

참깨 원산지 및 재배지역에 따른 리그난 함량 변이

김성업*[†] · 오기원* · 이명희* · 이병규* · 배석복* · 황정동* · 김명식* · 백인열* · 이정동**

*농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부, **경북대학교

Variation of Lignan Content for Sesame Seed Across Origin and Growing Environments

Sung-Up Kim*[†], Ki-Won Oh*, Myoung-Hee Lee*, Byoung-Kyu Lee*, Suk-Bok Pae*, Chung-Dong Hwang*,
Myung-Sik Kim*, In-Youl Baek*, and Jeong-Dong Lee**

*Department of Functional Crops, NICS, RDA, Miryang 627-803, Korea

**Division of Plant Biosciences Major in Agronomy, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

ABSTRACT Sesame lignan, including sesamin and sesamol, has been reported to have various content according to accessions and environmental factors. The objective of this study were to analyze the lignan variation of 143 sesame accessions from core collection in Korea and to test the effects of growing years and locations on lignan and lipid content of Korea sesame elite lines.

The results showed that the core sesame germplasm in Korea has broad variation of lignan content from 2.33 to 12.17 mg/g with an average 8.18 mg/g. Among tested sesame accessions, the IT184615 had the highest lignan content of as 12.17 mg/g. So this accession will be a good genetic resource for developing a high lignan sesame variety. The sesamin and sesamol content for sesame accessions across origin had significant difference. The average lignan content of accessions collected from Russia (10.0 mg/g) and Nepal (9.08 mg/g) were relatively higher than other countries. The sesamin and sesamol content for sesame accessions across seed coat color had significant difference. The average lignan content of sesame with white, brown and black seed coat color was 8.61, 7.51, and 5.49 mg/g, respectively.

The variation of lignan and lipid content was significantly different across elite lines, locations and growing years. Therefore, it is important to find sesame accessions having high lignan content with environmental stability.

Keywords : sesame, lignan, variation, origin, location, year

참깨(*Sesamum indicum* L.)는 참깨과(Pedalidaceae)에 속하는 1년생 초본식물로서 참깨과는 16속 60종으로 분류되며 *Sesamum*속은 37종이 있으며 주요 재배종은 *Sesamum indicum* L. 이다(Weiss, 1983). 참깨의 원산지는 고온 건조한 에티오피아와 인도로 추정되며, 아프리카에서 동쪽으로, 인도에서 서쪽으로 전파되었다(Ashri *et al.*, 1998). 참깨의 주요 생산 국가는 인도, 미얀마, 수단, 중국이며, 전 세계 재배면적의 70%, 총생산량의 60%를 차지하고 있다(FAOSTAT, 2012).

참깨는 우리나라에서 유지작물로 재배되어 왔으며 깨소금, 참기름 등으로 많이 이용되고 있다. 한국의 참깨 재배면적은 1987년도 94,300ha를 정점으로 2012년도 25,076ha까지 줄었으며, 참깨 총 생산량은 1988년도 52,000톤에서 2012년도 9,690톤으로 줄어 현재 대부분을 수입에 의존하고 있다(KOSIS, 2013).

참깨 종자는 흑색, 회색, 갈색, 황색, 백색 등 다양하며 흑색 참깨에는 보통 회분과 탄수화물 함량이 높은 반면 단백질, 지방, 수분함량이 낮다고 한다(Kanu, 2011). 참깨 종피색은 종자의 생화학특성과 연관되어 항산화성분 함량과 활성, 병저항성 그리고 *Sesamum* 속의 진화마커 등과 관련된 매우 중요한 형질이다(Shahidi *et al.*, 2006; El-Bramawy *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2012).

일반적으로 참깨 종자에는 지방 50%, 단백질 20%, 탄수화물 15%, 리그난 0.5% 정도 함유되어 있으며, 참기름의 지방산 중 주성분은 불포화지방산인 올레인산, 리놀레산으로 이들은 혈액 중의 혈청콜레스테롤의 농도를 낮추어 동맥 경화를 예방하고, 혈압 상승을 억제하는 작용을 한다(Fukuda *et al.*, 1985; Ryu *et al.*, 1996; Shyu & Hwang, 2002).

[†]Corresponding author: (Phone) +82-55-350-1227 (E-mail) sesameup@korea.kr

<Received 16 March, 2014; Revised 25 March, 2014; Accepted 28 March, 2014>

특히 참깨 종자에 함유된 리그난 성분은 강력한 항산화 물질로서 참기름의 산패를 억제하여 저장안정성을 높일 뿐만 아니라 인체의 각종 혈관 질환을 예방하고 면역기능을 강화하는 역할을 한다. 참깨 종자로부터 분리된 리그난 성분에는 세사민, 세사몰린, 피노레지놀, 피페리톨, 코부신, 에피세사민, 세사미놀 등이 있고 주성분은 지용성인 세사민과 세사몰린이다(Osawa *et al.*, 1985; Fukuda *et al.*, 1986; Kato *et al.*, 1998). 세사민은 인체 내에서 뚜렷한 항산화 활성을 나타낸 것으로 보고되었는데 γ -토코페롤과 협동적으로 작용하여 쥐에서 비타민 E 활성을 생성하고 α -토코페롤이 적은 식단을 먹인 쥐에서 뚜렷한 비타민 E 활성 강화효과가 보고되었다(Yamashita *et al.*, 1992, 1995). 또한 비타민 E 뿐만 아니라 비타민 K 활성 강화효과도 보고되었다(Hanzawa *et al.*, 2013). 또한 세사민은 쥐의 간에서 지방산 산화를 유도하고 sterol regulatory element binding protein-1을 억제하여 지방산 합성을 감소시킨다고 한다(Ide *et al.*,

1999, 2001). 리그난의 생리활성에 관한 연구와 함께 최근에는 리그난 함량이 높은 참깨 품종이 개발되고 있다(Yasumoto *et al.*, 2006). Hata *et al.*(2010)은 참깨 잎에서 세사민 성분을 처음으로 검출하였고 리그난 함량이 높은 일본 참깨 품종 ‘고마조우’의 종자와 잎에서 CYP81Q1 유전자의 발현이 많다고 하였다. 따라서 생육초기에 참깨 잎에서 CYP81Q1 유전자의 발현 정도를 확인하여 세사민 함량이 높은 참깨 품종 선발이 가능하다고 하였다.

특정 성분 함량은 일반적으로 유전적인 영향을 많이 받지만 재배환경에도 영향을 받는데, 재배환경에 따른 특정 성분의 함량 변화에 관한 연구는 참깨, 벼, 보리, 밀, 콩 등 여러 작물에서 수행되어져왔다. Shim *et al.*(2010)은 참깨종자의 단백질, 세사민 함량은 원산지에 따라 유의적인 차이를 보였으나 기름 및 세사몰린 함량은 차이가 없다고 하였다. Kim *et al.*(2003)은 보리종자의 베타글루칸 함량은 재배지역에 따라 큰 차이가 없다고 하였으며, Kim(1997)은 검정

Table 1. Classification of 143 sesame accessions within origin, seed coat color, SSR marker group.

Classification	No. of accessions	
Origin	Russia	8
	Nepal	5
	Japan	12
	Turkey	7
	Afghanistan	7
	Pakistan	4
	Korea	42
	China	17
	Iran	4
	Mexico	8
	India	9
	USA	14
	Egypt	2
	Vietnam	4
Seed coat color	White	103
	Yellow	11
	Brown	17
	Black	12
Group by SSR data ^z	1	65
	2	13
	3	18
	4	47

^zGroup by 14 SSR data (Park, 2012)

콩 종자의 안토시아닌 함량은 재배지역에 따라 다르다고 하였다. Kang *et al.*(2013)은 국내 밀 품종의 아라비노자일란 함량은 품종, 연차간, 재배지역에 영향을 받는다고 하였다.

참깨 유전자원의 효율적인 이용을 위해서 전체 유전자원의 유전적 다양성을 포함하는 핵심집단을 작성하고 있다. 중국에서는 위도별, 고도별 분포하는 참깨 유전자원을 대표하는 453점의 핵심집단을 작성하였고(Zhang *et al.*, 2000), 그 중 215점의 세사민과 세사몰린의 함량을 분석하였다(Wang *et al.*, 2012). 우리나라에서는 Park(2012)이 농업유전자원센터에 보유되어있는 2,751점의 참깨 유전자원을 원산지에 따라 분류하여 278점의 핵심집단을 작성하였지만 아직까지 Park(2012)이 작성한 참깨 유전자원 핵심집단에 대한 리그난 분석은 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 Park(2012)이 작성한 참깨 유전자원 핵심집단의 세사민과 세사몰린 함량 변이를 분석하여 리그난 함량이 높은 참깨 품종육성을 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 또한 다양한 환경에서 재배된 참깨 우량계통의 리그난, 지방 함량 변이를 측정하여 재배환경이 리그난, 지방 함량에 미치는 영향을 평가하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

참깨 유전자원 핵심집단의 리그난 함량 변이

참깨 유전자원은 2012년 농업유전자원센터로부터 Park(2012)이 작성한 참깨 유전자원 핵심집단 277점을 분양받아 참깨의 대표적인 주요품종(양백개, 안산개, 고평개, 강흑개, 진기개)과 함께 시험재료로 사용하였으며 유전자원의 증식을 위하여 국립식량과학원 기능성작물부(경남 밀양) 시험포장에서 2012년에 실시하였다. 휴폭, 휴간, 조건 및 주간 거리는 각각 110, 70, 30 및 10 cm로 하여 흑색유공비닐을 피복한 후 6월 18일에 파종하였다. 시비는 질소, 인산 및 가리 성분량으로 10a당 각각 2.9, 3.1, 3.2 kg을 전량 기비로 사용하였다. 시험구는 1.1 m² 크기로 단구제로 하였고, 9월 24일에 수확 후 143점을 리그난 분석을 위한 시료로 사용하였다.

증식된 참깨 핵심유전자원 143점을 수집원산지별(14개국), 종피색별(백색, 황색, 갈색, 흑색), SSR 마커로 분류한 4개의 그룹으로 분류하였다. 4개의 그룹은 Park(2012)이 14개의 SSR 마커를 이용하여 유전자원 간 유전적 거리에 따라 분류한 것이다(Table 1).

참깨 품종 및 우량계통의 지역간 리그난과 지방 함량 변이

참깨 품종 및 우량계통의 지역간 리그난과 지방 함량 변

이 분석을 위한 시험재료는 참깨의 대표적인 주요품종(양백개, 안산개, 고평개, 강흑개, 진기개)과 최근 육성된 17우량계통(밀양43호, 밀양44호, 밀양47호, 밀양48호, 밀양51호, 밀양52호, 경북16호, 경북18호, 경북20호, 밀양45호, 밀양49호, 밀양50호, 밀양53호, 밀양54호, 경북17호, 경북19호, 경북21호)을 사용하였다. 전국 3개 지역(전북 익산, 전남 나주, 경남 밀양)에서 2013년 5월 20일에 흑색유공비닐 위에 파종하였다. 시험구는 8.8 m²으로 난괴법 3반복으로 하였고 휴폭, 휴간, 조건 및 주간거리는 각각 110, 70, 30 및 10 cm로 하였다. 시비는 질소, 인산 및 가리 성분량으로 10a당 각각 2.9, 3.1, 3.2 kg을 전량 기비로 사용하였으며 수확 후 리그난 분석을 위한 시료를 준비하였다.

참깨 품종 및 우량 계통의 연차간 리그난과 지방 함량 변이

참깨 품종 및 우량 계통의 연차간 리그난과 지방 함량 변이 분석을 위한 시험재료는 참깨의 대표적인 주요품종(양백개, 안산개, 고평개, 강흑개, 진기개)과 최근 육성된 29우량계통을 사용하였다. 시험재료의 파종은 국립식량과학원 기능성작물부(경남 밀양) 시험포장에서 2011년 5월 26일, 2012년 5월 16일, 2013년 5월 20일에 실시하였다.

시험구는 8.8 m²으로 난괴법 3반복으로 하였고 휴폭, 휴간, 조건 및 주간거리는 각각 110, 70, 30 및 10 cm로 하였다. 시비는 질소, 인산 및 가리 성분량으로 10a당 각각 2.9, 3.1, 3.2 kg을 전량 기비로 사용하였으며 수확 후 리그난 분석을 위한 시료를 준비하였다.

리그난 추출과 HPLC 분석

참깨 종자에 함유된 세사민, 세사몰린 성분 추출을 위해서 Rangkadilok *et al.*(2010) 방법을 수정하여 사용하였다. 참깨 유전자원, 우량계통 각 재료 당 분쇄한 종자 1 g을 Falcon tube(50 ml)에 넣고 메탄올(MeOH) 20 ml를 용매로 하여 24시간 동안 상온에서 교반한 후에 0.2 µm membrane filter로 여과 후 액체 크로마토그래피(HPLC, High Performance Liquid Chromatography)로 분석하였다. 세사민, 세사몰린 성분 분석은 Shahidi *et al.*(2006)과 Rangkadilok *et al.*(2010) 방법으로 하였다. HPLC는 Agilent 1100 series(Agilent technologies Inc., Santa Clara, CA, USA) 모델을 사용하였고 컬럼은 Lichrospher 100 RP-18e column(125 × 4.0 mm, 5 µm, Merck)을 사용하여 추출시료 20 µL를 분석하였다. 용매 조건은 등용 이동상(isocratic mobile phase)으로 60% MeOH를 사용하였고, 용매 유속은 0.8 ml/min으로 하였으며 diode-array detector로 290nm에서 검출하였다(Table 2). 표준물질인 세사민과 세사몰린은 시그마사에서 구입하였고

Table 2. Condition of HPLC for analyzing sesamin and sesamol content.

HPLC system	HPLC Agilent 1100 series (Agilent Tech Co.)
Column	Lichrospher 100 RP-18e (5 um)
Mobile Phase	60% MeOH
Flow rate	0.8 ml/min
Detector	UV 290 nm

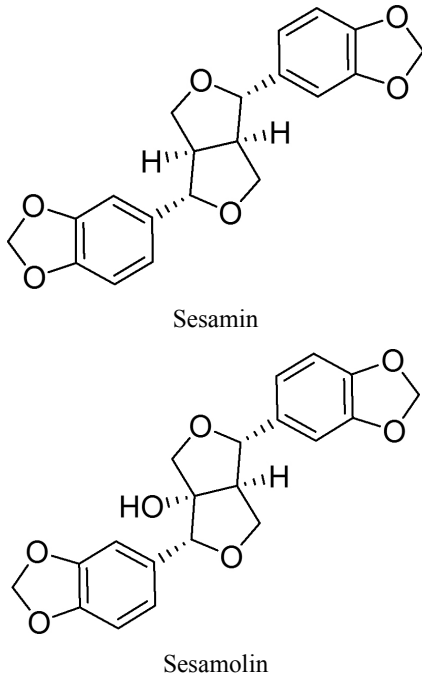


Fig. 1. Chemical structures of the sesamin and sesamol (Rangkadilok *et al.*, 2010).

Table 3. Equation of linear regression of the sesamin and sesamol.

Compound	Equation	Correlation coefficient (r^2)
Sesamin	$y = 28.66x - 7$	$r^2 = 0.9985$
Sesamol	$y = 18.92x - 1.36$	$r^2 = 0.9974$

구조는 Fig. 1과 같으며, 시료의 리그난 분석은 표준물질의 머무름 시간과 비교하여 분석하였다. 리그난의 정량은 Table 3과 같이 세사민은 $y = 28.66x - 7 (r^2 = 0.9985)$, 세사몰린은 $y = 18.92x - 1.36 (r^2 = 0.9974)$ 표준검량선을 이용하였다.

지방 추출

참깨종자에 함유된 지방 추출은 Buchi B-811을 사용하여 Soxhlet 방법으로 측정하였다(Kim *et al.*, 2006). 참깨 주요

품종 및 우량계통 각 재료 당 분쇄한 종자 2 g을 extraction thimble에 200 ml n-hexane을 넣고 105°C에서 2시간동안 끓인 후 desiccator에서 30분간 식힌 후에 추출된 지방을 측정하였다. 총 지방함량은 종자의 건물중을 기반으로 측정하였다.

리그난 및 지방 함량 변이의 통계분석

참깨 핵심유전자원 143점을 수집원산지(14개국)별, 종피색(백색, 황색, 갈색, 흑색)별 Park(2012)이 보고한 SSR마커에 따른 4개의 그룹에 따라 리그난 함량 분포특성을 분석하였다. 또한 참깨 주요 품종 및 우량계통의 지역간(경남 밀양, 전남 나주, 전북 익산), 연차간(2011~2013, 3개년) 리그난과 지방 함량의 변이를 분석하여 참깨의 품질특성에 대한 환경의 영향을 분석하였다.

통계분석은 SAS program version 9.2(SAS Institute, 2009)를 이용하였고, 분산분석 및 분류단위에 따른 함량차이의 유의성 검정은 Proc Anova를 이용하였고 상관관계 분석은 Proc Corr을 이용하였다.

결과 및 고찰

참깨 유전자원 핵심집단의 리그난 함량 변이

본 실험에서는 2012년 국립식량과학원 기능성작물부 시험포장(경남 밀양)에서 증식된 143점의 참깨 유전자원에 대하여 세사민, 세사몰린 및 리그난 함량을 수집원산지(14개국)별, 종피색(백색, 황색, 갈색, 흑색)별, SSR 마커에 의해 분류된 4개의 그룹에 따라 분석하였다.

참깨 유전자원 143점의 세사민과 세사몰린 함량은 각각 4~5 mg/g 사이에 가장 많은 분포를 보였으며 리그난 함량은 8~9 mg/g 사이에 가장 많은 분포를 보였다(Fig. 2). 리

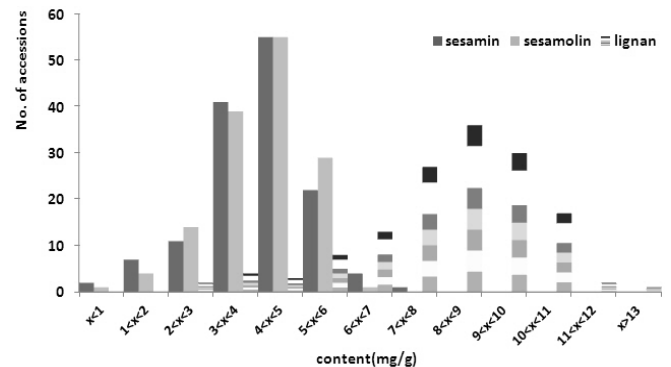


Fig. 2. Distribution of sesamin, sesamol and lignan content of 143 sesame accessions.

그난 함량의 범위는 2.33 mg/g에서 12.17 mg/g으로 나타났다(Table 4). Wang *et al.*(2012)이 분석한 215점의 중국 참깨 유전자원 핵심집단의 리그난 함량의 범위는 2.49 mg/g에서 18.01 mg/g으로 본 시험결과보다 리그난 함량 변이의 폭이 넓었다. 이는 리그난 함량 분석에 사용된 중국 참깨 유전자원의 시험재료의 수가 본 시험에 사용된 재료의 수보다 많아서 리그난 함량의 분포범위가 넓은 것으로 판단된다.

세사민과 세사몰린의 평균함량은 각각 4.08 mg/g, 4.10 mg/g이었으며, 두 성분의 함량비율은 1이었다(Table 4). Lee *et al.*(1999)가 분석한 132점의 참깨 유전자원의 세사민과 세사몰린의 평균함량은 각각 3.06 mg/g, 2.42 mg/g이었으며, 두 성분의 함량비율은 1.26이었다. 또한 Wang *et al.*(2012)이 분석한 중국 참깨 유전자원 핵심집단 215점의 세사민과 세사몰린의 평균함량은 각각 5.25 mg/g, 3.30 mg/g으로 두 성분의 함량비율은 1.59로 본 실험보다 세사민의 함량비율이 상대적으로 높았다. 본 실험에서는 파종이 6월 18일로 적기보다 한 달 정도 늦었고, 성숙기에 태풍 등의 환경영향으로 미숙종자가 다소 많아 세사몰린 함량 증가에 영향을 준 것으로 생각한다. Yasumoto & Komeichi(1993)에 의하면 세사몰린 함량은 완숙종자보다 미숙종자에서 더 많고 조파보다 등숙기의 기온이 낮은 만파에서 가장 많았다고 하였다. 143점의 자원 중 터키에서 수집한 IT184615은 리그난 함량이 12.17 mg/g로 가장 많아 대조품종으로 사용된 고품개의 리그난 함량 8.39 mg/g보다 높아 리그난 함량 개량을 위한 유전자원으로 활용성이 높은 것으로 판단되었다.

Table 4. Range and mean values of sesamin, sesamolins and lignan content for 143 sesame accessions.

	Minimum	Maximum	Mean
Sesamin (mg/g)	0.78	7.00	4.08
Sesamolins (mg/g)	0.23	6.98	4.10
Lignan (mg/g)	2.33	12.2	8.18

Table 5. Analysis of variance for sesamin, sesamolins and lignan content for 143 sesame accessions over origin, seed coat color, and SSR marker group.

Classification	Sesamin	Sesamolins	Lignan
	----- mean square value -----		
Origin	2.52***	1.87**	4.86**
Seed coat color	8.05***	4.66***	24.1***
Group by SSR data	0.22ns	2.15*	3.05ns

ns: not significant; *p ≤ 0.05; **p ≤ 0.01; ***p ≤ 0.001

^zGroup by 14 SSR data (Park, 2012)

증식된 참깨 유전자원 143점의 유전자원을 수집원산지(14개국)별, 종피색(백색, 황색, 갈색, 흑색)별, SSR 마커로 분류한 4개의 그룹으로 분류하여 변이에 대한 유의성을 검정하고자 하였다. 분산분석결과 세사민, 세사몰린, 리그난 함량은 14개의 수집원산지간에 고도로 유의한 차이가 있었다. Shim *et al.*(2010)은 6개의 수입된 참깨 원산지(한국, 중국, 인도, 수단, 미얀마, 베네수엘라) 간에 세사민, 단백질 함량은 유의적인 차이를 보였으나 기름 및 세사몰린 함량은 유의적인 차이가 없다고 하여 본 실험결과와 부분적으로 일치하였다(Table 5).

14개의 수집원산지 중 러시아가 원산인 유전자원의 세사민 평균함량은 5.45 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타냈으며 파키스탄(4.22 mg/g), 한국(3.95 mg/g), 중국(3.89 mg/g), 이란(3.81 mg/g), 멕시코(3.80 mg/g), 인도(3.68 mg/g), 미국(3.68 mg/g), 이집트(3.23 mg/g), 베트남(3.22 mg/g) 수집원산의 자원과 유의하게 차이가 있었다. 세사몰린 평균함량은 러시아가 4.57 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타냈으며 이란(2.46 mg/g) 원산의 유전자원과 유의하게 차이가 있었다. 리그난 평균함량은 러시아가 10.03 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타냈으며 파키스탄(7.89 mg/g), 중국(7.76 mg/g), 인도(7.74 mg/g), 이집트(6.74 mg/g), 이란(6.28 mg/g), 베트남(6.28 mg/g) 원산의 유전자원과 유의하게 차이가 있었다(Table 6). 러시아(10.0 mg/g), 네팔(9.08 mg/g) 등 리그난 함량이 높은 수집원산의 유전자원은 리그난 함량 개량을 위한 육종자원으로 활용성이 높은 것으로 판단되었다.

세사민, 세사몰린, 리그난 함량은 4개의 종피색 간에 고도로 유의한 차이가 인정되었다(Table 5). 백색, 황색, 갈색, 흑색 4개의 종피색 간 유의성 검정 결과에서는 백색 참깨의 세사민 평균함량이 4.33 mg/g으로 가장 많았으며 갈색(3.65 mg/g), 흑색(2.45 mg/g)참깨와 유의하게 차이가 있었다. 또한 백색 참깨의 세사몰린 평균함량은 4.28 mg/g으로 가장 많았으며 흑색 참깨(3.03 mg/g)와 유의하게 차이가 있었다. 백색 참깨의 리그난 평균함량은 8.61 mg/g으로 가장 많았으며 갈색(7.51 mg/g), 흑색(5.49 mg/g) 참깨의 리그난 평균함량과 유의한 차이가 인정되었다(Table 6). 특히, 중국 참깨 유전자원 핵심집단에서는 갈색 종피를 가지면서도 리그난 함량이 높은 유전자원이 확인되었는데(Zhang *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2012), 이 유전자원이 육종계통 후대에도 갈색 종피가 유전되면서 동시에 리그난 함량이 높은 지 확인할 필요가 있다고 생각된다. 또한 리그난 함량이 높은 유전자원을 대상으로 CYP81Q1 유전자(Hata *et al.*, 2010, 2012)가 많이 발현되는 지 확인해 볼 필요가 있을 것이다.

SSR마커로 분류한 4개의 그룹 간에는 세사몰린 함량은

Table 6. Variation in sesamin, sesamolign and lignan content of 143 sesame accessions within origin, seed coat color, and SSR marker group.

Classification		No. of accessions	Sesamin	Sesamolign mg/g	Lignan
Origin	Russia	8	5.45 ^a	4.57 ^a	10.0 ^a
	Nepal	5	4.67 ^{ab}	4.40 ^a	9.08 ^{ab}
	Japan	12	4.66 ^{ab}	3.60 ^a	8.26 ^{abc}
	Turkey	7	4.42 ^{abc}	4.21 ^a	8.63 ^{abc}
	Afghanistan	7	4.39 ^{abc}	4.09 ^a	8.48 ^{abc}
	Pakistan	4	4.22 ^{bc}	3.67 ^a	7.89 ^{bcd}
	Korea	42	3.95 ^{bc}	4.22 ^a	8.18 ^{abcd}
	China	17	3.89 ^{bc}	3.87 ^a	7.76 ^{bcd}
	Iran	4	3.81 ^{bc}	2.46 ^b	6.28 ^d
	Mexico	8	3.80 ^{bc}	4.31 ^a	8.11 ^{abcd}
	India	9	3.68 ^{bc}	4.05 ^a	7.74 ^{bcd}
	USA	14	3.68 ^{bc}	4.66 ^a	8.33 ^{abc}
	Egypt	2	3.23 ^c	3.51 ^a	6.74 ^{cd}
	Vietnam	4	3.22 ^c	3.77 ^a	6.28 ^{cd}
Seed coat color	White	103	4.33 ^a	4.28 ^a	8.61 ^a
	Yellow	11	4.15 ^{ab}	3.88 ^a	8.03 ^{ab}
	Brown	17	3.65 ^b	3.86 ^a	7.51 ^b
	Black	12	2.46 ^c	3.03 ^b	5.49 ^c
Group by SSR data ^z	1	65	4.14	4.24 ^a	8.38
	2	13	4.12	4.13 ^a	8.13
	3	18	4.02	4.01 ^{ab}	8.13
	4	47	4.00	3.57 ^b	7.59

^zGroup by 14 SSR data (Park, 2012)

Columns followed by the same letter were not significantly different according to the multiple range Duncan test at $p \leq 0.05$

유의한 차이가 인정되었으나 세사민, 리그난 함량은 유의한 차이가 없었다(Table 5). 4개의 그룹 간에 유의성 검정 결과를 보면 그룹 2의 세사몰린 함량이 4.24 mg/g으로 세사몰린 함량이 3.57 mg/g인 그룹 4와 유의하게 차이가 있었다 (Table 6). 4개의 그룹은 Park(2012)이 14개의 SSR marker를 사용하여 각 자원을 유전적 거리에 따라 UPGMA 방법으로 분류한 것이다. 하지만 본 시험결과에서는 4개의 그룹으로 분류하는 데 사용된 14개의 SSR marker는 각 자원간의 리그난 함량의 차이를 잘 설명하지 못했다.

참깨 유전자원 143점간에 세사민과 세사몰린 함량간의 상관관계를 분석한 결과 세사민 함량은 세사몰린 함량과 정의 상관관계가 있었다(Table 7). Lee *et al.*(1999)은 백색과 흑색 참깨에서는 세사민 함량과 세사몰린 함량 간에는 고도의 정의 상관성이 있다고 하였고, Ryu *et al.*(2000)은 백색, 갈

Table 7. Correlation coefficients between sesamin and sesamolign content.

Characters	Correlation coefficient		
	Sesamin	Sesamolign	Lignan
Sesamin	-	0.41 ^{**}	0.86 ^{**}
Sesamolign	0.41 ^{**}	-	0.83 ^{**}

ns: not significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

색, 흑색 참깨 모두 세사민 함량과 세사몰린 함량 간에 유의한 상관관계가 있다고 하였다. 하지만 Tashiro *et al.*(1990)은 갈색과 흑색 참깨에서만 고도로 유의한 정의 상관관계가 있다고 하였다. 따라서 다수의 연구결과로부터 리그난 함량이 높은 참깨 품종을 개량하기 위해서는 세사민과 세사몰린 함량을 함께 높이는 것이 바람직하다고 보이나 종피색 별

세사민과 세사몰린 함량의 상관관계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참깨 품종 및 우량계통의 지역간 리그난과 지방 함량 변이

본 실험에서는 참깨의 품질특성에 미치는 환경변이의 영향을 알아보기 위해 전국 3지역(전북 익산, 경남 밀양, 전남 나주)에서 2013년도에 재배된 참깨 주요 품종(양백깨, 안산깨, 고품깨, 강흑깨, 진기깨)과 우량계통 17점의 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량의 지역간 변이를 분석하였다.

참깨 주요 품종과 우량계통의 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량의 평균값은 Table 8과 같다. 분산분석 결과 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량은 지역간, 계통간, 그리고 지역과 계통의 상호작용에서도 고도로 유의한 차이가 인정

되었다. 또한 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량의 지역간의 평균분산이 계통간의 평균분산보다 커 환경변이가 유전변이보다 변이의 폭이 넓었다(Table 9). 시험에 사용된 우량계통은 수량 및 생육특성을 중심으로 선발된 계통이므로 리그난, 지방 함량의 유전변이의 폭은 좁은 것으로 판단된다.

지역간 유의성 검정 결과 3지역 중 익산 지역의 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량이 가장 높아 밀양, 나주 지역과 유의적인 차이가 인정되었다(Table 10). Kang *et al.*(2013)은 국내 밀 품종의 아라비노자일란 함량은 품종에 대한 변이뿐만 아니라 재배 지역, 재배 조건에 따라 영향을 받는다고 하여 본 연구결과와 같은 경향을 보였다.

지역간 기온과 강수량의 차이가 리그난, 지방 함량에 영향을 끼쳤을 것으로 생각되어 3개 지역의 7월 평균기온과

Table 8. Mean values of sesamin, sesamol, lignan and lipid content for 22 sesame cultivars and elite lines over three growing locations.

Elite line	Sesamin (mg/g)	Sesamol (mg/g)	Lignan (mg/g)	Lipid (%)
Kyeonbuk 16	2.76	2.80	5.56	50.6
Kyeonbuk 18	3.14	2.76	5.90	47.6
Kyeonbuk 20	4.19	3.92	8.11	46.8
Kopoom	3.45	3.19	6.64	50.2
Milyang 43	3.73	3.66	7.39	50.2
Milyang 44	3.55	2.66	6.21	50.6
Milyang 47	3.97	3.41	7.38	47.3
Milyang 48	2.27	2.77	5.04	47.6
Milyang 51	1.81	2.98	4.79	46.6
Milyang 52	3.08	2.88	5.96	49.0
Ansan	3.22	3.68	6.90	48.5
Yangbaek	3.31	3.12	6.43	48.6
Kangheuk	1.50	1.79	3.29	45.2
Kyeonbuk 17	0.94	1.74	2.68	45.5
Kyeonbuk 19	2.03	2.92	4.95	49.6
Kyeonbuk 22	3.55	2.97	6.52	50.7
Milyang 45	0.84	1.75	2.59	43.0
Milyang 49	0.74	1.80	2.54	44.2
Milyang 50	0.76	1.84	2.60	45.2
Milyang 53	1.11	2.01	3.12	47.5
Milyang 54	1.08	1.95	3.03	46.5
Jinki	0.68	1.27	1.95	45.7
Mean	2.35	2.63	4.98	47.6
LSD ^Z	0.33	0.30	0.51	1.32

^ZLeast significant difference(p<0.05)

Table 9. Analysis of variance for sesamin, sesamol, lignan and lipid content for 22 sesame elite lines over three locations.

		Sesamin	Sesamol	Lignan	Lipid
		----- mean square value -----			
Elite Line (E)		13.5***	5.02***	33.4***	44.5***
Location (L)		24.7***	6.30***	54.5***	118***
E × L		0.65***	0.40***	1.61***	4.12***

ANOVA Experiment: Elite line, location, E × L
ns: not significant; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$

Table 10. Variation in sesamin, sesamol, lignan and lipid content of sesame 22 elite lines among three locations.

Character	Iksan	Miryang	Naju
Sesamin (mg/g)	2.99 ^a	2.30 ^b	1.77 ^c
Sesamol (mg/g)	2.99 ^a	2.48 ^b	2.42 ^b
Lignan (mg/g)	5.97 ^a	4.79 ^b	4.18 ^c
Lipid (%)	49.1 ^a	46.7 ^b	47.0 ^b

Rows followed by the same letter were not significantly different according to the multiple range Duncan test at $p \leq 0.05$

Table 11. The temperature and rainfall in July in three different locations.

	Iksan	Miryang	Naju
Mean temp. (°C)	27.8	27.5	27.1
Min. temp. (°C)	24.6	23.6	24.4
Max. temp. (°C)	31.9	32.4	31.0
Rainfall (mm)	286.3	248.6	349.1

Table 12. Variation in yield and 1000 seed weight of sesame elite lines in three different locations.

Character	Iksan	Miryang	Naju	LSD ^Z
Yield (kg/10a)	109	121	149	30.4
1000 seed weight (g)	2.8	3.0	3.2	0.23

누적강수량 값을 비교하였지만 유의하지 않았다(Table 11). 아마도 다른 환경요인의 차이가 리그난, 지방 함량에 영향을 미친 것으로 추측된다.

3지역의 수량, 천립중과 리그난 함량을 비교한 결과 리그난 함량이 가장 높았던 익산지역의 수량과 천립중은 가장 작았다(Table 12). 리그난 함량과 수량, 천립중 사이에는 부의 상관관계가 있었다. Kim *et al.*(2003)은 오미자 과실의

리그난 함량은 수량성과 부의 상관관계가 있다고 보고하여 본 연구결과와 같은 경향을 보였다. 따라서 수량성과 리그난 함량이 부의 상관으로 동시에 함량이 높은 참깨 품종을 육성하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

참깨 품종 및 우량계통의 연차간 리그난과 지방 함량 변이

2011년에서 2013년까지 국립식량과학원 기능성작물부(경남 밀양) 시험포장에서 증식된 우량계통 34점의 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량의 평균값은 Table 13과 같다. 분산분석 결과 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량은 연차간, 계통간, 그리고 연차간 계통간 상호작용에서도 고도로 유의한 차이가 인정되었다. 세사민, 세사몰린, 리그난 함량은 계통간 평균분산이 연차간 평균분산보다 커 유전변이가 환경변이보다 변이의 폭이 넓었다. 하지만 지방 함량은 연차간 평균분산이 계통 간 평균분산보다 커 환경변이가 유전변이보다 변이의 폭이 넓었다(Table 14).

연차간 유의성 검정 결과 2011년도에 증식된 우량계통의 세사민, 세사몰린, 리그난, 지방 함량이 가장 높았으며 2012년도, 2013년도와 유의한 차이가 인정되었다(Table 15). Kim *et al.*(2001)은 1999~2000년 재배된 참깨 우량계통의 지방산 조성의 변이가 크다고 하였다. Kim *et al.*(2003)은 1995~1997년 재배된 오미자의 리그난 함량은 수집종 및 연차간에 통계적으로 유의하고 변이가 컸다고 하였다. 오미자 과실에 함유된 리그난은 schizandrin, gomisin A, gomisin N 등이 주요화합물로서 오미자 리그난의 함량 변이는 참깨 종실의 리그난 함량 변이와 비슷한 양상을 보인 것으로 생각된다. 또한 Kang *et al.*(2013)은 국내 밀 품종의 아라비노 자일란 함량은 품종에 대한 영향뿐만 아니라 연차간 변이에도 영향을 받으며, 품종과 연차간 변이의 상호 영향도 있다고 하였다.

적 요

본 연구는 참깨 유전자원 핵심집단과 주요 품종 및 우량계통의 세사민과 세사몰린, 지방 함량변이를 분석하여 리그난 함량이 높은 참깨 품종육성을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 본 시험에 이용된 참깨 유전자원 143점의 리그난 함량 범위는 2.33 mg/g에서 12.17 mg/g으로 나타났다. 그 중 터키에서 수집된 IT184615은 리그난 함량이 12.17 mg/g으로 가장 높아 리그난 함량 개량을 위한 유전자원으로 활용성이 높은 것으로 판단되었다. 참깨 유전자원을 14개의 수집원산지별, 4개의 종피색(백, 황, 갈, 흑)별, 4개의 SSR마커그룹으로 분류하고 리그난 함량과의 유의성을 검

Table 13. Mean values of sesamin, sesamol, lignan and lipid content for 34 sesame elite lines over three harvest years, 2011 to 2013.

Elite line	Sesamin (mg/g)	Sesamol (mg/g)	Lignan (mg/g)	Lipid (%)
Yangbaek	3.23	3.43	6.66	47.7
Ansan	3.00	3.62	6.62	48.8
Jinki	0.70	1.22	1.92	45.8
Kyeonbuk 10	3.82	4.14	7.96	50.2
Kyeonbuk 11	3.62	2.59	6.21	55.9
Kyeonbuk 12	2.69	2.38	5.07	47.7
Kyeonbuk 14	3.94	3.14	7.08	48.1
Kyeonbuk 15	2.94	2.94	5.88	45.1
Kyeonbuk 16	1.49	2.19	3.68	50.7
Kyeonbuk 17	1.24	1.72	2.96	46.9
Kyeonbuk 18	2.36	2.03	4.39	45.7
Kyeonbuk 19	1.94	3.04	4.98	47.8
Kyeonbuk 20	3.82	4.14	7.96	45.0
Kyeonbuk 22	3.62	2.59	6.21	50.4
Kangheuk	1.79	1.80	3.59	42.1
Kopoom	2.97	3.22	6.19	48.7
Milyang 34	3.54	3.62	7.16	51.6
Milyang 36	2.87	3.49	6.36	52.8
Milyang 38	3.84	3.04	6.88	49.2
Milyang 39	3.04	3.10	6.14	51.3
Milyang 40	2.98	3.16	6.14	47.3
Milyang 41	1.20	1.62	2.82	46.2
Milyang 43	4.27	3.74	8.01	49.8
Milyang 44	3.92	2.62	6.54	49.3
Milyang 45	0.90	1.78	2.68	43.8
Milyang 46	2.88	3.96	6.84	46.7
Milyang 47	3.73	3.67	7.40	47.8
Milyang 48	1.91	2.56	4.47	46.4
Milyang 49	0.63	1.53	2.16	43.5
Milyang 50	0.70	1.64	2.34	44.1
Milyang 51	2.50	3.08	5.58	45.6
Milyang 52	2.49	2.55	5.04	47.8
Milyang 53	0.77	1.59	2.36	47.5
Milyang 54	1.16	1.44	2.60	45.6
Mean	2.54	2.72	5.26	47.7
LSD ^Z	0.30	0.34	0.48	1.50

^ZLeast significant difference (p<0.05)

정한 결과 세사민, 세사몰린 함량은 수집원산지, 종피색 간에 유의한 차가 인정되었다. 러시아(10.0 mg/g), 네팔(9.08 mg/g)에서 수집된 유전자원은 다른 국가에서 수집된 유전자원보다 평균 리그난 함량이 높았다. 세사민 함량은 세사몰린 함량과 정의 상관관계가 있어 리그난 함량이 높은 참깨 품종 육성을 위해서는 두 성분을 동시에 높이는 방향으로 선발되어야 할 것으로 판단된다.

참깨 주요 품종과 우량계통의 리그난, 지방 함량의 지역

간, 연차간 변이를 분석하여 품질특성에 미치는 환경의 영향을 분석한 결과 리그난과 지방 함량은 지역간, 연차간에 고도로 유의적인 차이가 인정되었고 지역간 변이가 계통 간 변이보다 커서 유전변이보다 환경변이의 변이의 폭이 넓었다. 따라서 리그난, 지방 함량이 높은 참깨 품종 육성을 위해서는 함량이 높은 유전자원을 육종재료로 활용함과 동시에 리그난 축적에 관계되는 재배환경에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

Table 14. Analysis of variance for sesamin, sesamolins, lignan and lipid content for 34 sesame cultivars and elite lines over three harvest years, 2011 to 2013.

	Sesamin	Sesamolins	Lignan	Lipid
	----- mean square value -----			
Elite Line(E)	7.98 ^{***}	4.13 ^{***}	21.9 ^{***}	33.8 ^{***}
Year (Y)	4.94 ^{***}	1.93 ^{***}	12.7 ^{***}	278 ^{***}
E × Y	2.37 ^{***}	0.77 ^{***}	5.34 ^{***}	6.00 ^{***}

Anova experiment: elite line, year, E × Y
ns: not significant; *p≤0.05; **p≤0.01; ***p≤0.001

Table 15. Variation in sesamin, sesamolins, lignan and lipid content of 34 sesame cultivars and elite lines for three harvest years, 2011 to 2013.

Character	2011	2012	2013
Sesamin(mg/g)	2.79 ^a	2.33 ^b	2.30 ^b
Sesamolins(mg/g)	2.83 ^a	2.62 ^b	2.49 ^c
Lignan(mg/g)	5.62 ^a	4.94 ^b	4.78 ^c
Lipid(%)	49.9 ^a	46.6 ^b	46.1 ^c

Rows followed by the same letter were not significantly different according to the multiple range Duncan test at p≤0.05

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ006329)의 지원에 의해 이루어진 것임

인용문헌(REFERENCES)

- Ashri, A. 1998. Sesame breeding. Plant breeding reviews. 16 : 179-228.
- El-Bramawy, M. A. E. S., S. E. S. El-Hendawy, and W. I. A. Shaban. 2008. Accessing the suitability of morphological and phenological traits to screen sesame genotypes for fusarium wilt and charcoal rot disease resistance. Journal of Plant Protection Research. 48(4) : 397-410.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012.
- Fukuda, Y., M. Nagata, T. Osawa, and M. Namiki. 1986. Contribution of lignan analogues to antioxidative activity of refined unroasted sesame seed oil. Journal of the American Oil Chemists' Society. 63(8) : 1027-1031.
- Fukuda, Y., T. Osawa, M. Namiki, and T. Ozaki. 1985. Studies on antioxidative substances in sesame seed. Agricultural and Biological Chemistry. 49(2) : 301-306.
- Hanzawa, F., S. Nomura, E. Sakuma, T. Uchida, and S. Ikeda. 2013. Dietary sesame seed and its lignan, sesamin, increase tocopherol and phyloquinone concentrations in male rats. The Journal of Nutrition. 143(7): 1067-1073.
- Hata, N., Y. Hayashi, A. Okazawa, E. Ono, H. Satake, and A. Kobayashi. 2010. Comparison of sesamin contents and CYP81Q1 gene expressions in aboveground vegetative organs between two Japanese sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties differing in seed sesamin contents. Plant Science. 178(6) : 510-516.
- Hata, N., Y. Hayashi, A. Okazawa, E. Ono, H. Satake, and A. Kobayashi. 2012. Effect of photoperiod on growth of the plants, and sesamin content and CYP81Q1 gene expression in the leaves of sesame (*Sesamum indicum* L.). Environmental and Experimental Botany. 75 : 212-219.
- Ide, T., L. Ashakumary, Y. Takahashi, M. Kushiro, N. Fukuda, and M. Sugano. 2001. Sesamin, a sesame lignan, decreases fatty acid synthesis in rat liver accompanying the down-regulation of sterol regulatory element binding protein-1. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids. 1534(1) : 1-13.
- Ide, T., N. Fukuda, T. Aoyama, and T. Hashimoto. 1999. Sesamin, a sesame lignan, is a potent inducer of hepatic fatty acid oxidation in the rat. Metabolism. 48(10) : 1303-1313.
- Kang, C. S., K. H. Kim, S. H. Shin, J. H. Son, J. N. Hyun, K. H. Kim, and C. S. Park. 2013. Influence of cultivar and environment on arabinoxylan content in Korean wheat. Korean Journal of Breeding Science. 45(2) : 81-95.
- Kanu, P. J. 2011. Biochemical analysis of black and white sesame seeds from China. Am. J. Biochem. Mol. Biol. 1 : 145-157.
- Kato, M. J, A. Chu, L. B. Davin, and N. G. Lewis. 1998. Biosynthesis of antioxidant lignans in *Sesamum indicum* L. seeds. Phytochemistry. 47(4) : 583-591.
- Kim, H. S., K. D. Park, S. B. Bae, Y. K. Son, C. W. Lee, J. G. Kim, J. C. Kim, and J. H. Nam. 2003. Genotype and environment effects on barley grain β-glucan content. Korean Journal of Breeding Science. 35(2) : 240-241.
- Kim, J. K., J. K. Bang, C. B. Park, B. K. Lee, and Y. H. Lee. 2001. The variation of quality characteristics in sesame and perilla according to different area and year. Korean Journal of Crop Science. 202-203.
- Kim, J. S. 1997. Change in isoflavone contents during maturation of soybean seed. Journal of Food Science and Nutrition. 2(3) : 255-258.
- Kim, K. S., C. G. Park, and J. K. Bang. 2003. Varietal and yearly differences of lignan contents in fruits of collected lines of schizandra chinensis baillon. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 11(1) : 71-75.
- Kim, S. L., M. A. Berhow, J. T. Kim, H. Y. Chi, S. J. Lee, and I. M. Chung. 2006. Evaluation of soyasaponin, isoflavone,

- protein, lipid, and free sugar accumulation in developing soybean seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Korean statistical information service. 2013. <http://kosis.kr>. Statistics Korea.
- Lee, S. W., C. W. Kang, D. H. Kim, Y. Satoko, and K. Masumi. 1999. Varietal variation of sesamin, sesamol, and oil contents according to seed coat colors in sesame. *Korean Journal of Breeding Science*. 31(3) : 286-292.
- Osawa T, M. Nagata, M. Namiki, and Y. Fukuda. 1985. Sesamol, a novel antioxidant isolated from sesame seeds (*Sesamum indicum* L.). *Agricultural and Biological Chemistry*. 49 : 3351-3352.
- Park, J. H. Development of core collection and its genetic evaluation by SSR markers in germplasm of sesame (*Sesamum indicum* L.). 2012 Chunbuk National University.
- Rangkadilok, N., N. Pholphana, C. Mahidol, W. Wongyai, K. Saenooksree, S. Nookabkaew, and J. Satayavivad. 2010. Variation of sesamin, sesamol and tocopherols in sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*. 122(3) : 724-730.
- Rural Development Administration (RDA) Genebank (2011) <http://www.genebank.go.kr>. Accessed 10 June 2011.
- Ryu, S. N. 2000. Varietal difference of lignan glycoside content in sesame. *Korean Journal of Breeding Science*. 32(1) : 104-105..
- Ryu, S. N., C. W. Kang, J. I. Lee, S. T. Lee, K. S. Kim, and B. O. Ahn. 1996. Perspective of utilization and function of antioxidants in sesame. *Korean Journal of Crop Science*. 41(S) : 94-109.
- SAS. 2009. SAS 9.2 for windows. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shahidi, F., C. M. Liyana-Pathirana, and D. S. Wall. 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chemistry*. 99(3) : 478-483.
- Shim, K. B., C. D. Hwang, S. B. Pae, M. H. Lee, T. J. Ha, C. W. Park, and K. Y. Park. 2010. Comparison of physiochemical characters of sesame seeds according to the different producing origin. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture*. 22(4) : 371-375.
- Shyu, Y. S. and L. S. Hwang. 2002. Antioxidative activity of crude extract of lignan glycosides from unroasted Burma black sesame meal. *Food Research International*. 35(4): 357-365.
- Tashiro, T., Y. Fukuda, T. Osawa, and M. Namiki. 1990. Oil and minor components of sesame (*Sesamum indicum* L.) strains. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 67(8) : 508-511.
- Wang, L., Y. Zhang, P. LI, X. Wang, W. Zhang, W. Wei, and X. Zhang. 2012. HPLC analysis of seed sesamin and sesamol variation in a sesame germplasm collection in China. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89(6) : 1011-1020.
- Weiss, E. A. 1983. Sesame. Weiss, EA oilseed crops. London, Longman. 31-99.
- Yamashita, K., Y. Lizuka, T. Imai, and M. Namiki. 1995. Sesame seed and its lignans produce marked enhancement of vitamin E activity in rats fed a low α -Tocopherol diet. *Lipids*. 30(11) : 1019-1028.
- Yamashita, K., Y. Nohara., K. Katayama, and M. Namiki. 1992. Sesame seed lignans and gamma-tocopherol act synergistically to produce vitamin E activity in rats. *The Journal of Nutrition*. 122(12) : 2440-2446.
- Yasumoto, S. and M. Katsuta. 2006. Breeding a high-lignan-content sesame cultivar in the prospect of promoting metabolic functionality. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 40(2) : 123-129.
- Yasumoto, S. and M. Komeichi. 1993. Growth stage affects sesamol contents in sesame seeds. *Japan Journal of Crop Science*. 62(S1) : 300-301.
- Zhang, H. Y., H. M. Miao, C. Li, L. B. Wei, and Q. Ma. 2012. Analysis of sesame karyotype and resemblance-near coefficient. *Chinese Plant Bulletin* 47 : 602-614.
- Zhang, X. R., Y. Z. Zhao, Y. Cheng, X. Y. Feng, Q. Y. Guo, M. D. Zhou, and T. Hodgkin. 2000. Establishment of sesame germplasm core collection in China. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 47(3) : 273-279.