



Special Topic

Antioxidant activity and lignan levels in commercial perilla oil in Korea

국내 시판 들기름의 리그난 함량 및 항산화 활성

Gajin Kim^{1†}, Yoonjeong Kim^{1†}, Jina Lee¹, Jihyeon Yu¹, Daejung Kim², Younghwa Kim^{1,3*}

김가진^{1†} · 김윤정^{1†} · 이진아¹ · 유지현¹ · 김대중² · 김영화^{1,3*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, BB21 Plus Project Team, Kyungsoong University, Busan 48434, Korea

²Experiment Research Institute, National Agricultural Products Quality Management Service, Gimcheon 39660, Korea

³Food and Life Science Research Institute, Kyungsoong University, Busan 48434, Korea

¹경성대학교 식품생명공학과 BB21 Plus 프로젝트팀, ²국립농산물품질관리원 시험연구소,

³경성대학교 식품생명과학연구소

Abstract The levels of lignans and the antioxidant capacity of perilla oils (15 types, PO) consumed in Korea were determined. Mass spectrometry coupled with liquid chromatography was used for measuring the lignan content in the perilla oil, while the antioxidant activity was analyzed using the contents of polyphenols and flavonoids along with radical scavenging activity. The range of the total lignan content was 15.281 to 1,336.688 µg/100 g, with PO3 demonstrating the highest amount. The antioxidant activity showed that PO5 had the highest polyphenol content and radical scavenging capacity, while PO2 showed the highest flavonoid content. Radical scavenging activity showed a strong correlation with polyphenol content. These results indicate that perilla oil could function as a functional food, particularly with respect to antioxidant activity.

Keywords lignan, antioxidant activity, perilla oil, radical scavenging capacity, correlation



OPEN ACCESS

Citation: Kim G, Kim YJ, Lee J, Yu J, Kim D, Kim YH. Antioxidant activity and lignan levels in commercial perilla oil in Korea. Food Sci. Preserv., 32(3), 415-422 (2025)

Received: March 14, 2025
Revised: April 08, 2025
Accepted: May 13, 2025

†These authors contributed equally to this study.

***Corresponding author**
Younghwa Kim
Tel: +82-53-663-4652
E-mail: younghwakim@ks.ac.kr

Copyright © 2025 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

들깨(*Perilla frutescens*)는 한국, 중국 등 동아시아지역에서 재배되며, 전통적으로 식용 및 약용으로 활용되고 있다(Ahmed, 2018). 들깨에는 폴리페놀, 알칼로이드, 페닐프로판 유도체를 포함하고 있으며, 폴리페놀에는 페놀산, 플라보노이드, 리그난 등 항산화 기능을 나타내는 화합물이 있는 것으로 알려져 있다(Lia와 Baron, 2025). 들기름은 들깨를 압착한 기름으로, 다른 식용유에 비해 필수 지방산인 α -리놀렌산을 높은 수준으로 함유하고 있어 건강 기능성이 우수한 식물성 기름으로 평가받고 있다(Sargi 등, 2013). Takeuchi 등(2007)의 동물 모델 연구에 의하면 체내에서 α -리놀렌산은 에이코사펜타엔산 및 도코사헥사엔산으로 전환되어 혈압을 저하시킬 뿐만 아니라 심혈관계 질환 예방(Blondeau 등, 2015), 암세포 증식 억제(Yang 등, 2013) 등에 기여하는 것으로 보고되어 있으며 이로 인해 들기름은 생리활성을 기대할 수 있는 식품 소재로 주목받고 있다(Cho 등, 2009; Gu 등, 2019). α -리놀렌산 이외에도 토코페롤, 피토스테롤, 다불포화지방산 등의 물질이 포함되어 있으며, 이러한 성분들은 항산화, 항염증 등의 기능을 하는 것으로 보고되어 있다(Zamani Ghaleshahi 등, 2020). 들기름의 제조 과정에서 다양한 생리활성 성분의 변화가 발생할 수 있다(Rożańska 등, 2019). 다양한 마이크로웨이브의 전처리가 총피토스테롤, DPPH 라디칼 소거 활성이 유의하게 증가한 반면 토코페롤과 페놀 화합물 함량은 감소한 것을 보아 고온에서 가열, 압착하는 과정은 열에 민감한 일부

성분의 손실을 유발할 수 있으나 항산화 물질의 추출 효율을 높이거나 새로운 항산화 활성 물질이 형성되어 산화 안정성을 높이는 데 기여할 수도 있다(Huang 등, 2022). 또한 압착 과정에서 들깨의 지용성 성분이 기름으로 용출되면서 들기름의 항산화 특성이 변화할 수 있다(Jung 등, 2012).

활성산소종은 호기성 대사의 부산물로, 초과산화물 음이온, 수산화 라디칼, 과산화수소 등이 포함되며 다양한 생물학적 표적에 반응성을 부여하는 고유한 화학적 특성을 가지고 있다(Schieber와 Chandel, 2014). 그러나 활성산소종은 화학적 활성이 높고 불안정하여 체내에서 DNA, 단백질 등의 손상을 유발할 수 있으며, 또한 활성산소종은 고혈당 상태에서 과도하게 생성되어 췌장 베타세포의 기능을 저하시킴으로써 당뇨의 발병과 진행에 기여하는 것으로 알려져있다(Ha 등, 2008). 기존 연구에 따르면 리그난 화합물은 세포 내 활성산소종을 감소시키고, 산화적 손상을 방지하는 데 기여하는 것으로 보고되어있다(Apers 등, 2003). 리그난은 대표적인 식물성 폴리페놀로, 강력한 항산화 효과뿐만 아니라 항암, 항염증, 에스트로겐 유사 활성을 가지는 것으로 보고되어 있다(Hamade 등, 2021; Li 등, 2023). 특히 secoisolariciresinol(Seco), matairesinol(Mat), pinoresinol(Pin) 등과 같은 리그난은 종자류에서 미량으로 발견되며(Andargie 등, 2021; Jarošová 등, 2024), 항산화능이 우수하여 기름의 산패를 억제하고 저장 안정성을 증가시키는 것으로 알려져 있다(Kim 등, 2022a). 따라서 본 연구에서는 시판 들기름을 대상으로 리그난 함량을 정량적으로 분석하고, 항산화 활성과의 상관관계를 평가하고자 한다. 이를 위해 들기름 내 리그난 성분과 항산화 활성을 분석하여, 들기름의 기능성 식품 소재로서의 가치를 알아보고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 시약

시판 들기름은 2024년 국내에 소비되고 있는 15종(PO1-15)을 대상으로 온라인 상점과 부산광역시의 대형마트에서 구입하여 사용하였다. 또한 실험에 사용한 P01-05는 전통압착방식으로 제조한 들기름이며, P06-P11은 저온압착, P12-15는 냉압착 방식으로 제조한 상품이었다. 리그난 표준품 6종 중 syringaresinol(Syr)과 medioresinol(Med)은 ChamFaces Co. (Wuhan, China)의 제품을 구입하였으며, 4종의 리그난 표준품인 Seco, Mat, lariciresinol(Lar) 및 Pin과 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS), Folin-Ciocalteu's reagents, catechin hydrate은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 추출용매 제조 및 LC-MS/MS 이동상에 사용되는 메탄올과 acetonitrile(ACN)은 Honeywell Burdick & Jackson Co.(Muskegon, MI, USA)에서

구매하였다.

2.2. 리그난 추출물 제조

시판 들기름 15종의 리그난 추출을 위하여 2 mL microtube에 시료를 0.1 g 가량 취한 후, 1.5 mL의 100% 메탄올을 첨가하여 1분간 vortexing 하였다. 이를 초음파 추출기를 사용하여 40°C에서 30분간 추출해 -20°C에 1시간 방치 후 메탄올 증발 취해 22,250 ×g 조건에서 원심분리하였다. 상등액은 0.2 μm nylon syringe filter로 여과 후 분석에 사용하였다.

2.3. 표준용액 조제

6종의 리그난 표준품(Seco, Mat, Lar, Pin, Syr, Med)을 메탄올에 용해하여 혼합한 후 표준용액으로 사용하였으며, 표준용액은 1.5625-200 ng/mL로 희석하여 분석에 사용하였다.

2.4. 리그난의 LC-MS/MS 분석기기 및 조건

6종의 리그난(Mat, Lar, Pin, Syr, Seco, Med)을 동시 분석하기 위해 liquid chromatography-mass spectrometry(LC-MS/MS) (Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다. 상세한 분석 조건을 Table 1에 나타내었다.

2.5. 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 분석

50 mL conical tube에 시료 약 15 g을 취한 뒤 메탄올 15 mL를 가하여 10분간 vortexing을 3회 반복하였다. 이를 원심분리기에서 2,862 ×g, 10분간 원심분리 후 파스퇴르 피펫으로 상층액을 취해 15 mL conical tube에 옮겨담았으며, 그 상층액을 실험에 사용하였다. 들기름 시료 15종의 총폴리페놀 함량은 메탄올로 추출한 들기름 시료 25 μL에 2% Na₂CO₃ 500 μL를 첨가한 다음 50 μL의 Folin-Ciocalteu 시약을 첨가하여 암소에서 5분간 방치하였다(Folin과 Denis, 1912). 총폴리페놀 함량은 750 nm에서 흡광도를 측정하여 구하였고, mg gallic acid equivalents(GAE)/mL로 나타내었다.

총플라보노이드 함량은 들기름 메탄올 추출물(50 μL)에 증류수(250 μL)와 5% NaNO₂(15 μL)를 첨가하였으며, vortexing한 후 6분간 암소에 방치하였다(Zhishen 등, 1999). 또한 10% AlCl₃ 용액 30 μL를 가하여 vortexing을 진행하였으며, 5분 후 1 M NaOH 용액 100 μL를 첨가하였다. 이후 510 nm에서 흡광도를 측정하였고, 결과는 mg catechin equivalents(CE)/mL로 구하였다.

2.6. ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS 라디칼 소거능을 측정하기 위해, ABTS 용액 0.5 mL에 들기름 추출물 25 μL를 가해 vortexing 하여 암소에서 30분

Table 1. LC-MS/MS analytical parameters for the determination of six lignan

Instrument		Shimadzu Nexera X3 system		
HPLC	Column	Agilent Poroshell 120 EC-C18 column (1.9 μ m, 2.1 \times 50 mm)		
	Column oven temperature	30°C		
	Injection volume	3 μ L		
	Flow rate	0.3 mL/min		
	Mobile phase	A: Distilled water B: Acetonitrile		
	Gradient Table	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	95	5	
	4.5	50	50	
	6.5	50	50	
	6.51	95	5	
	9	95	5	
Instrument		Shimadzu LC/MS-8050		
MS/MS	Ionization mode	Electrospray ionization source, negative mode		
	Nebulizer gas flow	3 L/mim		
	Heating, drying gas flow	10 L/mim		
	Heat block temperature	400°C		
	Interface temperature	350°C		
	DL temperature	100°C		
MS/MS parameters				
	Compound ¹⁾	Quantifier ion (m/z)	Qualifier ion (m/z)	
	Lar	359.45>329.15	359.45>160	
	Mat	357.45>83.05	357.45>122.05	
	Med	387.45>99.0	387.45>193	
	Pin	357.45>151.15	357045>135.90	
	Seco	361.05>165.15	361.05>121.10	
	Syr	417.45>181.15	417.45>166.10	

¹⁾Lar, lariciresinol; Mat, matairesinol; Med, medioresinol; Pin, pinoresinol, Soco, secoisolariciresinol; Syr, syringaresinol.

간 방치하였다(Re 등, 1999). 이후 라디칼 소거능은 735 nm에서 흡광도를 측정하여 구했다.

2.7. 통계 분석

본 연구결과의 들기름에 함유된 리그난 및 항산화 성분의 함량은 평균 \pm 표준편차로 표기하였으며, 연구 결과의 통계분석은 SAS ver. 9.4(Statistical Analysis System, SAS Institute Inc. Cary, NC, US)를 사용하여 일원배치 분산 분석을 하였고, Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 확인하였다

($p < 0.05$). 또한 SPSS(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc. Chicago, IL, US) 프로그램을 이용하여 총리그난 함량과 항산화 활성 간의 상관계수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시판 들기름의 리그난 함량

시판 들기름 15종의 총리그난 함량은 15.281-1,336.688 μ g/100

g 범위로 확인되었다(Table 2). PO3의 총리그난 함량이 가장 높았고(1,336.688 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), 다음으로는 PO5(1,251.455 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), PO1(877.460 $\mu\text{g}/100\text{ g}$) 순서로 높게 나타났다. PO3 시료에 함유된 리그난 중 Syr의 함량(1,177.635 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)이 가장 높았고, 그 다음으로는 Pin이 83.496 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 높았으며, Seco는 PO3에서만 검출되었다(11.084 $\mu\text{g}/100\text{ g}$). Seco, Mat, Med를 제외한 나머지 세 종류의 리그난은 PO5 시료에서 유의적으로 높은 함량을 나타냈다. 반면, PO15 시료의 총리그난 함량이 가장 낮았고, Pin만 검출되었으며, Mat와 Med는 모든 들기름에서 검출되지 않았다.

본 연구결과 시판 들기름 제품은 리그난 조성 및 함량에 차이가 있었다. Wu(2007)에 따르면 참기름을 180°C에서 4분간 가열시 리그난 함량 변화가 거의 없었으나, 200°C에서 20분간 가열한 경우 세사몰 함량은 증가하였고, 세사몰린은 검출되지 않은 것으로 보고한 바 있다. 이는 고온에서의 열처리가 특정 리그난 성분에 영향을 미칠 수 있다는 것을 시사한다. 뿐만 아니라 기름의 압착 방식 역시 지방산, 아미노산, 지질 등의 구성 성분의 함량에 영향을 줄 수 있는 중요한 요인으로 알려져 있다(Hou 등, 2024). Cho 등(2009)은 들깨를 로스팅한 뒤 압착하

는 과정에서 조단백질, 당질, 중성지질, 아미노산의 변화가 발생하여 들기름의 품질에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 특히 고온에서 로스팅한 후 압착하는 전통압착 방식과 저온에서 로스팅하거나 로스팅하지 않고 압착하는 냉압착 방식에 따라 토코페롤 함량과 항산화능이 달라진다고 하였다(Siger 등, 2017). 이전 연구에서 추출 방법에 따라 들기름, 인삼 종자유 등의 토코페롤 및 스테롤 함량이 상당한 다르게 나타난다고 하였다(Jung 등, 2012; Lee 등, 2013). 이와 더불어, 들깨 품종 차이 역시 들기름의 리그난 조성에 영향을 줄 수 있는 요소로, Dossou 등(2023)의 연구에서도 여러 가지 품종의 들깨에 함유되어 있는 화합물 및 항산화능은 종자에 따라 다르다고 하였다. 따라서 시판 들기름 15종의 리그난 함량 차이는 들기름 제조 과정에서 발생하는 로스팅 온도 및 시간, 압착조건 등 복합적인 요인에 의해 영향을 받았을 것으로 추측된다.

3.2. 시판 들기름의 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량과 라디칼 소거능

본 연구에서 알아본 들기름 15종의 총폴리페놀 및 플라보노이드 함량과 라디칼 소거능은 Table 3에 나타내었다. 총폴리페

Table 2. Lignan content of commercial perilla oil

Sample	Lignan content ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)						Total lignan ¹⁾
	Seco	Mat	Lar	Pin	Syr	Med	
PO1	ND ²⁾	ND	37.977 \pm 1.393 ^{3) e4)}	55.648 \pm 3.464 ^c	783.835 \pm 24.738 ^b	ND	877.460 \pm 27.847 ^c
PO2	ND	ND	59.493 \pm 2.299 ^b	79.935 \pm 1.984 ^b	485.685 \pm 49.839 ^c	ND	625.113 \pm 49.298 ^d
PO3	11.084 \pm 0.310 ^a	ND	64.474 \pm 6.296 ^a	83.496 \pm 2.548 ^{ab}	1,177.635 \pm 119.893 ^a	ND	1,336.688 \pm 114.725 ^a
PO4	ND	ND	50.369 \pm 2.121 ^c	55.201 \pm 6.967 ^c	245.564 \pm 32.791 ^d	ND	351.133 \pm 23.721 ^c
PO5	ND	ND	44.359 \pm 0.653 ^d	43.149 \pm 1.520 ^d	184.267 \pm 4.924 ^d	ND	271.775 \pm 6.970 ^c
PO6	ND	ND	66.726 \pm 4.714 ^a	85.899 \pm 3.426 ^a	1,098.830 \pm 148.226 ^a	ND	1,251.455 \pm 145.915 ^b
PO7	ND	ND	28.089 \pm 1.574 ^f	25.427 \pm 2.269 ^f	70.150 \pm 2.234 ^c	ND	123.666 \pm 4.402 ^{fg}
PO8	ND	ND	29.398 \pm 2.512 ^f	30.961 \pm 4.206 ^c	47.754 \pm 4.196 ^c	ND	108.112 \pm 10.786 ^{gh}
PO9	ND	ND	26.850 \pm 0.535 ^{fg}	21.942 \pm 2.119 ^f	45.295 \pm 3.417 ^c	ND	94.088 \pm 1.998 ^{gh}
PO10	ND	ND	22.831 \pm 0.123 ^{gh}	21.084 \pm 1.636 ^f	77.943 \pm 2.797 ^c	ND	121.858 \pm 1.764 ^{fg}
PO11	ND	ND	36.059 \pm 2.179 ^c	59.543 \pm 2.147 ^c	80.611 \pm 6.787 ^c	ND	176.213 \pm 6.508 ^f
PO12	ND	ND	21.046 \pm 0.279 ^h	15.401 \pm 0.935 ^e	26.162 \pm 2.304 ^c	ND	62.609 \pm 2.959 ^{gh}
PO13	ND	ND	21.268 \pm 0.958 ^h	16.016 \pm 0.452 ^e	61.854 \pm 0.494 ^c	ND	99.139 \pm 0.937 ^{gh}
PO14	ND	ND	23.014 \pm 0.292 ^{gh}	24.624 \pm 1.006 ^f	29.755 \pm 3.994 ^c	ND	77.393 \pm 5.178 ^{gh}
PO15	ND	ND	ND	15.281 \pm 0.324 ^e	ND	ND	15.281 \pm 0.324 ^h

¹⁾Total lignan = Seco + Mat + Lar + Pin + Syr + Med.

²⁾Not detected.

³⁾Values are mean \pm SD (n=3).

⁴⁾Values with different superscript letters in the same column indicate significant differences by Duncan's multiple range test at p<0.05.

Table 3. Total polyphenol and flavonoid content, and ABTS radical scavenging capacity of commercial perilla oil

Sample	Total polyphenols (mg GAE ¹ /mL)	Total flavonoids (mg CE ² /mL)	ABTS radical scavenging capacity (%)
PO1	0.329±0.010 ^{3(c4)}	0.137±0.023 ^{ab}	49.830±0.241 ^c
PO2	0.308±0.034 ^c	0.146±0.014 ^a	45.578±1.443 ^f
PO3	0.447±0.007 ^b	0.142±0.006 ^a	79.195±0.882 ^b
PO4	0.258±0.005 ^d	0.113±0.008 ^{bc}	45.805±1.122 ^f
PO5	0.325±0.003 ^c	0.112±0.012 ^{bc}	66.270±0.882 ^d
PO6	0.455±0.020 ^a	0.124±0.026 ^{abc}	81.406±0.962 ^a
PO7	0.198±0.009 ^c	0.120±0.008 ^{abc}	32.256±0.080 ^b
PO8	0.233±0.017 ^d	0.082±0.012 ^{de}	45.692±1.283 ^f
PO9	0.201±0.005 ^c	0.098±0.002 ^{cd}	34.637±0.080 ^e
PO10	0.139±0.010 ^f	0.042±0.002 ^e	20.748±0.481 ⁱ
PO11	0.402±0.003 ^b	0.100±0.005 ^{cd}	75.000±0.882 ^c
PO12	0.187±0.017 ^c	0.036±0.008 ^g	13.492±0.481 ^k
PO13	0.171±0.000 ^{ef}	0.071±0.000 ^{ef}	15.646±0.321 ^j
PO14	0.118±0.003 ^f	0.052±0.003 ^{fg}	16.610±0.561 ^j
PO15	0.179±0.012 ^{ef}	0.077±0.002 ^{def}	11.508±0.561 ^l

¹GAE, gallic acid equivalents.

²CE, catechin equivalents.

³Values are mean±SD (n=3).

⁴Values with different superscript letters in the same column indicate significant differences by Duncan's multiple range test at p<0.05.

놀 함량은 0.118-0.455 mg GAE/mL의 범위로 나타났으며, PO5(0.455 mg GAE/mL)가 가장 높았고, PO3, PO11에서 각각 0.447, 0.402 mg GAE/mL로 나타났다. 또한 PO14(0.118 mg GAE/mL)에서 가장 낮은 함량이 검출되었다. 총플라보노이드 함량은 0.036-0.146 mg CE/mL의 범위로 검출되었으며, PO2에서 0.146 mg CE/mL로 가장 높았다. PO3은 0.142 mg CE/mL로 다음으로 높은 함량을 보였지만 PO2와 PO3의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 또한 PO12에서는 0.036 mg CE/mL로 가장 낮은 총플라보노이드 함량을 나타냈다. 들기름은 전통적으로 고온에서 들깨를 볶아 기계로 압착하는 방식으로 제조되며, 제조과정 중 볶는 온도와 시간은 기름의 향미와 색 및 항산화 능력을 결정하는 요소로 작용하는 것으로 보고되어 있다(Huang 등, 2024). 이전 연구에서 들기름의 색상, 점도, 산화 안정성, 휘발성 화합물과 같은 물리·화학적 특성은 들깨의 로스팅 조건에 크게 영향을 받는다고 보고하였다(Park 등, 2011). 고온에서 장시간 가열하는 과정은 들깨에 함유되어 있는 단백질, 탄수화물 등이 탄화되어 벤조피렌과 같은 유해물질이 생성될 수 있으며, 폴리코사놀, 리그난 및 지방산 등 여러

가지 활성물질들의 함량이 변화하기도 한다(Park 등, 2021). 이로 인해 비교적 저온에서 볶거나, 볶지 않고 착유하는 저온 압착 및 냉압착 방식, 효소 추출법 및 초임계 이산화탄소 추출 방법이 연구되어 있으나, 경제성을 고려하여 가열 압착법이 가장 일반적으로 사용되고 있다(Chen 등, 2022; Kim 등, 2022b; Wei 등, 2021).

ABTS의 라디칼 소거능은 11.508-81.406%의 다양한 범위로 나타났다. 특히 PO5에서 81.406%의 라디칼 소거능을 나타내어 시료 중에서 가장 우수한 항산화능을 보였으며, 다음으로 PO3(79.195%), PO11(75.000%) 순으로 높은 라디칼 소거능을 보였다. 반면 PO15의 ABTS 라디칼 소거능은 11.508%로 15종의 들기름 중에서 가장 낮은 항산화능을 나타내었다. ABTS 라디칼 소거능에 영향을 미치는 성분은 폴리페놀 화합물로 알려져 있으며, 본 연구 결과도 총폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 높은 시료는 우수한 라디칼 소거능을 보여주었다. 반면, 총폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 가장 낮은 PO15는 라디칼 소거능도 가장 낮게 나타났다. 들깨의 로스팅 과정에서의 온도는 들기름의 기능성 물질들의 화학적 구조 및 안정성에 영향을 미치며, 고온에서 볶을 경우 일부 항산화 물질이 분해될 수 있으나 새로운 항산화 물질이 형성되기도 한다(Wang 등, 2010; Zhao 등, 2012). 따라서 시판되는 들기름의 품종 및 다양한 로스팅 온도 및 압착 방식의 차이로 인해 총폴리페놀과 플라보노이드 및 ABTS 라디칼 소거능력 함량의 차이가 나타난 것으로 판단된다(Seo 등, 2022).

3.3. 시판 들기름의 리그난과 항산화능의 상관관계

본 연구에서는 시판 들기름의 총폴리페놀, 플라보노이드, 리그난 함량과 ABTS 라디칼 소거능 간의 상관관계를 분석하였다(Table 4). 분석 결과, 모든 항목간의 유의한 양의 상관관계가 확인되었으며(p<0.01), 특히, 총폴리페놀은 라디칼 소거능과 가장 높은 상관계수를 나타냈고 그 뒤를 이어 총리그난, 총플라보노이드 순으로 비교적 강한 양의 상관관계를 보였다. 이 중 총리그난과 ABTS 라디칼 소거능 간의 상관계수는 0.724로 유의한 수준으로 나타났으나, 총폴리페놀과의 관계보다는 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 리그난이 항산화 활성에 기여하지만, 폴리페놀에 비해 ABTS 라디칼 소거능과의 연관성이 다소 약하다는 것을 시사한다. 또한 총플라보노이드 함량 역시 총폴리페놀 함량(r=0.742) 및 ABTS 라디칼 소거능(r=0.720)과 유의한 상관관계를 보였으나, 총폴리페놀과 ABTS 라디칼소거능의 상관계수(r=0.951)에 비해 상대적으로 낮은 수치를 나타냈다. 특히 총폴리페놀 함량과 ABTS 라디칼 소거능 사이의 상관관계가 가장 높게 나타난 것은 폴리페놀의 구조적 특성과 관련이 있으며 폴리페놀은 다수의 페놀성 하이드록실기를 포함하고 있어 수소 공여 능력이 뛰어나 ABTS 라디칼을 효과적으로 중화하는 데 기여한다(Litwinienko와 Ingold, 2007). 그 중에서도

Table 4. Correlation coefficients among total polyphenols, total flavonoids, ABTS radical scavenging capacity, and total lignan contents

	Total polyphenols content	Total flavonoids content	ABTS radical scavenging capacity	Total lignans content
Total polyphenols content	1			
Total flavonoids content	0.742 ¹⁾	1		
ABTS radical scavenging capacity	0.951 ^{**}	0.720 ^{**}	1	
Total lignan content	0.817 ^{**}	0.705 ^{**}	0.724 ^{**}	1

¹⁾**Significant differences at $p < 0.01$ are indicated by two asterisks.

카테킨, 에피갈로카테킨 갈레이트와 같은 특정 폴리페놀 화합물은 항산화 활성이 높은 것으로 보고되어 있다(Grzesik 등, 2018; He 등, 2018). 한편, 총폴리페놀과 리그난 함량 간에도 비교적 높은 상관관계를 보였는데, 이는 폴리페놀과 리그난 두 성분 모두 페놀성 하이드록실기를 포함하고 있어 구조적으로 유사하여 항산화 활성을 나타내는 것으로 생각된다. 반면 ABTS 라디칼 소거능과 리그난, 총플라보노이드와 총폴리페놀 및 ABTS 소거능 간의 상관관계수는 0.7 정도로 비교적 낮은 양의 상관관계를 보였다. 이는 항산화 기작에 관여하는 각 성분들의 구조적 다양성과 반응 메커니즘의 차이에 기인할 가능성이 있다. 플라보노이드는 폴리페놀의 하위 그룹에 속하며, 그 내에서도 플라본, 이소플라본, 플라바놀 등 다양한 화합물이 존재하며, 종류에 따라 항산화 능력이 다르게 나타난다(Muflihah 등, 2021). 따라서 본 연구에서 나타난 상관관계수 차이는 각 항산화 성분의 구조적 특성 및 작용 기전의 차이에 기인한 것으로 판단되며, 특히 총폴리페놀 함량이 라디칼 소거능에 영향을 미친다는 점은 구조적 안정성과 수소 공여능력에 관련이 있다. 반면, 총리그난 및 플라보노이드 함량과 라디칼 소거능 간의 상관관계수가 유의미하지만 상대적으로 낮은 수준인 이유는 각 그룹 내 화합물들의 구조적 다양성 및 항산화 기전의 차이에 의한 것으로 해석될 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 들기름에 함유되어 있는 다양한 종류의 폴리페놀 화합물의 정량분석 및 항산화 기작에 대한 심층적인 연구를 수행할 필요가 있다.

4. 요약

본 연구에서는 우리나라에서 시판되고 있는 총 15종의 들기름의 리그난 함량과 항산화 활성을 알아보았다. 실험 결과, 총 리그난 함량은 15.281-1,336.688 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 범위로 확인되었으며, PO3의 총리그난 함량이 1,336.688 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 유의적으로 가장 높게 나타났다. 또한 리그난 중 Syr의 함량이 0.000-1,177.635 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 다른 종류의 리그난에 비해 높았으며, Med와 Mat는 검출되지 않았다. 총폴리페놀의 함량은 0.118-0.455 mg GAE/mL 범위로, PO5가 유의적으로 높게 나타났다. 총플라보노이드는 PO2에서 0.146 mg CE/mL으로 가장 높은 항

산화능을 보여주었다. ABTS 라디칼 소거능은 11.508-81.406%의 범위의 값을 나타냈으며, PO5의 라디칼 소거능이 가장 높았다. 또한 총폴리페놀과 ABTS 라디칼 소거능은 가장 높은 상관관계를 보여주었다($r=0.951$, $p < 0.01$). 본 연구는 국내에서 유통 중인 시판 들기름을 대상으로 리그난 화합물의 함량과 항산화 특성을 조사한 것으로, 들기름의 기능성 측면에 대한 기초 자료를 제공하며, 향후 들기름을 이용한 기능성 식품 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Funding

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (project no. RS-2022-RD009982)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Methodology: Kim D. Formal analysis: Kim G, Kim YJ, Lee J, Yu J. Writing - original draft: Kim G, Kim YJ. Writing - review & editing: Kim YH.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Gajin Kim (First author)

<https://orcid.org/0009-0009-6474-3229>

Yoonjeong Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-1328-5354>

Jina Lee

<https://orcid.org/0009-0005-0815-0649>

Jihyeon Yu

<https://orcid.org/0009-0002-8529-2315>

Daejung Kim

<https://orcid.org/0000-0001-8324-5502>

Younghwa Kim (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-4186-887X>

References

- Ahmed HM. Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological investigations of *Perilla frutescens* (L.) Britt. *Molecules*, 24, 102 (2018)
- Andargie M, Vinas M, Rathgeb A, Moller E, Karlovsky P. Lignans of sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review. *Molecules*, 26, 883 (2021)
- Apers S, Vlietinck A, Pieters L. Lignans and neolignans as lead compounds. *Phytochem Rev*, 2, 201-217 (2003)
- Blondeau N, Lipsky RH, Bourourou M, Duncan MW, Gorelick PB, Marini AM. Alpha-Linolenic acid: An omega-3 fatty acid with neuroprotective properties—Ready for use in the stroke clinic? *BioMed Res Int*, 2015, 519830 (2015)
- Chen X, Huang W, Wang L. Process optimization in the extract of perilla seed oil with plant protein hydrolysate complex enzyme. *Food Sci Technol*, 42, e54722 (2022)
- Cho YS, Kim BK, Park JK, Jeong JW, Jeong SW, Lim JH. Influence of thermal treatment on chemical changes in cold-pressed perilla seed oil. *Food Sci Preserv*, 16, 884-892 (2009)
- Dossou SSK, Deng Q, Li F, Jiang N, Zhou R, Wang L, Li D, Tan M, You J, Wang L. Comparative metabolomics analysis of different perilla varieties provides insights into variation in seed metabolite profiles and antioxidant activities. *Foods*, 12, 4370 (2023)
- Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem*, 12, 239-243 (1912)
- Grzesik M, Naparło K, Bartosz G, Sadowska-Bartosz I. Antioxidant properties of catechins: Comparison with other antioxidants. *Food Chem*, 241, 480-492 (2018)
- Gu S, Choi N, Son Y, Park JY, Choi SG, Lee MH, Kim HJ. Metabolomic analysis of perilla seeds harvested from Korea and China. *Korean J Food Sci Technol*, 51, 411-419 (2019)
- Ha H, Hwang IA, Park JH, Lee HB. Role of reactive oxygen species in the pathogenesis of diabetic nephropathy. *Diabetes Res Clin Prat*, 82, S42-S45 (2008)
- Hamade K, Fliniaux O, Fontaine JX, Molinier R, Ootogo Nnang E, Bassard S, Guenin S, Gutierrez L, Laine E, Hano C, Pilard S, Hijazi A, El Kak A, Mesnard F. NMR and LC-MS-based metabolomics to study osmotic stress in lignan-deficient flax. *Molecules*, 26, 767 (2021)
- He J, Xu L, Yang L, Wang X. Epigallocatechin gallate is the most effective catechin against antioxidant stress via hydrogen peroxide and radical scavenging activity. *Med Sci Monit*, 24, 8198 (2018)
- Hou NC, Gao HH, Qiu ZJ, Deng YH, Zhang YT, Yang ZC, Gu LB, Liu HM, Zhu XL, Qin Z, Wang XD. Quality and active constituents of safflower seed oil: A comparison of cold pressing, hot pressing, soxhlet extraction and subcritical fluid extraction. *LWT*, 200, 116184 (2024)
- Huang J, Chen C, Song Z, Chang M, Yao L, Jin Q, Wang X. Effect of microwave pretreatment of perilla seeds on minor bioactive components content and oxidative stability of oil. *Food Chem*, 388, 133010 (2022)
- Huang J, Xu Y, Chen C, Song Z, Chang M, Wang X, Wang X. Effect of infrared roasting of perilla seeds on the content of bioactive components and antioxidant capacity in oil. *J Am Oil Chem Soc*, 101, 513-522 (2024)
- Jarošová M, Lorenc F, Bedrníček J, Petrášková E, Bjelková M, Bártová V, Jarošová E, Zdráhal Z, Kyselka J, Smetana P, Kadlec J, Stupková A, Bárta J. Comparison of yield characteristics, chemical composition, lignans content and antioxidant potential of experimentally grown six linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. *Plant Foods Hum Nutr*, 79, 159-165 (2024)
- Jung DM, Yoon SH, Jung MY. Chemical properties and oxidative stability of perilla oils obtained from roasted perilla seeds as affected by extraction methods. *J Food Sci*, 77, C1249-C1255 (2012)
- Jung TD, Shin GH, Kim JM, Oh JW, Choi SI, Lee JH, Cho ML, Heo IY, Jung CS, Lee OH. Changes in lignan content and antioxidant activity of fermented sesame (*Sesame indicum* L.) by cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 45, 143-148 (2016)
- Kim MY, Kim S, Kim JI, Oh E, Kim SW, Lee J, Lee E, Lee MH. Antioxidant and hepatoprotective effects of different varieties of sesame (*Sesamum indicum* L.) with variation in lignan content. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 51, 660-670 (2022a)
- Kim YH, Chang JH, Ha SY, Park SJ, Park SY, Jung TH, Shin KO. Analysis of nutrients and antioxidants of sterilized and non-heat-pressed perilla oil. *Korean J Food Sci Technol*, 54, 264-271 (2022b)
- Lee MH, Kim SS, Cho CW, Choi SY, In G, Kim KT. Quality and characteristics of ginseng seed oil treated using different extraction methods. *J Ginseng Res*, 37, 468 (2013)
- Li J, Ma X, Luo L, Tang D, Zhang L. The what and who of dietary lignans in human health: Special attention to

- estrogen effects and safety evaluation. *J Agric Food Chem*, 71, 16419-16434 (2023)
- Lia F, Baron B. Analysis of polyphenolic composition, antioxidant power and stress-response effects of fractionated perilla leaf extract on cells *in vitro*. *Biologics*, 5, 2 (2025)
- Litwinienko G, Ingold KU. Solvent effects on the rates and mechanisms of reaction of phenols with free radicals. *Acc Chem Res*, 40, 222-230 (2007)
- Muflihah YM, Gollavelli G, Ling YC. Correlation study of antioxidant activity with phenolic and flavonoid compounds in 12 Indonesian indigenous herbs. *Antioxidants*, 10, 1530 (2021)
- Park JE, Kim JI, Lee MH, Kim S, Oh E, Cho KS, Oh KW. Influence of roasting temperature on the functional components of perilla and sesame oils. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 149-154 (2021)
- Park MH, Seol NG, Chang PS, Yoon SH, Lee JH. Effects of roasting conditions on the physicochemical properties and volatile distribution in perilla oils (*Perilla frutescens* var. *japonica*). *J Food Sci*, 76, C808-C816 (2011)
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*, 26, 1231-1237 (1999)
- Rożańska MB, Kowalczewski PŁ, Tomaszewska-Gras J, Dwiecki K, Mildner-Szkudlarz S. Seed-roasting process affects oxidative stability of cold-pressed oils. *Antioxidants*, 8, 313 (2019)
- Sargi SC, Silva BC, Santos HMC, Montanher PF, Boeing JS, Santos Junior OO, Souza NE, Visentainer JV. Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: Chia, flax, and perilla. *Food Sci Technol*, 33, 541-548 (2013)
- Schieber M, Chandel NS. ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Curr Biol*, 24, R453-R462 (2014)
- Seo HY, Seo WD, Seo SY. Antioxidant activities of Korean perilla leaves (*Perilla frutescens*) by various cultivars. *Korean J Food Nutr*, 35, 453-463 (2022)
- Siger A, Józefiak M, Górnaś P. Cold-pressed and hot-pressed rapeseed oil: The effects of roasting and seed moisture on the antioxidant activity, canolol, and tocopherol level. *Acta Sci Pol Technol Aliment*, 16, 69-81 (2017)
- Takeuchi H, Sakurai C, Noda R, Sekine S, Murano Y, Wanaka K, Kasai M, Wantanabe S, Aoyama T, Kondo K. Antihypertensive effect and safety of dietary α -linolenic acid in subjects with high-normal blood pressure and mild hypertension. *J Oleo Sci*, 56, 347-360 (2007)
- Wang S, Hwang H, Yoon S, Choe E. Temperature dependence of autoxidation of perilla oil and tocopherol degradation. *J Food Sci*, 75, C498-C505 (2010)
- Wei MC, Wang CS, Wei DH, Yang YC. Insights into the supercritical CO₂ extraction of perilla oil and its theoretical solubility. *Processes*, 9, 239 (2021)
- Wu WH. The contents of lignans in commercial sesame oils of Taiwan and their changes during heating. *Food Chem*, 104, 341-344 (2007)
- Yang L, Yuan J, Liu L, Shi C, Wang L, Tian F, Liu F, Wang H, Shao C, Zhang Q, Chen Z, Qin W, Wen W. α -linolenic acid inhibits human renal cell carcinoma cell proliferation through PPAR- γ activation and COX-2 inhibition. *Oncol Lett*, 6, 197-202 (2013)
- Zamani Ghaleshahi A, Ezzatpanah H, Rajabzadeh G, Ghavami M. Comparison and analysis characteristics of flax, perilla and basil seed oils cultivated in Iran. *J Food Sci Technol*, 57, 1258-1268 (2020)
- Zhao T, Hong S, Lee J, Lee J, Kim I. Impact of roasting on the chemical composition and oxidative stability of perilla oil. *J Food Sci*, 77, C1273-C1278 (2012)
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem*, 64, 555-559 (1999)