J Korean Soc Food Sci Nutr
45(1), 143~148(2016)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2016.45.1.143

생물전환에 의한 품종별 참깨 발효물의 Lignan 함량과 항산화 활성 변화

– 연구노트 –

정태동[1] · 신기해[1] · 김재민[1] · 오지원[1] · 최선일[1] · 이진하[1] · 조명래[1]
이상종[2] · 허인영[2] · 박선주[2] · 김성업[3] · 정찬식[3] · 이옥환[1]

[1]강원대학교 식품생명공학과
[2](주)에스티알바이오텍
[3]국립식량과학원 남부작물부

Changes in Lignan Content and Antioxidant Activity of Fermented Sesame (*Sesame indicum* L.) by Cultivars

Tae-Dong Jung[1], Gi-Hae Shin[1], Jae-Min Kim[1], Ji-Won Oh[1], Sun-Il Choi[1], Jin-Ha Lee[1], Myoung-Lae Cho[1], Sang Jong Lee[2], In Young Heo[2], Seon Ju Park[2], Sung-Up Kim[3], Chan-Sik Jung[3], and Ok-Hwan Lee[1]

[1]*Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University*
[2]*STR Biotech Co., LTD.*
[3]*Department of Southern Area Crop Science, NICS, RDA*

ABSTRACT This study investigated the lignan content, total phenol content, and antioxidant activities [2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging and oxygen radical absorbance capacity (ORAC)] of fermented sesame by cultivars. The results showed that the lignan contents of fermented and non-fermented sesame ranged from 2.35~6.58 mg/g and 2.17 to 6.58 mg/g, respectively. The highest total phenol contents of fermented and non-fermented sesame were 51.90 mg gallic acid equivalent (GAE)/g and 25.94 mg GAE/g, respectively. DPPH radical scavenging and ORAC value ranged from 37.95 to 82.57% and from 172.34 to 1,067.80 μM TE/g in non-fermented sesame and fermented sesame, respectively. Fermented sesame had higher lignan content, total phenol content and antioxidant activities. than those of non-fermented sesame. Fermented sesame subjected to bioconversion showed increased lignan content and high antioxidant activity.

Key words: *Sesame indicum* L., lignan, total phenolic content, antioxidant activity, bioconversion

서 론

참깨(*Sesame indicum* L.)는 참깨과(Pedaliaceae)의 1년생 초본식물로 *Sesamum* 속은 30종 이상으로 분류되며 주요 재배종은 *Sesame indicum* L.이다(1). 참깨는 동양 국가에서 노화를 방지하는 건강식품으로 오랜 기간 널리 이용되어 왔으며(2), 참깨의 원산지는 고온 열대의 아프리카 지역으로 추정되며 현재는 세계 각지의 고온 열대 지역에서 광범위하게 재배되고 있다(1). 참깨 종자는 흑색, 백색, 황색, 갈색 등 다양한 종피색을 가지며 이러한 품종에 따라 유효성분 함량에 차이가 보고되었다(3,4). 일반적인 참깨의 성분은 지질 44~58%, 단백질 18~25%, 탄수화물 13.5%, 회분 5%로 구성되어 있으며, 참깨의 특이한 성분인 sesamol, sesamin, sesamolin, sesaminol과 같은 lignan 화합물이 함유되어 있어 체내에서 항산화 작용과 같은 생리활성을 보인다고 알려져 있다(5,6). 현재까지 보고된 lignan 화합물의 생리활성으로는 항산화(7), 항염증(8) 및 피부 미백과 피부 보호 효과(9), 신경 세포 보호 효과(10), 방사선에 의한 DNA 손상 및 지질 과산화물 생성 억제(11), LPS를 투여하여 패혈증을 유발한 rats에서 나타난 패혈증 억제 효과(12) 등의 연구가 활발히 이루어지고 있다.

생체 내에서 대사과정 중 발생하는 superoxide anion radical, hydroxyl radical, singlet oxygen, hydrogen peroxide, nitric oxide 등과 같은 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)은 체내 DNA, 단백질, 세포 분자들의 산화적 손상을 유발하여 암, 심혈관계 질환, 피부 노화, 당뇨 등과 같은 다양한 질병을 유발하는 원인이 된다(13, 14). 최근 건강에 대한 관심이 증가하면서 산화적 스트레스를 감소시키는 천연 항산화제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(15).

생물전환(bioconversion)이란 생물공정(bioprocessing),

Received 17 September 2015; Accepted 12 October 2015
Corresponding author: Ok-Hwan Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon 24341, Korea
E-mail: loh99@kangwon.ac.kr, Phone: +82-33-250-6454

생물변환(biotransformation), 생합성(biosynthesis) 그리고 생촉매(biocatalysis) 등의 용어와 동일한 의미를 가지며 미생물 발효 및 효소처리 등의 생물학적 방법을 통해 천연물이 함유하고 있는 생리활성 물질의 구조적 변화를 유도하여 유용 성분의 생성을 유도하는 기술이다. 기존의 발효공정과 비교하였을 때 상대적으로 간단한 원료물질에서 출발하는 발효공정에 비해 생물전환 공정은 미생물 또는 효소의 기질에 대한 선택성을 이용하여 전구물질로부터 산물을 생산한다는 점에서 차이를 보이고 있으며, 특히 의약품이나 화장품의 유용성, 효과성을 향상시키는 데 이용되고 있다(16). 이러한 기술을 이용한 연구는 생물전환에 의한 상백피 추출물의 피부 미백 효과(17), 대두 추출물의 비배당체 이소플라본의 aglycone 전환(18) 등이 보고되고 있다. 하지만 생물전환을 통한 참깨의 연구는 매우 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 생물전환을 통한 참깨 발효물의 기능성 성분의 증가와 관련된 lignan 함량의 분석, 총 페놀 함량 및 항산화 효능(DPPH radical 소거능 및 ORAC)을 비교 평가하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

본 실험에서 사용한 참깨 시료는 품종별 5종(Table 1)으로 2014년에 수확된 참깨를 국립식량과학원(Milyang, Korea)에서 제공받아 사용하였다. Sesamol, sesamin, sesamolin은 Chengdu Biopurify Phytochemicals Ltd. (Chengdu, China)에서 구입하였다. Folin-Ciocalteu's phenol reagent, sodium carbonate, gallic acid, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2'-azobis(2-methylpropionamidine) dihydrochloride(AAPH), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid(Trolox) 등은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였으며, Fluorescein(sodium salt)은 Junsei Chemical(Tokyo, Japan)에서 구입하여 사용하였으며, HPLC용 용매 methanol은 J.T. Baker(Phillipsburg, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였다.

참깨의 생물전환

참깨를 효소처리 및 멸균과정을 거쳐 배양배지화한 액상 참깨에 표고균사를 접종하여 표고균사에 의한 생물전환 발효공정을 통해 참깨 발효물을 생산한 후 2차 생물전환 공정의 효소처리 공정을 수행하였다. 생물전환 발효공정에 있어서 발효미생물로 선정한 표고버섯 균사의 접종량 및 배양시간을 최적화하기 위하여 종균배양에서의 growth curve fitting을 통해 각 발효미생물의 배양상태를 확인하고 growth curve에서 cell mass 농도에 따라 3 point를 선정하였으며, 접종량은 각각 10%, 20%를 본 발효배양에 접종하여 배양시간 및 접종량을 비교하여 최적화를 진행하였다.

효소처리 생물전환 공정 최적화를 위해 배양 기질인 참깨와 발효 배양산물인 배양균사체의 세포벽을 구성하고 있는 성분 중 유용물질을 세포벽으로부터 효율적으로 추출하기 위하여 cellulase, hemi-cellulase, pectinase, β-glucanase, β-glucosidase, lysozyme 등 다양한 세포벽 분해효소를 사용하여 공정 최적화 실험을 수행하였다. 사용된 효소는 0.1~0.2, 1~2%로 첨가하여 50~60°C 조건에서 1~3시간 동안 shaking(250 rpm) 하여 효소/기질 반응을 수행하였다.

참깨 생물전환산물의 회수는 추출 및 제제화 작업 후 동결건조하여 분말을 수득하여 실험에 사용하였다.

Table 1. The characteristics of *Sesame indicum* L. by cultivar

No.	Cultivar	Seed coat	Crop year
S-1	Pyeongan	White	2014.08
S-2	Geonbaek	White	2014.08
S-3	Jinyul	Brown	2014.08
S-4	Kangheuk	Black	2014.08
S-5	Kangan	White	2014.08

추출물 제조

참깨 추출물은 2.5 g의 시료에 50 mL methanol을 첨가한 후 60분간 Sonicator(JAC Utrasonic, KODO, Hwaseong, Korea)를 사용하여 추출하였다. 추출 후 원심분리기(3,000 rpm, 10분)를 사용하여 추출물의 고형성분을 제거한 다음 -20°C에서 보관하며 사용하였다.

Lignan 화합물 분석

참깨에 함유된 Lignan 화합물을 분석하기 위하여 추출물 시료를 0.45 μm syringe filter(Whatman, Maidstone, UK)로 여과 후 HPLC 분석에 사용하였다. Lignan 화합물의 HPLC 분석은 식품첨가물 규정 방법(19)에 준하여 실시하였으며 분석에 사용한 기기는 Waters 2695 Separation Module HPLC system과 Waters 996 Photodiode Array Detector(Waters Co., Milford, MA, USA)로 분석용 column은 Sunfire™ C_{18}(4.6 mm×250 mm, 5.0 μm, Waters Co.)을 사용하였으며, 조건은 Table 2와 같다.

총 페놀 함량 측정

총 페놀 함량 측정은 Kaur와 Kapoor(20)의 방법을 변형

Table 2. HPLC condition of Lignan analysis for *Sesame indicum* L. extracts

Instrument	Conditions
Column	Sunfire™ C_{18} 4.6×250 mm, 5.0 μm
Detector	Waters 996 Photodiode Array Detector 285 nm
Mobile phase (isocratic)	MeOH : Water (80:20, v/v)
Flow rate	0.7 mL/min
Run time	30 min
Injection volume	10 μL

하여 측정하였다. 각 시료 1 mL에 10% Folin-Ciocalteu's phenol reagent 1 mL를 첨가 후 2% Na_2CO_3 용액을 넣고 혼합하여 암소에서 1시간 동안 방치하였다. 그리고 microplate reader(SpectraMax i3, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 이용하였으며 표준 검량 곡선(y=17.662x−0.0312, R^2=0.9979)으로부터 총 페놀 함량을 계산하였다.

DPPH radical 소거능 측정

DPPH radical 소거능은 Mensor 등(21)의 방법을 변형하여 측정하였다. 각 시료 0.2 mL에 ethanol로 용해한 0.4 mM DPPH 용액 0.8 mL를 첨가하여 혼합한 후 암소에서 10분간 반응하였다. 그리고 microplate reader를 사용하여 517 nm에서 흡광도 값을 측정한 후 시료의 DPPH radical 소거능은 다음 식에 의해 나타내었다.

$$\text{DPPH radical 소거능(\%)} = \left(1 - \frac{A_{Experiment}}{A_{Control}}\right) \times 100$$

ORAC 지수 측정

ORAC assay는 시료 중 존재하는 항산화 활성 물질의 양을 측정하는 방법으로 peroxy radical의 생성과 소멸에 의한 형광의 감소율로 Huang 등(22)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료, 표준물질의 제조 및 농도별 희석은 75 mM sodium phosphate buffer(pH 7.4)를 이용하였다. 96-well black plate에 시료 25 μL와 40 nM fluorescein 150 μL에 첨가하였다. 측정 직전 과산화 라디칼 생성제인 144 mM AAPH 25 μL를 첨가한 다음 fluorescence microplate reader(SpectraMax i3, Molecular Devices)를 이용하여 excitation 485 nm, emission 535 nm의 조건으로 37°C에서 90분 동안 3분 간격으로 형광의 감소율을 측정하였다. 결과 값은 시료 첨가구와 무 첨가구의 area under curve (AUC) 값을 나타낸 후, 표준물질인 Trolox를 이용하여 표준 검량 곡선(y=1.0051x+0.1996, R^2=0.9974)에 대입하여 나타내었다.

$$\text{Area under curve (AUC)} = 1 + f1/f0 + f2/f0 + f3/f0 + f4/f0 + \ldots f31/f0$$

통계처리

Lignan 함량, 총 페놀 함량, 항산화 활성 결과 값의 통계처리는 SAS version 9.4(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 분석하였다. 유의성 분석은 one-way ANOVA 검정을 실시하였으며 Duncan의 다중범위 검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의성은 $P<0.05$ 수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

생물전환을 통한 lignan 함량 변화

Lignan 화합물을 HPLC로 분석한 결과 sesamol, sesamin, sesamolin의 retention time이 각각 4.0, 9.0, 11.0분대로 분리되었다(Fig. 1).

참깨의 생물전환 공정을 통한 lignan 함량 변화는 Table 3과 같다. 가장 높은 lignan 함량을 보이는 참깨는 S-3 발효물로 6.58 mg/g의 함량을 나타냈으며 가장 적은 함량을 보이는 참깨는 S-4 비발효물 2.17 mg/g으로 lignan 함량에 있어서 상당한 차이를 보였다. 이는 흑색 참깨가 황색, 백색 참깨보다 적은 양의 lignan을 함유하고 있다는 Kim 등(3)과 Kang 등(4)의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. Sesamol의 경우 발효물과 비발효물에서 모두 검출되지 않았다. Fukuda 등(23)에 의하면 참기름의 가공공정 중 가열 시에 sesamolin 일부가 열에 의해 분해되어 sesamol로 변환된다고 알려져 있다. 본 연구에 사용된 참깨는 가열 처리가 이루어지지 않았기 때문에 Kim 등(24)의 연구 결과와 동일하게 sesamol이 검출되지 않은 것으로 보인다. 참깨 품종별 비발효물의 lignan 함량은 2.17~5.76 mg/g 사이의 값을 보였으며 sesamin은 0.78~2.48 mg/g, sesamolin은 1.33~3.39 mg/g의 값을 나타냈다. 참깨 품종별 발효물의 lignan 함량

Table 3. The content of sesamol, sesamin, sesamolin and lignan for 5 cultivars of non-fermented sesame and fermented sesame

Sample No.		Sesamol (mg/g)	Sesamin (mg/g)	Sesamolin (mg/g)	Lignan (mg/g)
S-1	NS[1)]	N/D[3)]	0.78±0.01[j4)]	1.68±0.01[h]	2.46±0.02[g]
	FS[2)]	N/D	0.81±0.01[i]	1.76±0.01[g]	2.57±0.02[f]
S-2	NS	N/D	2.48±0.00[c]	2.20±0.00[f]	4.68±0.01[d]
	FS	N/D	2.83±0.00[a]	2.56±0.01[c]	5.40±0.01[c]
S-3	NS	N/D	2.37±0.00[d]	3.39±0.01[b]	5.76±0.01[b]
	FS	N/D	2.67±0.02[b]	3.91±0.15[a]	6.58±0.17[a]
S-4	NS	N/D	0.84±0.01[h]	1.33±0.01[j]	2.17±0.01[i]
	FS	N/D	0.89±0.01[g]	1.46±0.04[i]	2.35±0.05[h]
S-5	NS	N/D	1.94±0.00[f]	2.25±0.01[e]	4.18±0.01[e]
	FS	N/D	2.17±0.00[e]	2.51±0.00[d]	4.68±0.11[d]

[1)]Non-fermented sesame. [2)]Fermented sesame. [3)]Not detect.
[4)]Means with the different letters are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

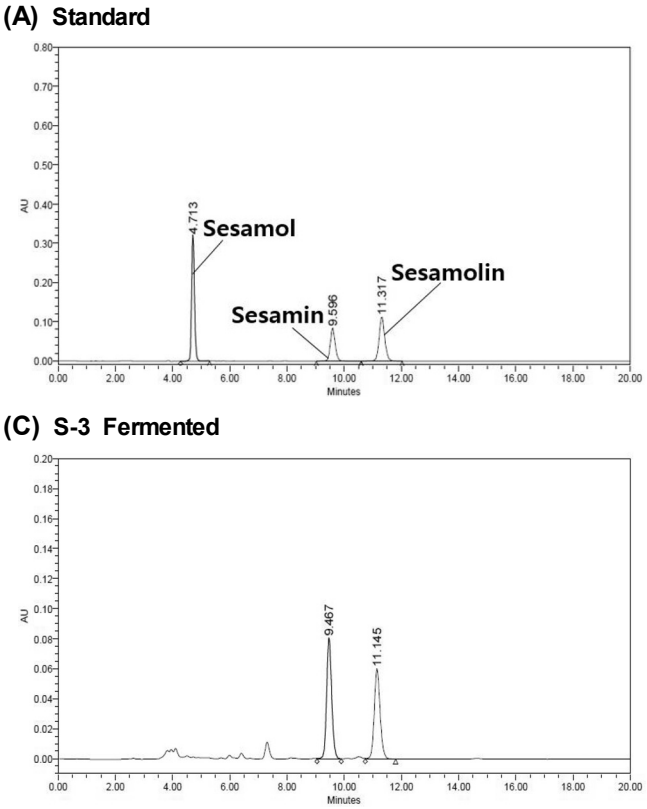

Fig. 1. HPLC chromatograms of sesamol, sesamin, sesamolin Standard (A), non-fermented S-3 extracts (B), and fermented S-3 extracts (C).

은 2.35~6.58 mg/g, sesamin은 0.81~2.83 mg/g, sesamolin은 1.46~3.91 mg/g 값을 보였다. 생물전환을 통해 발효된 참깨에서 lignan 함량이 유의적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

총 페놀 함량

페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 물질로 두 개 이상의 hydroxyl group(-OH)를 가지는 방향족 화합물이며 페놀성 화합물의 수산기는 자유 라디칼에 수소 원자를 환원하며 체내에서 항균, 항산화, 항염증 및 항알레르기 등과 같은 생리활성을 가지고 있다고 보고되었다(25). 생물전환에 의한 품종별 참깨의 총 페놀 함량을 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 총 페놀 함량은 생물전환을 통한 발효 참깨 S-2, S-3이 각각 51.90, 51.65 mg GAE(gallic acid equivalent)/g으로 비발효 참깨에 비해 약 2배가량 높게 나타났다. 비발효 참깨의 총 페놀 함량은 Shahidi 등(26)의 연구와 비슷한 경향을 나타내었다. 참깨 S-5의 경우 발효 전 16.70 mg GAE/g으로 나타났으나 발효 시 46.70 mg GAE/g으로 약 3배 정도 함량이 증가하였다. 이는 버섯균사체를 이용한 더덕 차 발효 시 총 페놀 함량이 비발효 대조구에 비해 약 2배 이상 높게 증가한 보고(27)와 유사한 결과로 버섯균사에 의해 유용성분이 증가하는 것으로 사료된다.

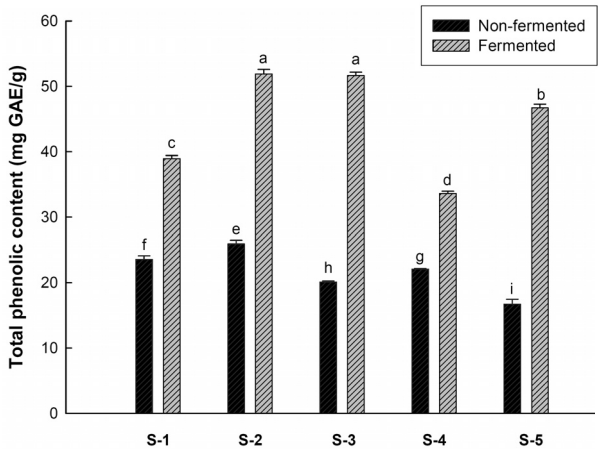

Fig. 2. Total phenol contents of non-fermented sesame extracts and fermented sesame extracts. Total phenol content expressed as gallic acid equivalent (mg GAE/mL). Each bar represents the mean±SD of triplicate determinations, n=3. Means not sharing a common letter (a-i) above the bars are significantly different (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

DPPH radical 소거능 및 ORAC 지수 측정

DPPH radical 소거능은 안정적인 자유 라디칼 DPPH 시약을 이용하여 페놀성 화합물, 방향족 아민류 등의 항산화 성분과 반응 시 라디칼이 소거되어 보라색 화합물이 노란색으로 탈색되는 원리를 이용하는 측정방법(28)으로 오일, 과일, 주스, 와인 등 식품의 항산화 활성 측정에 광범위하게 이용된다(29). 생물전환에 의한 품종별 참깨의 DPPH radical 소거능을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 측정 결과는 37.95~82.57% 범위로 나타났다. 생물전환을 통한 발효 참

Table 4. Antioxidant activity of non-fermented sesame and fermented sesame

Sample No.	DPPH (%)		ORAC (μM TE[1)]/g)	
	NS[2)]	FS[3)]	NS	FS
S-1	44.71±0.86[f4)]	67.70±1.25[e]	282.25±6.83[h]	834.98±8.94[c]
S-2	46.08±0.41[f]	74.04±1.33[c]	588.00±9.61[f]	1,067.80±41.85[a]
S-3	41.14±1.24[g]	82.57±1.15[a]	726.97±17.87[e]	997.19±22.99[b]
S-4	44.69±0.41[f]	71.48±0.96[d]	172.34±6.31[i]	1,020.03±11.03[b]
S-5	37.95±0.37[h]	77.73±0.47[b]	399.72±5.72[g]	771.49±33.70[d]

[1)]Data are expressed as μM Trolox equivalents (TE). [2)]Non-fermented sesame. [3)]Fermented sesame.
[4)]Means with the different letters are significantly different (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

깨 S-3에서 가장 높은 82.57%로 가장 높은 DPPH radical 소거 활성을 보였으며 비발효 참깨 S-5에서 37.95%의 가장 낮은 값을 보였으나 발효 시 radical 소거능이 77.73%로 증가하여 두 번째로 높은 활성을 나타냈다. 이는 총 페놀 함량과 유사한 결과로 총 페놀 함량이 가장 높았던 참깨 발효물 S-3(51.65 mg GAE/g)에서 DPPH radical 소거능이 가장 높게 나타났다.

ORAC assay는 식품에 함유되어 있는 항산화 물질의 free radical 소거 능력을 측정하여 total antioxidant capacity를 평가하기 위한 방법으로 radical chain reaction의 핵심단계인 수소 전자 전달과 연관하여 hydrophilic 성분과 hydrophobic 성분에 모두 반응하기 때문에 감도가 우수하며 응용범위가 넓다(30,31).

ORAC 지수를 측정한 결과(Table 4) 생물전환을 통한 발효 참깨 S-2에서 1,067.80 μM TE/g으로 가장 높게 나타났으며, 그다음으로 발효 참깨 S-3, S-4에서 각각 997.19, 1,020.03 μM TE/g으로 나타났다. 발효 참깨 S-4의 경우 비발효물에서 172.34 μM TE/g을 나타냈지만 발효 시 약 6배의 활성을 증가시켰다. ORAC 지수도 총 페놀 함량, DPPH radical 소거능의 결과와 유사하게 생물전환에 의한 참깨 발효 시 약 1.5~6배의 활성을 증가시킴을 확인할 수 있었다. Kang 등(32)은 시료 중 환원력이 높은 페놀성 화합물이나 flavonoid에 의하여 높은 전자공여능을 나타내며 전자공여능이 높을수록 강한 항산화 활성을 나타낸다고 보고하였다. 따라서 앞선 결과와 같이 생물전환을 통한 참깨 발효 시 페놀 성분의 증대로 항산화 활성이 증대된 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 생물전환에 의한 품종별 참깨의 lignan 함량, 총 페놀 함량, 항산화 활성(DPPH radical 소거능, ORAC 지수)을 측정하였다. 그 결과 lignan 함량은 생물전환에 의한 발효 참깨 S-3가 6.58 mg/g으로 가장 높았으며 비발효 참깨 S-4가 2.17 mg/g으로 가장 낮은 수치를 나타냈다. 생물전환을 통한 발효 시 5가지 품종별 참깨 모두 lignan 함량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 총 페놀 함량은 발효 참깨 S-2, S-3가 51.90 51.65 mg GAE/g으로 가장 높았고, 비발효 참깨 S-5가 16.70 mg GAE/g으로 가장 낮았으나 발효 시 46.70 mg GAE/g으로 나타나 약 3배 이상의 증가된 함량을 보였다. DPPH radical 소거능은 총 페놀 함량과 마찬가지로 발효 참깨 S-3에서 82.57%로 가장 높은 DPPH radical 소거능을 나타냈으며, 비발효 참깨 S-5에서 37.95%의 가장 낮은 소거능을 나타냈다. ORAC 지수의 경우는 발효 참깨 S-2에서 1,067.80 μM TE/g으로 가장 높은 활성을 보였고 그다음 발효 참깨 S-3, S-4가 각각 997.19, 1,020.03 μM TE/g으로 나타났다. 비발효 참깨 S-5에서 172.34 μM TE/g으로 가장 낮게 나타났으나 발효 시 1,020.03 μM TE/g으로 확연히 증가하였다. 본 연구 결과를 종합하여 볼 때 생물전환에 의한 참깨 발효 시 lignan 함량의 증가와 다양한 항산화 모델에서 효능을 증대시키는 것으로 나타나 건강기능식품, 기능성 원료로써 활용 가능성이 높을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 농림축산식품부 고부가가치식품기술사업(과제번호 314076-3)에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Makinde FM, Akinoso R. 2014. Comparison between the nutritional quality of flour obtained from raw, roasted and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed grown in Nigeria. *Acta Sci Pol Technol Aliment* 13: 309-319.
2. Suja KP, Jayalekshmy A, Arumughan C. 2005. Antioxidant activity of sesame cake extract. *Food Chem* 91: 213-219.
3. Kim SU, Oh KW, Lee MH, Lee BK, Pae SB, Hwang CD, Kim MS, Baek IY, Lee JD. 2014. Variation of lignan content for sesame seed across origin and growing environments. *Korean J Crop Sci* 59: 151-161.
4. Kang MH, Oh MK, Bang JK, Kim DH, Kang CH, Lee BH. 2000. Varietal difference of lignan contents and fatty acids composition in Korean sesame cultivars. *Korean J Crop Sci* 45: 203-206.
5. Kamal Eldin A, Appelqvist LÅ. 1994. Variation in fatty acid composition of the different acyl lipids in seed oils from four *Sesamum* species. *J Am Chem Soc* 71: 135-139.
6. Kikugawa K, Arai M, Kurechi T. 1983. Participation of sesamol in stability of sesame oil. *J Am Chem Soc* 60: 1528-

1533.
7. Esmaeilzadeh Kenari R, Mohsenzadeh F, Amiri ZR1. 2014. Antioxidant activity and total phenolic compounds of Dezful sesame cake extracts obtained by classical and ultrasound-assisted extraction methods. *Food Sci Nutr* 2: 426-435.
8. Lee HJ, Son DJ, Kang MH, Lee BC, Hong JT. 2006. Effect of lignan compound of sesame on LPS-induced nitric oxide generation in murine macrophage RAW 264.7 cells. *J Soc Cosmet Scientists Korea* 32: 173-180
9. Srisayam M, Weerapreeyakul N, Barusrux S, Kanokmedhakul K. 2014. Antioxidant, antimelanogenic, and skin-protective effect of sesamol. *J Cosmet Sci* 65: 69-79.
10. Hou RC, Huang HM, Tzen JT, Jeng KC. 2003. Protective effects of sesamin and sesamolin on hypoxic neuronal and PC12 cells. *J Neurosci Res* 74: 123-133.
11. Prasad NR, Menon VP, Vasudev V, Pugalendi KV. 2005. Radioprotective effect of sesamol on gamma-radiation induced DNA damage, lipid peroxidation and antioxidants levels in cultured human lymphocytes. *Toxicology* 209: 225-235.
12. Hsu DZ, Chen KT, Li YH, Chuang YC, Liu MY. 2006. Sesamol delays mortality and attenuates hepatic injury after cecal ligation and puncture in rats: role of oxidative stress. *Shock* 25: 528-532.
13. Dröge W. 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol Rev* 82: 47-95.
14. Bokov A, Chaudhuri A, Richardson A. 2004. The role of oxidative damage and stress in aging. *Mech Ageing Dev* 125: 811-826.
15. Kähkönen MP, Hopia AI, Heinonen M. 2001. Berry phenolics and their antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 49: 4076-4082.
16. Cho YH, Cho JS, Lee GW. 2011. Antioxidant activity of wood vinegar by bioconversion. *JKAIS* 12: 4434-4442.
17. Kim EJ, Moon JS, Choe TB. 2013. Inhibition of tyrosinase by bio-conversion *Morus alba* extract. *Kor J Aesthet Cosmetol* 11: 845-854.
18. Na EJ, Moon JS. 2015. Studies on the biological activities of the bioconversioned soybean extracts. *J Kor Soc Cosm* 21: 82-92.
19. KFDA. 2014. *Korea Food Additives Code*. Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea. p 1238-1239.
20. Kaur C, Kapoor HC. 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. *Int J Food Sci Technol* 37: 153-161.
21. Mensor LL, Menezes FS, Leitão GG, Reis AS, dos Santos TC, Coube CS, Leitão SG. 2001. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytother Res* 15: 127-130.
22. Huang D, Ou B, Hampsch-Woodill M, Flanagan JA, Prior RL. 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *J Agric Food Chem* 50: 4437-4444.
23. Fukuda Y, Nagata M, Osawa T, Namiki M. 1986. Chemical aspects of the antioxidative activity of roasted sesame seed oil, and the effect of using the oil for frying. *Agric Biol Chem* 50: 857-862.
24. Kim BK, Lim JH, Cho YS, Park KJ, Kim JC, Jeong JW, Jeong SW. 2008. Study on characteristics of cold-pressed sesame oil and virgin sesame oil. *J East Asian Soc Dietary Life* 18: 812-821.
25. Zainol MK, Abd-Hamid A, Yusof S, Muse R. 2003. Antioxidative activity and total phenolic compounds of leaf, root and petiole of four accessions of *Centella asiatica* (L.) Urban. *Food Chem* 81: 575-581.
26. Shahidi F, Liyana-Pathirana CM, Wall DS. 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chem* 99: 478-483.
27. Lee JY, Kim BK, Park HJ. 2013. Antioxidant activities and quality characteristics of fermented *Codonopsis lanceolata* tea according to heating processes. *Korean J Food & Nutr* 26: 693-699.
28. Foti MC, Daquino C, Geraci C. 2004. Electron-transfer reaction of cinnamic acids and their methyl esters with the DPPH· radical in alcoholic solutions. *J Org Chem* 69: 2309-2314.
29. Villaño D, Fernández-Pachón MS, Moyá ML, Troncoso AM, García-Parrilla MC. 2007. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta* 71: 230-235.
30. Huang D, Ou B, Prior RL. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agric Food Chem* 53: 1841-1856.
31. Kim SH, Kim YM. 2007. Determination of the antioxidant capacity of Korean ginseng using an ORAC assay. *J East Asian Soc Dietary Life* 17: 393-401.
32. Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Tehcnol* 28: 232-239.