류하게 하는 함수이다. Table 4는 본 실험에서 얻어진 분류함수로서 참기름 지방산 분석결과 5 개의 지방산 변수값을 삽입하여 어떤 원산지 집단에 분류될 것인지를 예측가능하게 한다. 이와 같이 분류함수를 이용하여 참기름 62건에 대한 원산지 판별분석 결

Table 5. Summary of prediction results obtained by linear discriminant analysis for geographical origin of commercial sesame oils

Actual group	Predicted group		
	Domestic oil	Imported oil	Correctly classified rate (%)
Domestic sesame oils (n = 18)	16	2	88.9
Imported sesame oils (n = 44)	0	44	100
Total correct classification (%)	$(16+44)/62 = 96.8$		

과는 Table 5와 같았다. 국산 18건 중에서 2건이 수입산으로 분류되어 88.9%의 예측율을 보였으며 수입산 44건은 모두 100%의 예측율을 보였다. 분석대상 참기름 총 62건 중 60건의 원산지가 정확하게 분류되어 총 96.8%의 예측율을 보였으며 이는 농식품 원산지 검정법 연구-개발에 관한 표준 가이드라인에서 제시한 이화학분야 검증지표인 효율성 95% 이상을 만족하였으며 또한 Jeon *et al.*²⁰의 기존 연구에서 참기름의 원산지 판별 정확도가 97.6% 이었다는 보고와 매우 유사하였다.

4. 결 론

GC-FID를 이용하여 시중에서 판매되는 참기름 62건(국산 18건, 수입산 44건)의 지방산 조성을 확인하였으며 주요지방산 5종(C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3)을 다변량 통계분석 처리하여 원산지 판별을 실시하였다. C16:0과 C18:1 및 C18:2의 상관성은 국산과 수입산 참기름에서 서로 반대되는 경향을 보여 원산지 판별의 중요한 지표로서 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 주성분 분석 결과 2개의 추출된 주성분에 의해 국산과 수입산 참기름의 성분점수에 따른 분포양상의 차이를 시각적으로 확인하였으며 선형판별 분석 통계처리 결과 96.8%의 원산지 분류 정확성을 보여 참기름의 원산지 판별 검정에 적용 가능성을 확인하였다. 유통 판매되는 참기름의 수입산에 비해 국산의 원산지 분류 정확성이 상대적으로 낮게 나온 점에는 분명 시사하는 바가 있다. 이는 경제적 이득을 목적으로 수입산 참기름을 일정량 국산 참기름에 고의적으로 혼입하였을 가능성이 의심되며 현 식품공전에서 규정한 기준규격 검사만으로는 그 혼입정도를 확인하기 어려운 동시에 기존에 보고된 판별법으로도 분명 한계가 있다. 이에 수입산과 국산 참기름 혼입정도에 따른 차이를 구별해 낼 수 있는 다양한 분석방법과 원산지 판별방법의 연구가 필요한 실정이다.

References

1. Y. W. Park, P. S. Chang and J. H. Lee, *Food Chem.*, **123**, 377-383 (2010).
2. M. Namiki, *Food Rev. Int.*, **11**, 281-329 (1995).
3. S. N. Ryu, K. S. Kim and E. J. Lee, *Korean J. Crop Sci.*, **47**(S), 140-149 (2002).
4. G. S. Kim, D. H. Kim, M. R. Jeong, I. B. Jang, K. B. Shim, C. H. Kang, S. E. Lee, N. S. Seong and K. S. Song, *Korean J. Crop Sci.*, **49**(6), 496-502 (2004).
5. H. W. Kim, C. U. Choi and S. J. Woo, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**(4), 739-744 (1998).
6. J. Y. Lee, M. J. Kim and E. O. Choe, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **40**(1), 15-20 (2008).
7. S. T. Ji, *J. Korean Soc. Int. Agric.*, **31**(1), 34-42 (2019).
8. H. Y. Seo, J. H. Ha, D. B. Shin, S. L. Shim, K. M. No, K. S. Kim, K. B. Lee and S. B. Han, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **87**(6), 621-626 (2010).
9. S. K. Bae and K. T. Lee, *Korean J. Food Preserv.*, **16**(4), 594-598 (2009).
10. C. T. Kim, *Food Ind. Nutr.*, **15**(1), 27-30 (2010).
11. D. Peng, Y. Bi, X. Ren, G. Yang, S. Sun and X. Wang, *Food Chem.*, **188**, 415-421 (2015).
12. D. S. Lee, B. S. Noh, S. Y. Bae and K. Kim, *Anal. Chim. Acta*, **358**, 163-175 (1998).
13. J. Y. Joo, Y. H. Yeo and N. R. Lee, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **46**(6), 739-743 (2017).
14. J. A. Shin and K. T. Lee, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **37**(5), 856-860 (2005).
15. F. Longobardi, A. Ventrella, G. Casiello, D. Sacco, L. Catucci, A. Agostiano and M. G. Kontominas, *Food Chem.*, **133**, 579-584 (2012).
16. Y. S. Kim, C. Scotter, M. Voyiagis and M. Hall, *Food Sci. Biotech.*, **7**(1), 18-22 (1998).
17. Y. Liu, Z. Xia, L. Yao, Y. Wu, Y. Li, S. Zeng and H. Li, *J. Food Compos. Anal.*, **84**, 103327 (2019).
18. H. J. Jeon, S. C. Lee, Y. J. Cho, J. H. Oh, K. S. Kwon and B. H. Kim, *Food Chem.*, **167**, 363-369 (2015).
19. G. S. Jin, J. G. Kim, Y. H. Lee, J. Y. Kim, C. C. Akoh, H. S. Chun, S. D. Ahn and B. H. Kim, *J. Oleo Sci.*, **66**(4), 337-344 (2017).
20. H. J. Jeon, I. H. Kim, C. Lee, H. D. Choi, B. H. Kim, and C. C. Akoh, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **90**, 337-347 (2013).
21. H. Diraman, H. Saygi and Y. Hisil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **88**, 1905-1915 (2011).
22. C. Li, Y. Yao, G. Zhao, W. Cheng, H. Liu, C. Liu, Z. Shi, Y. Chen and S. Wang, *J. Agric. Food Chem.*, **59**, 12493-12498 (2011).
23. S. Lanteri, C. Armanino, E. Perri and A. Palopoli, *Food Chem.*, **76**, 501-507 (2002).
24. M. Monfreda, L. Gobbi and A. Grippa, *Food Chem.*,

- 145, 584-592 (2014).
25. Ministry of Food and Drug Safety, Experimental method of Korean Food Standards Codex – fatty acids analysis, Republic of Korea, 2016.
26. The jamovi project. jamovi.(Version 1.1) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
27. B. A. Were, A. O. Onkware, S. Guda, M. Welander, and A. S. Carlsson, *Field Crops Res.*, **97**, 254-260 (2006).
28. World Health Organization (WHO), The joint FAO/WHO expert consultation on fats and fatty acids in human nutrition, Geneva, 2008.
29. A. P. Simopoulos, *Biomed. Pharmacother.*, **56**, 365-379 (2002).

Authors' Positions

Nam-Hoon Kim : Official researcher
Chae-man Choi : Official researcher
Young-Ju Lee : Official researcher
Na-Young Kim : Official researcher
Mi-Sun Hong : Senior official researcher
In-Sil Yu : Senior official researcher