Korean J. Plant Res. 28(1):135-144(2015)
http://dx.doi.org/10.7732/kjpr.2015.28.1.135

Print ISSN 1226-3591
Online ISSN 2287-8203

Review

기능성 유지자원으로서의 들깨(*Perilla frutescens* var. *frutescens*)의 이용과 가치

최용순[1,2]*

[1]강원대학교 의생명과학대학 의생명공학과, [2]강원대학교 생명공학연구소

Uses and Values of Perilla (*Perilla frutescens* var. *frutescens*) as a Functional Oil Source

Yong-Soon Choi[1,2]*

[1]Department of Medical Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
[2]Institute of Bioscience and Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract - The Korean daily intake of vegetable oils has increased about 2.5-fold from 17 g/day to 46 g/day for the last several decades. Perilla (*Perilla frutescens* var. *frutescens*) has been cultivated in Korea for a long time as a dietary oil seed which has the highest content of α-linolenic acid, accounting for nearly 60%. It is known that the main role of ALA is as a precursor to the longer-chain ω-3, eicosapentaenoic acid (EPA), and docosahexaenoic acid (DHA), the metabolic products of α-linolenic acid (ALA, ω-3). Dietary ω-3 fatty acids reduce inflammation and the risk of chronic diseases such as heart disease, cancer, and arthritis, but they also may act as functional components for cognitive and behavioral function. Thus, α-linolenic acid is one of the essential nutrients in modern dietary patterns in which much linoleic acid is consumed. Nevertheless, perilla oil, rich in α-linolenic acid, can be easily oxidized, giving rise to controversies with respect to shelf life, the deterioration of the product's commercial value, and further related toxicity. Recent research using genetic modifications has tried to develop new plant oil seeds that balance the ratio of ω-6/ω-3 fatty acids. Such trials could be a strategy for improving an easily oxidizable property of perilla oil due to high α-linolenic acid. Alternatively, appropriate application of antioxidant to the oil can be considerable.

Key words - α-Linolenic acid, Linoleic acid, Oxidative stability, Genetic modification, ω-6/ω-3

서 언

한국인의 식생활은 서구식 식량자원의 수입과 글로벌화한 시장 경제를 발판삼아 커다란 변화를 가져왔다(Fig. 1). 우리 국민이 섭취한 열량은 지난 20여 년간 큰 변동 없이 하루 약 2,000 Kcal 수준을 보였으나, 지방의 소비는 지속적으로 증가하여 왔다(Kim *et al.*, 2000a; Lee and Oh, 2001; KREI, 2012). 아울러, 육류소비로 인한 동물성 지방의 섭취 증가는 국민의 심혈관계 관련 질환 및 대사증후군의 발병을 야기한 중요한 인자로 평가된 바 있다(Oh *et al.*, 2003; Bae *et al.*, 2009; Lim *et al.*, 2011).

식용유는 기원에 따라 식물성지방과 동물성지방으로 나눌 수 있으며, 우리나라에서 공급되는 식용유의 대부분은 식물성이며, 동물성 지방은 주로 육류나 가공식품 형태로 공급된다. 유지 자원은 중요한 열량원일뿐 아니라 생리작용을 담당하는 중요한 필수 영영원이기에 궁극적으로 전략적 식량자원으로서 또한 기능성 자원으로 육성하고 개발하여야 할 소재이다(Gurr *et al.*, 2002; Raskin *et al.*, 2002; KREI, 2012).

최근에는 국민의 생활수준과 경제 환경이 개선됨에 따라, 유지에 있어서도 공급 패턴이 변화하고 있다. 예를 들면, 들기름의 경우 예전에는 대부분 자가생산하여 가정에서 소비되었으나 현재는 대기업에서 생산 공급이 이루어지고 있다(Yeo and Choi, 1998; Kim *et al.*, 1999a; Kyung, 2008).

본고에서는 우리나라의 전통적인 식용유 자원인 들깨(*Perilla frutescens* var. *frutescens*)로 부터 얻어지는 들깨유의 생리적

*교신저자(E-mail) : yschoi@kangwon.ac.kr

ⓒ 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
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.

특성과 기능성자원으로서 바람직한 들깨 종자의 개발전략에 대해 살펴보기로 한다. 유지는 바이오연료 등의 산업용으로 쓰이나 식용에 국한하여 기술한다(Lee *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2012).

유지의 자원, 특성 및 생리적 기능

한국인의 유지자원과 식용유

조선시대 말까지 우리나라에서 재배된 유지자원은 참깨, 들깨, 평지, 땅콩, 아주까리 등이며, 참깨와 들깨는 오늘날까지 중요한 작물로 간주된다(Jang, 1995; Choi, 1998; Chung, 2012). Table 1은 최근 국내에서 생산 또는 수입되는 일부의 유지자원량을 보여준다(KREI, 2012). 국내의 유지 자급률은 1966년 99.6%였으나 1982년대 이후는 8.5%로 급격히 감소하였다.

우리나라에서 식용유의 공급은 1968년 수입 콩을 이용하여 대두유를 공업적으로 생산하면서 궤도에 올랐다(Jang, 1995; Sajo Corporation, 2014). 통계자료에 따르면 2012년 국내에서 생산된 들깨유는 1,789 톤으로, 전체 식물성 식용유 공급의 0.2% 수준으로 낮았다(KHIDI, 2013). 들깨유는 지역에 따라 선호도가 다르며, 자가생산하여 소비되기 때문에 상당량은 통계에 드러나지 않을 것으로 보인다(Table 1). 2012년을 기준으로 들깨유 공급은 경기도 〉 충청북도 〉 서울시 〉 강원도 순으로 나타나 우리나라 북부지역에서 소비량이 많음을 예상할 수 있다. 한국에서는 식용유로 연간 대두유(41만 톤) 〉 유채유(8만 톤) 〉 팜유(7.9만 톤) 〉 쇼트닝(6.5만 톤) 〉 옥수수기름(5.4만 톤)순으로 생산 가공되어 소비된다(KHIDI, 2013).

유지의 화학적 성질

지방(지질, 유지)은 클로르포름 등의 유기용매에 녹고 생체이용이 가능한 유기물질로 정의하며, 식용 가능한 유지를 식용유라고 한다. 일반적으로 상온에서 액체 상태를 기름(oil), 고체 상태를 지방(fat)으로 지칭한다(Gurr *et al.*, 2002). 식용유를 구성하는 기본적인 분자는 triglyceride로 극성이 낮아 흔히 중성지방으로 분류된다. 세포막을 구성하는 극성의 인지방질은 가공방법에 따라 유지에 혼입되는데 유지 품질에 영향을 준다.

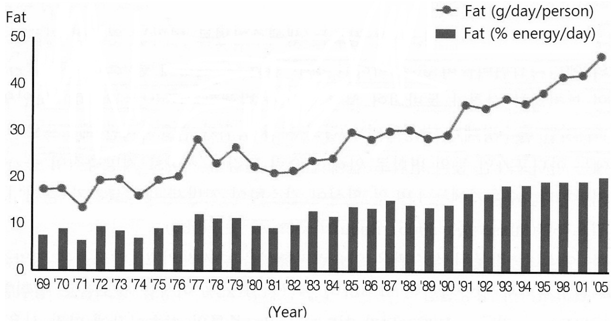

Fig. 1. Annual changes in fat intake (g/day/person) and fat ratio on energy intake (% energy of fat /total energy/day) by Korean. Adapted from Korean Nutrition Society (2011).

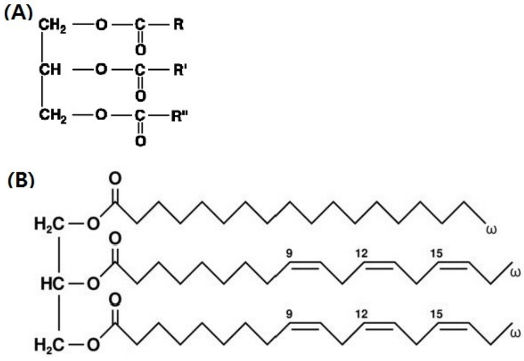

Fig. 2. Structure of triglyceride. (A) general structure of triacylglycerol. R, R' or R'' denote 3 molecule of fatty acyl group bound to one molecule of glycerol. (B) triacylglyceride composition, right part from top to bottom: stearic acid (18:0), α-linolenic acid (18:3) and α-linolenic acid (18:3). In α-linolenic acid (18:3), carbon number 9,12 and 15 denote position of double bonds from carboxylic acids not from methyl group.

Table 1. Annual production and import of perilla, sesame and rapeseed seeds in Korea[z]

(Unit: metric tons)

Seeds	1996		2001		2006		2011	
	production	import	production	import	production	import	production	import
Perilla	25,175	13,886	22,597	2,754	18,142	22,656	33,936	26,557
Sesame	29,370	67,572	24,096	77,356	23,461	85,567	12,704	81,941
Rapeseed	1,849		1,945		739		528	

[z]Data was extracted from 2011 Food Balance Sheet (KREI, 2012). These seeds are major oil resources supplied and cultivated in Korea.

식물성유지에는 식물스테롤, tocopherol, polyphenol 및 여러 지용성 성분을 갖고 있다(Lee and Choi, 1990; Asif, 2012).

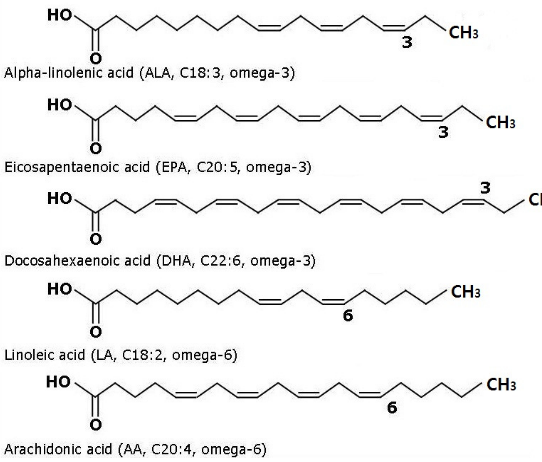

Fig. 3. Structures of major fatty acids. In C18:3, 18 denotes the carbon number of fatty acids and the 3 denotes position number of double bonds. In omega-3 series fatty acids (ALA, EPA and DHA), first double bond comes at third carbon position from methyl group. In omega-6 fatty acids (LA and AA), first double bond comes at sixth carbon position from methyl group.

들깨종자의 triglyceride의 합성경로는 Ichihara and Suda (2003)에 의해 보고되었다. 어떤 유지의 물리적 화학적인 특성은 글리세롤 분자에 결합되는 지방산의 종류에 따라 결정된다 (Fig. 2(A)). Fig. 2(B)는 글리세롤에 결합된 지방산의 2/3가 α-linolenic acid (ALA, 본문의 모든 약어에 적용)로 구성되어 있음을 나타낸다(Gurr *et al.*, 2002).

일반적으로 지방산은 methyl기로부터 첫 번째 이중결합을 갖는 탄소 번호에 따라 omega-3 (ω-3), omega-6 (ω-6), omega-9 (ω-9) 계열로 분류한다(Fig. 3; Gurr *et al.*, 2002). 그러므로 ALA는 ω-3 지방산으로, linoleic acid (LA)는 ω-6 지방산으로 분류된다.

ω-3 지방산의 특성과 역할

ALA와 LA는 식물에서 합성되며, 사람을 포함한 동물에서는 합성되지 않는 필수지방산이다(Gurr *et al.*, 2002; Spector, 1999). 섭취한 ALA는 체내에서 효소적인 작용을 받아 eicosa-pentaenoic acid (20:5; EPA) 또는 docosahexaenoic acid (22:6, DHA)로 전환되는데, ALA를 포함한 EPA와 DHA는 ω-3 계열의 지방산이다 (Fig. 4; Sprecher *et al.*, 1995; Burdge, 2006). 이러한 작용은 ω-6 지방산인 LA에도 허용되어 arachidonic acid

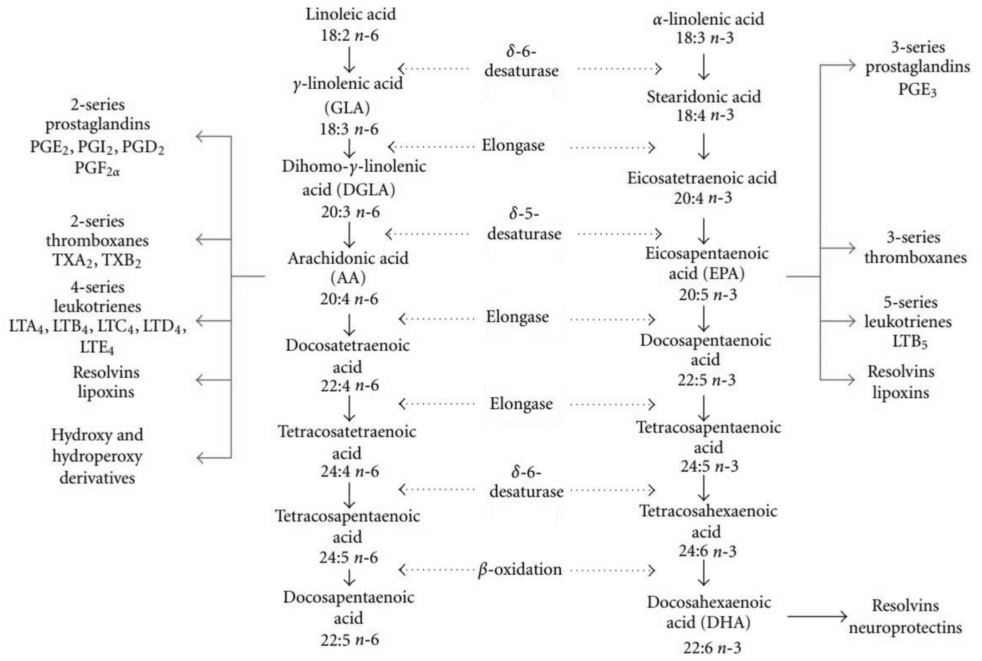

Fig. 4. Biochemistry of linoleic acid and α-linolenic acids and their principal derivatives (arachidonoic acid, eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). The long-chain PUFAs (AA, EPA, DHA) are incorporated into the plasma membranes. An enzyme, called cyclooxyganase or lipoxygenase cause the conversion of AA or EPA from membranes to prostanoids or leucotrienes. Adapted from Patterson *et al.* (2012).

(20:4, AA)로 전환되므로 체내대사에서 LA (ω-6)와 ALA (ω-3)는 경쟁적인 위치에 있다(Spector, 1999; Schmitz and Ecker, 2008).

일부 연구에 따르면 100여년 이전까지 인류가 섭취한 ω-6/ω-3 지방산 비율은 1:1 수준이었던 것으로 추정하고 있다. 오늘날은 5-15:1 수준으로 채집과 수렵으로 공급되던 ω-3 지방산(수산물이나 동물)은 감소하고, ω-9 또는 ω-6 계열의 지방산이 풍부한 종자유의 공급이 크게 증가한 결과로 보인다(Simopolous, 2002; KHIDI, 2013).

Lee and Oh (2001)는 한국인의 식사중 ω-6/ω-3 비율은 6-10:1 범위에 있다고 발표한 바 있다. 한국인 최적의 ω-6/ω-3 지방산 비율은 서구와 일본의 자료를 참고로 하여 4-10:1 수준을 권장비율로 제안한 바 있다(Korean Nutrition Society, 2010). Kim *et al.* (2004)은 한국인은 하루 ALA; 0.9-1.2 g, EPA; 160-172 ㎎ 및 DHA; 17-240 ㎎ 정도의 ω-3 지방산을 섭취하며, ω-3 지방산의 공급원으로 들깨유와 콩제품의 기여도가 크다고 보고한 바 있다. 일본인은 상대적으로 수산물에 함유된 EPA와 DHA가 ω-3 지방산의 주된 공급원으로 평가된다(Hibbeln *et al.*, 2006; Kolanowski *et al.*, 2006). 일부 연구에 의하면, 한국인과 일본인의 적혈구 세포막의 DHA와 EPA 함량은 7.8-9.2% 수준의 비슷한 범위로 식사로 공급되는 ALA는 EPA나 DHA의 생물학적 요구에 충족할 수 있음을 시사한다(Tsuchiya *et al.*, 2008; Park, 2010).

들깨유의 특성

우리나라의 들깨 자원

들깨는 우리나라 및 동아시아에서 광범위하게 재배되어 왔다. 들깨는 일년생 식물로 종자를 채취하는 들깨(*Perilla frutescens* var. *frutescens*)와 잎을 이용하는 차조기(*Perilla frutescens* var. *crispa*)로 나눈다. 일반적으로 성숙한 들깨 종자의 유지함량은 40% 내외이다(Lee *et al.*, 2002; RDA, 2014). 품종에 따라 얻어진 들깨유의 지방산의 분포는 달라지나 중성지방은 95% 이상을 차지한다. 그 외에 인지질(4% 내외) 및 식물스테롤(주로 β-sitosterol, 1-2%), γ-tocopherol 및 polyphenol 성분이 들어 있다(Shin and Kim, 1994; Adhikari *et al.*, 2006; Asif, 2012; Lee *et al.*, 2013).

Table 2는 여러 식용유의 지방산 및 요오드가를 비교한 것이다(Mattson and Lutton, 1958; Tan *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2012). 대두유, 옥수수유, 참기름, 포도씨유 등은 LA를 50% 이상 함유하나 들깨유는 ALA 함량이 높아 상대적으로 높은 요오드값을 갖으며, 산패되기 쉬운 성질을 예측케 한다(Knothe *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2012).

들깨유의 생리적 기능과 특성

체내에서의 ALA의 분해속도는 포화지방산 또는 올레산보다 빨라 피부를 제외하고 조직내 함량은 낮다. 섭취한 ALA의 16-33%는 48시간 이내에 산화되어 CO_2로 배출된다(DeLany *et al.*, 2000; Arterburn *et al.*, 2006). 뇌조직으로 유입되는 ALA의 85%는 β-산화를 통해 에너지원으로 소실된다(Barcelo-Coblijn and Murphy, 2009).

Table 3은 주요 지방산의 생화학적 기능을 요약한 것이다. ω-6 계열의 지방산은 지방조직, 간장, 근육이나 신장의 세포막에 분포하는데 반해 ω-3 지방산 계열, 특히 DHA는 신경조직, 생식기관, 시신경 세포막 등에 분포한다. DHA는 ALA보다 두뇌로의 이동효율이 높을 뿐 아니라 뇌세포를 구성하는 주요한 지방산

Table 2. Chemical properties of edible plant oils[z]

Kinds	Major fatty acids (%)		ω-6/ω-3	Iodine index
	Linoleic acid	α-Linolenic acid		
soybean oil	51	7	7.3	136
olive oil	10	0	10	87
grape seed oil	62	2	31	141
canola oil	22	10	2.2	108
corn oil	55	0	55	129
palm oil	10	0	10	55
sesame oil	50	< 1	50	110
perilla oil	15	61	0.25	194

[z]Adapted from Shin and Kim (1994), Tan *et al.* (2002), and Lee *et al.* (2012).

Table 3. Biochemical functions of major fatty acids[z]

Class	Fatty acid	Functions
ω-6	Linoleic acid (LA)	Component of most tissues, and as epidermal permeability barrier Precursor of arachidonic acid
	Arachidonic acid (AA)	Eicosanoid synthesis Components of membrane phospholipids
ω-3	α-Linolenic acid (ALA)	Precursor of EPA and DHA
	Eicosapentanoic acid (EPA)	Eicosanoid synthesis Competitor of arachidonic acid
	Docosahexaenoic acid (DHA)	Components of membrane phospholipids in retina, brain, testes and sperm Modulation of integral membrane proteins Regulation of gene expression

[z]Adapted from Spector (1999), Gurr *et al.* (2002), and Schmitz and Ecker (2008).

Table 4. Physiological effects of eicosanoids and the related products from fatty acids[z]

	ω-6: Arachidonic acid (20:4)		ω-3: EPA (20:5) and DHA (22:6)	
	Products	Functions	Products	Functions
Prostaglandins	PGD_2 PGE_2 PGF_2 PGI_2	Pro-arrhythmic	PGD_3 PGE_3 PGF_3 PGI_3	Anti-arrhythmic
Thromboxanes	TXA_2 TXB_2	Platelet activator Vasoconstriction	TXA_3 TXB_3	Platelet inhibitor Vasodilatation
Leukotrienes	LTA_4 LTB_4 LTC_4 LTD_4 LTE_4	Pro-inflammatory	LTA_5 LTB_5 LTC_5 LTD_5 LTE_5	Anti-inflammatory
Resolvins			RVD RVE1	Anti-inflammatory
Neuroprotectin			NPD1	Anti-inflammatory

[z]Adapted from Gurr *et al.* (2002), and Schmitz and Ecker (2008).

이다(Spector 1999; Schmitz and Ecker, 2008). 특히, 태아기에 DHA의 요구가 크며, 노년기 인지능력을 개선한다는 결과도 보인다(Horrocks and Yeo, 1999; Ghebremeskel *et al.*, 2000; Uauy and Dangour. 2006; Innis, 2007).

ALA의 생리적 기능은 EPA에 의해 이차적으로 발휘되는 듯하다(Sinclair *et al.*, 2002; Arterburn *et al.*, 2006). 알려진 바로는, 섭취한 ALA로부터 EPA로의 체내 전환율은 8-20%, DHA로는 0.5-9%로 낮다(Arterburn *et al.*, 2006; Swanson *et al.*, 2012). 특히 DHA로의 체내 전환율은 EPA에서 출발해도 크게 향상되지 않는 듯하다(Sinclair *et al.*, 2002; Burdge, 2006; Brenna *et al.*, 2009). 그러나 일련의 효소계에 의해 섭취한 ALA가 EPA로 전환될 때 LA로 부터 AA로의 전환은 저해되므로, 체내 AA/EPA비의 균형은 낮은 방향으로 변화시킨다(Fig. 4).

체내에서 AA는 cyclooxygenase-2 또는 lipoxygenase 계에 의해 2-계열 prostanoids와 4-계열 leukotrienes로 전환되어 염증, 동맥경화, 혈액응고 등의 유발 작용을 강화한다. 반면, EPA는 동일한 조건에서 3-계열 prostanoids와 5-계열 leukotrienes로 전환되어, AA 유래의 생리물질과는 상반된 작용을 나타낸다(Table 4; Spector, 1999; Tapiero *et al.*, 2002; Schmitz and Ecker, 2008).

LA의 섭취율이 높은 현대인의 식생활에서 EPA는 AA 유래의 생리물질에 의해 일어나는 불리한 생리적 반응을 바람직한 방

향으로 조정한다(Sugano and Lee, 1989; Tapiero *et al.*, 2002; Schmitz and Ecker, 2008). 그러므로 들깨유의 ALA는 궁극적으로 체내의 이상적인 AA/EPA 비를 유지하게 하는 식이영양소이다(Ezaki *et al.*, 1999; Sinclair *et al.*, 2002; Arterburn *et al.*, 2006; Nogi *et al.*, 2007; Schmitz and Ecker, 2008). 심장질환 발생에 체계적인 ALA의 예방효과가 보고된 바 있다(Lorgeril and Salen, 2004; Harris, 2010).

산화와 독성

지방의 산패(rancidity)는 '악취가 나는' 뜻의 라틴어에서 유래하며, 식용유지의 품질 저하나 독성 생성은 가수분해, 빛, 열 등에 기인한다. 대부분의 유지는 생산과 유통과정을 거치고 요리중에 가열하거나 공기나 빛에 노출되므로, 산화적 산패를 완전히 피할 수는 없다(Frankel, 1991; Esterbauer *et al.*, 1993; Kolanowski *et al.*, 2006)

유지의 산화속도는 온도, 불포화도 또는 tocopherol 등의 여러 인자에 의해 영향을 받는다(Gordon, 2000; Yoon and Surh, 2012). 특히 구성하는 지방산의 불포화도를 나타내는 요오드값이 클수록 산화되기 쉬운 성질을 갖고 있다(Table 2; Holman and Elmer, 1947; Gurr *et al.*, 2002; Tan *et al.*, 2002). ALA는 LA 또는 올레산보다 이중결합수가 많아 산화되기 쉬운 성질을 갖는다(Fig. 5). 이런 측면에서 높은 함량의 ALA를 갖는 들깨유의 품질과 안정성을 확보하기 위한 품종의 육종을 고려할 수 있을 것이다(Lee *et al.*, 2012).

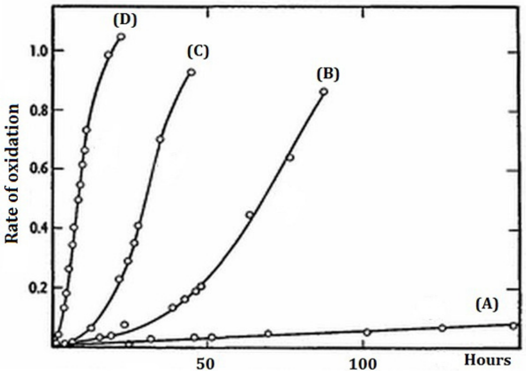

Fig. 5. Autoxidation of ethyl fatty esters in air at room temperature. (A) Ethyl oleate (18:1) (B) Ethyl linoleate (18:2) (C) Ethyl linolenate (18:3) (D) Ethyl arachidonate (20:4). Adapted from Holman and Elmer (1947).

볶은 들깨에서 얻어진 들깨유는 생들깨를 용매로 추출한 것보다 낮은 산화정도를 보이는데, 아마도 배전조건이나 lignan 함량에 따라 생성되는 항산화성 물질이 관련되는 듯하다(Kim *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2012; Yun and Surh, 2012). 들깨유의 산화에는 tocopherol, rosemaric acid 등의 항산화성 물질, 항산화성의 인지질의 혼재, 가열에 의한 산화, 관련 효소의 파괴 등의 복합적 요인이 관련되어 있다(Kashima *et al.*, 1991; Asaf, 2006; Jung *et al.*, 2012).

한편, 들깻잎의 고유한 향기성분은 perilla ketone (3-furyl isoamyl ketone)으로 알려졌는데, 가축이나 설치류에서 폐부종(pulmonary edema) 등 폐기능의 손상을 유발하는 것으로 알려졌다(Wilson *et al.*, 1977; Seo and Baek. 2009). Kim *et al.* (2000b)은 한국산 들깨유에 perilla ketone이 존재하며, 볶을 때 3배 이상 증가하였음을 밝힌 바 있다. 그러나 미국 Oklahoma 주와 일본산 들깨종자에서 perilla ketone을 검출하지 못했다는 보고도 있어 이에 대한 정확한 분석이 필요할 것으로 사료된다(Nice *et al.*, 2014).

기능성 유지자원의 개발

들깨 품종별 성분의 차이

종자중 유지 함량은 유지자원의 가치를 판단하는 중요 지표이다(Lee *et al.*, 1991; Ohlrogge, 1994; Singh *et al.*, 2005). 우리나라에서는 1965년부터 들깨 재래종을 수집하고, 1972년 대

Table 5. Characteristics of some perilla seeds developed in Korea[z]

Cultivars	Years	Oil content (%)	α-Linolenic acid (%)	1000 Grain weight (g)	Productivity index
Dulseam	2013	42.7	61	3.4	97
Dami	2013	41.0	63.3	3.9	96
Dayou	2004	46.0	59.8	3.7	104
Dasil	2001	35.5	54.6	3.7	91
Kwangim	2010	35.8	60.5	4.2	110
Saeyeupsil (standard cultivars)	1994	36.8	62.5	5.2	100

[z]Data was extracted from RDA (2014).

구종을 육성 보급한 이후로 지금까지 여러 품종이 육종 개발되었다(Table 5). 그러나 유지자원으로서 들깨는 생산 비중이 낮고, 종자 또한 체계적으로 보급되지 않아 국내의 품종별 재배 현황은 알 수 없다. 현재 들깨 신품종의 육성은 주로 재배환경, 수량이나 착유율 또는 엽 생산에 초점을 맞추어 교배 육종되고 있다(Shin and Kim, 1994; Lee *et al.*, 2010; RDA, 2014).

기능성 소재로서 들깨종자의 개발- 18:3 함량의 조절

들깨는 수산물이 부족한 환경에서 ω-3 지방산을 공급할 수 있는 우수한 유지자원이다(Simopoulos, 2002; Damude and Kinney, 2008). 그러나 바람직한 ω-6/ω-3 비를 갖지 못하며, 산화되기 쉽고 저장에 제한이 있다(Shin and Kim, 1994; Wang *et al.*, 2010). Yin *et al.* (2014)은 벼에 콩 유래의 *GmFAD3* 유전자를 도입하여 미강유중 ALA 함량을 늘리는 품종개량을 시도한 바 있다. 따라서 ω-6/ω-3 비를 높이며 기호성을 손상시키지 않는 들깨 품종의 육성은 매우 의미 있을 것이다(Ichihara and Suda, 2003; Damude and Kinney, 2008). 동물성 ω-3 지방산을 함유하는 형질전환식물체 개발과 가치에 관한 지견이 소개되어 있다(Ursin, 2003; Damude and Kinney, 2008).

들깨종자의 소포체에 존재하는 ALA 합성효소인 Δ15-desaturase 유전자, *PerFAD3*는 Chung *et al.* (1999)에 의해 처음으로 보고되었다. 들깨는 적어도 둘 이상의 *PerFAD3* 유전자를 갖고 있다(Hwang *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2008). 지금까지 *PerFAD3*를 애기장대에 도입하여 종자 ALA 함량을 조절하는 기술이 특허로 출원된 바 있으나(서 등, 2009) 들깨에서 ALA 함량을 낮추어 ω-3/ω-6 균형을 조절하기 위한 적극적인 시도는 보고된 바 없다.

Jung *et al.* (2011)은 유채품종인 '탐미'에서 안티센스 기술로 *BrFAD2* 유전자 발현을 억제하여 LA와 ALA 함량을 낮춘 품종을 개발하였다. 식물체에서 LA는 *FAD2* (Δ12-desaturase) 발현으로 올레산으로부터 생성되고, *FAD3* (Δ15-desaturase) 발현으로 LA로부터 ALA를 합성하게 되므로(oleic acid → linoleic acid → α-linolenic acid), 두 유전자의 적절한 발현 조절을 통하여 유지의 불포화지방산 함량을 제어 생산할 수 있을 것으로 보인다.

한편 Vrinten *et al.* (2005)은 아마에서 *FAD3* 유전자를 제거하여 ALA 함량을 낮추었으며, Rahman *et al.* (2013)은 화학적인 처리로 유채 (B*rassica oleracea*)에서 ALA 함량을 25% 수준으로 감소시켰다. Harris *et al.* (2008)은 대두에 Δ6-desaturase 유전자를 도입하여 stearidonic acid을 함유한 대두를 생산한 바 있다.

들깨에 존재하는 γ-tocopherol은 유지의 산화를 억제하는 중요한 역할을 한다(Shin and Kim, 1994; Cahoon *et al.*, 2003). 일반적으로 tocopherol 이성체는 α > β > γ > δ-isomer의 순으로 항산화 능력이 평가되었다(Haung *et al.*, 1994). Lee *et al.* (2008)은 들깨에 함유된 γ-형을 α-형으로 전환시키고자 γ-tocopherol methyltransferase 유전자를 도입하여 α-tocopherol 함량을 높였다. 이러한 기술의 적용은 들깨유의 항산화와 저장성을 향상시키는 대안이 될 수 있을 것이다. 또한 들깨유와 ω-6 계열의 유지를 혼합하여 ω-6/ω-3 비율을 조절하여 들깨유의 취약성을 개선할 수 있을 것으로 보인다(Kim *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1999b; Lee *et al.*, 2012).

결 론

지난 40 여년간 한국인의 식이지방의 섭취는 하루 17 g에서 46 g으로 약 2.5배 이상 증가하였다. 들깨는 ALA를 풍부하게 함유한 전통적인 식량자원이다. 대부분의 식물유에 풍부한 LA (ω-6)의 체내 대사물인 AA로부터 생성되는 생리물질은 혈전, 동맥경화, 염증증상 등의 불리한 생리적 작용을 유발한다. 반면에 ALA의 대사산물인 EPA는 AA와 경쟁적으로 작용하여 궁극적으로 바람직한 방향으로 생리적 균형을 유지하도록 한다. 그러나 들깨유는 특성상 산화되기 쉬워 저장성과 상품성이 제한적이다. 최근 유전공학을 이용하여 적절한 수준의 ω-6/ω-3 지방산의 비율을 갖는 품종육종이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 기술은 기능성과 저장성이 우수한 들깨유를 생산하기 위한 유지자원 개발에 적용할 수 있을 것이다. 덧붙여, 들깨에 항산화물질의 강화는 들깨유의 기능을 강화하는 대안 전략으로 고려될 수 있다.

References

Adhikari, P., K.T. Hwang, J.N. Park and C.K. Kim. 2006. Policosanol content and composition in perilla seeds. J. Agric Food Chem. 54:5359-5362.

Arterburn, L.M., E.B. Hall and H. Oken. 2006. Distribution, interconversion, and dose response of n-3 fatty acids in humans. Am J. Clin. Nutr. 83(supple):1467s-1476s.

Asaf, A.K. 2006. Effect of fatty acids and tocopherols on the oxidative stability of vegetable oils. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 58:1051-1061.

Asif, M. 2012. Phytochemical study of polyphenols in *Perilla*

Frutescens as an antioxidant. Avicenna J. Phytomed. 2:169-178.

Barceló-Coblijn, G. and E.J. Murphy. 2009. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. Prog. Lipid Res. 48:355-374.

Bae, N.K., I.S. Kwon and Y.C. Cho. 2009. Ten year change of body mass index in Korean: 1997-2007. Korean J. Obesity. 18:24-30.

Brenna, J.T., N. Salem Jr., A.J. Sinclair and S.C. Cunnane. 2009. α-Linolenic acid supplementation and conversion to n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in humans. Prost. Leuko. Essen. Fatty Acids. 80:85-91.

Burdge, G. 2006. Metabolism of α-linolenic acid in humans. Prostaglandins Leukot Essent Fatty acids. 75:161-168.

Cahoon, E.B., S.E. Hall, K.G. Ripp, T.S. Ganzke, W.D. Hitz and S.J. Coughlan. 2003. Metabolic redesign of vitamin E biosynthesis in plants for tocotrienol production and increased antioxidant content. Nature Biotechnol. 21:1082-1087.

Choi, C.U. 1998. History and science of sesame oil and perilla oil. J. Kor. Soc. Food Cook Sci. 14:443-452.

Chung, C.H., Kim, J.L., Lee, Y.C. and Y.L. Choi. 1999. Cloning and characterization of a seed-specific ω-3 fatty acid desaturase cDNA from Perilla frutescens. Plant Cell Physiol. 40:114-118.

Chung, H.B. 2012. 'Globalization of omega-3 perilla oil' as a new green growth plant. Spring Symposium of The Plant Resources Society of Korea (Abstract book). p. 5.

Damude, H.G. and A.J. Kinney. 2008. Engineering oil seeds to produce nutritional fatty acids. Physiol. Plant. 132:1-10.

DeLany, J.P., M.M. Windhauser, C.M. Champagne and G.A. Bray. 2000. Differential oxidation of individual dietary fatty acids in humans. Am. J. Clin. Nutr. 72:905-911.

Esterbauer, H. 1993. Cytotoxicty and genotoxicty of lipid-oxidation products. Am. J. Clin. Nutr. 57(suppl):779s-786s.

Ezaki, O., M. Takahashi, T. Shigematsu, K. Shimamura, J. Kimura, H. Ezaki and T. Gotoh. 1999. Long-term effects of dietary alpha-linolenic acid from perilla oil on serum fatty acids composition and on the risk factors of coronary heart disease in Japanese elderly subjects. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 45:759-772.

Frankel, E.N. 2006. Recent advances in lipid oxidation. J. Sci. Food Agric. 54:495-511.

Ghebremeskel, K., Y. Min, M.A. Crawford, J.H. Nam, A. Kim, J.N. Koo and H. Suzuki. 2000. Blood fatty acid composition of pregnant and nonpregnant Korean women: Red cells may act as a reservoir of arachidonic acid and docosahexaenoic acid for utilization by the developing fetus. Lipids 35:567-574.

Gordon, M.H. 2004. Factors affecting lipid oxidation: *In* Steele, R. (ed.), Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food, CRC Press. Cambridge, England. pp. 128-141.

Gurr, M.I., J.L. Harwood and K.N. Frayn 2002. Lipid Biochemistry. 5th. Blackwell Science, Oxford, UK.

Harris, W.S., S.L. Lemke, S.N. Hansen, D.A. Goldstein, M.A. DiRienzo, H. Su, M.A. Nemeth, M.L. Taylor, G. Ahmed and C. George. 2008. Stearidonic acid-enriched soybean oil increased the omega-3 index, an emerging cardiovascular risk marker. Lipids 43:805-811.

Harris, W.S. 2010. The omega-3 index: clinical utility for therapeutic intervention. Curr. Cardiol. Rep. 12:503-508.

Hibbeln, J.R., L.RG. Nieminen, T.L. Blasbalg, J.A. Riggs and W.EM Lands. 2006. Healthy intakes of n-3 and n-6 fatty acids: estimations considering worldwide diversity. Am. J. Clin. Nutr. 83(suppl):1483s-1493s.

Holman, R.T. and O.C. Elmer. 1947. The rates of oxidation of unsaturated fatty acids and esters. J. Am. Oil Chem. Soc. 24:127-129.

Horrocks, L,A. and Y.K. Yeo. 1999. Health benefits of DHA. Pharmacol. Res. 40:211-225.

Huang, S.W., E.N. Frankel and J.B. German. 1994. Antioxidant activity of α- and γ-tocopherols in bulk oils and in oil-in-water emulsions. J. Agric. Food Chem. 42:2108-2114.

Hwang, Y.S., K.H. Kim, S.K. Hwang, S.H. Lee, S.K. Lee, J.B. Kim, S.B. Choi, T. Okita and D. Kim. 1999. Molecular modificaqtion of *Perilla* lipid composition. J. Plant Biotechnol. 1:20-30.

Ichihara, K. and Y. Suda. 2003. Lipid biosynthesis in developing perilla seeds. Phytochemistry 63:139-143.

Innis, S.M. 2007. Dietary (n-3) fatty acids and brain development. J. Nutr. 137:855-859.

Jang, J.H. 1995. Historic Report on Traditional Fats and Oils originated from Korea (한국 전래 유지류사 연구). Soohaksa, Seoul, Korea. (in Korean).

Jung, J.H., H. Kim, Y.S. Go, S.B. Lee, C.G. Hur, H.U. Kim and M.C. Suh 2011. Identification of functional *BrFAD2-1* gene encoding microsomal delta-12 fatty acid desaturase from *Brassica rapa* and development of *Brassica napus* containing high oleic acid contents. Plant Cell Rep. 30:1881-1892.

Jung, D.M., S.H. Yoon and M.Y. Jung 2012. Chemical properties and oxidative stability of perilla oils obtained from roasted perilla seeds as affected by extraction methods. J. Food Sci. 77:C1249-C1255.

Kashima, M., G.S. Cha, Y. Isoda, J. Hirano, and T. Miyazawa. 1991. The antioxidant effects of phospholipids on perilla oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 68:119-122.

KHIDI (Korea health industry development institute) 2013. 2012 Production of food and food additives(Vol.1). Statistical Yearbook. Seoul, Korea.

Kim, Y.E., I.H. Kim and Y.C Lee. 1996. Characteristics of browning materials in perilla oil and change of oxidative stability of blended perilla oil. Kor. J. Food Nutr. 9:504-508.

Kim, G.H., S.K. Kim, M.W. Park and H.P. Moon. 1999a. Breeding strategies to increase production potential of major food crops in Korea. Plant Breeding Biotech. 31:80-101.

Kim, C.K., H.W. Oh and Y.J. Kwon. 1999b. Effect of the mixing extraction of perilla seed and peanut on physico-chemical characteristics and oxidative stability of perilla oil. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 28:1212-1219.

Kim, S., S. Moon and B.M. Popkin. 2000a. The nutrition transition in South Korea. Am. J. Clin. Nutr. 71:44-53. Kim, S.J., H.N. Yoon and J.S. Rhee. 2000b. The effects of roasting temperatures on the formation of headspace voatile compounds in perilla seed oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 77:451-456.

Kim, J.S., Y.J. Kim, Y.O. Ahn H.Y. Paik and K. Tajima. 2004. Contribution of specific foods to fat, fatty acids, and cholesterol in the development of a food frequency questionnaire in Koreans. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 13:265-272.

Kim, M.J., Y.S. Go, S.J. Ahn, C.H. Chung and M.C. Suh. 2008. Functional complementation of a perilla ω-3 fatty acid desaturase under the seed-specific SeFAD2 promotor. J. Plant Biol. 51:174-179.

Knothe, G. 2002. Structure indices in FA chemistry. How relevant is the iodine value? J. Am. Oil Chem. Soc. 79:847-854.

Kolanowski, W., D. Jaworska, J. Weißbrodt and B. Kunz. 2006. Sensory assessment of microencapsulated fish oil powder. J. Am. Chem. Soc. 84:37-45.

Korean Nutrition Society. 2010. Dietary reference intakes for Koreans. First revision. Korean Nutrition Society, Seoul, Korea.

KREI (Korea Rural Economic Institute). 2012. 2011 Food Balance Sheet, Seoul, Korea.

Kyung, K.H. 2008. Issues about GMO and global supply of food grains. Food Sci. Ind. 41:16-26.

Lee, S.Y. and Y.S. Choi. 1990. Cholesterol. ShinKwang Publishing, Seoul, Korea. (in Korean).

Lee, J.I., J.K. Bang, B.H. Lee and K.H. Kim. 1991. Quality improvement in perilla. Korean J. Breed. Sci. 3:48-61.

Lee, Y.J. and K.W. Oh. 2001. Transition of dietary fat in Korean and it's issues. Korean J. Lipidol. 11:39-48.

Lee, J.K., M. Nitta, N.S. Kim, C.H. Park, K.M. Yoon, Y.B. Shin and O. Ohnishi. 2002. Genetic diversity of perilla and related weedy types in Korea determined by AFLP analyses. Crop Sci. 42:2161-2166.

Lee, B.K., S.L. Kim, K.H. Kim, S.H. Yu, S.C. Lee, Z. Zhang, M.S. Kim, H.M. Park and J.Y. Lee. 2008. Seed specific expression of perilla γ-tocopherol methyltransferase gene increases α-tocopherol content in transgenic perilla (*Perilla frutescens*). Plant Cell Tiss. Organ Cult. 92:47-54.

Lee, M.H., T.J. Ha, C.S. Jung, S.B. Pae, J.D. Hwang, S.I. Han, C.H. Park, K.Y. Park, S.K. Lee and C.B. Park. 2010. A new perilla cultivar for edible seed 'Anyu' with early maturity and high oil content. Korean J. Breed. Sci. 42:218-221.

Lee, T.S., Y.H. Lee, K.S. Kim, W. Kim, K.S. Kim, Y.S. Jang and K.G. Park. 2012. Characteristics of fatty acid composition and properties by blending of vegetable oils. Korean J. Plant Res. 25:624-632.

Lee, J.H., K.H. Park, M.H. Lee, H.T. Kim, W.D. Seo, J.Y. Kim, I.Y. Baek, D.S. Jang and T.J. Ha. 2013. Identification, characterization, and quantification of phenolic compounds in the antioxidant activity-containing fraction from the seeds of Korean perilla (*Perilla frutescens*) cultivars. Food Chem. 136:842-852.

Lim, J., S. Kim, S. Ke and B. Cho. 2011. The prevalence of obesity, abdominal obesity and metabolic syndrome among elderly in general population. Korean J. Farm. Med. 32:128-134.

Lorgeril, M. and P. Salen. 2004. Alpha-linolenic acid and coronary heart disease. Nutr. Metab. Cardiovasc Dis. 14:162-169.

Mattson, F.H. and E.S. Lutton. 1958. The specific distribution of fatty acids in the glycerides of animal and vegetable fats. J. Biol. Chem. 233:868-871.

Nice, G.B. Johnson and B. Shelton. Beefsteak Plant (Perilla Mint), Purdue University. https://www.extension.purdue.edu/extmedia/BP/ WS-43-W.pdf. Accessed 27. July, 2014.

Nogi, A., J. Yang, L. Li, M. Yamasaki, M. Watanabe, M. Hashimoto and K. Shiwaku. 2007. Plasma n-3 polyunsaturated fatty acid and cardiovascular disease risk factors in Japanese, Korean and Mongolian Workers. J. Occup. Health 49:205-216.

Oh, K.W., C.M. Nam, J.H. Park, J.Y. Young, J.S. Shim, K.H. Lee and I. Suh. 2003. A case control study on dietary quality and risk for coronary heart disease in Korean men. Korean Nutr. Soc. 36:613-621.

Ohlrogge, J.B. 1994. Design of New Plant Products: Engineering of fatty acid metabolism. Plant Physiol. Mar 104:821-826.

Park, Y.S. 2010. Omega-3 index as a risk factor for cardiovascular disease and its application to Koreans population. Korean J. Obesity. 19:1-8.

Patterson, E., R. Wall, G.F. Fitzgerald, R.P. Ross and C. Stanton. 2012. Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated fatty acids, J. Nutr. Metab. article ID 539426.

Rahman, H., S.D. Singer and R.J. Weselake. 2013. Development of low-linolenic acid *Brassica oleracea* lines through seed mutagenesis and molecular characterization of mutants. Tech. Appl. Genet. 126:1587-1598.

Raskin, I., D.M. Ribnicky, S. Komarnytsky, N. Ilic, A. Poulev, N. Borisjuk, A. Brinker, D.A. Moreno, C. Ripoll, N. Yakoby, J.M. O'Neal, T. Cornwell, I. Pastor and B. Fridlender. 2002. Plants and human health in the twenty-first century. TRENDS Biotechnol. 20:522-531.

RDA (Rural Development Administration). http://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=html&prgId=arg_newvarietyQuery&srccode=IC&fccode2=1602#wap.Accessed 10 July, 2014.

Sajo Corporation. Ranking 'first' for 43 years 'Haepyo edible oil'. http://ind.sajo.co.kr/promotion Center/storyView.asp, Accessed 15 July, 2014.

Schmitz, G. and J. Ecker. 2008. The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids. Prog. Lipid Res. 47:147-155.

Seo, W.H. and H.H. Baek. 2009. Characteristic aroma-active compounds of Korean perilla (*Perilla frutescens* Britt) leaf. J. Agric Food Chem. 57:11537-11542.

Shin, H.S. and S.W. Kim. 1994. Lipid composition of perilla seed. J. Am. Oil Chem. Soc. 71:619-622.

Simopoulos, A.P. 2002. Omega-3 fatty acids in wild plants, nuts and seeds. Asia Pacific J. Clin. Nutr. 11(Supple):163s-173s.

Sinclair. A. J., N.M. Attar-Bashi and D. Li. 2002. What is the role of α-linolenic acid for mammals?. Lipids 37:1113-1123.

Singh, S.P., X.R. Zhou, Q. Liu, S. Stymne and A.G. Green. 2005. Metabolic engineering of new fatty acids in plants. Curr. Opin. Plant Biol. 8:197-203.

Spector, A.A. 1999. Essentialty of fatty acids. Lipids 34:s1-s3.

Sprecher, H. D.L. Luthria, B.S. Mohammed and S.P. Baykousheva. 1995. Reevaluation of the pathways for the biosynthesis of polyunsaturated fatty acids. J. Lipid Res. 36:2471-2477.

Sugano, M. and J.H. Lee. 1989. Nutritional and physiological significance of lipids. J. Dispersion Sci. Technol. 10:643-665.

Swanson, D., R. Block, S.A. Mousa. 2012. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life. Adv. Nutr. 3:1-7.

Tan, C.P., Y.B.C. Man, J. Selamat and M.S.A. Yusoff. 2002. Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. Food Chem. 76:385-389.

Tapiero, H., G.N. Ba, P. Couvreur and K.D. Tew. 2002. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) and eicosanoids in human health and pathologies. Biomed. Pharmacother. 56:215-222.

Tsuchiya, A., J. Hardy, T. M. Burbacher, E. M. Faustman, and K. Mariën. 2008. Fish intake guidelines: incorporating n-3 fatty acid intake and contaminant exposure in the Korean and Japanese communities. Am. J. Clin. Nutr. 87:1867-1875.

Uauy, R. and A.D. Dangour. 2006 Nutirion in brain development and aging: role of essential fatty acids. Nutr Rev. 64:S24-S33.

Ursin, V.M. 2003. Modification of plant lipids for human health: Development of functional land-based omega-3 fatty acids. J. Nutr. 133:4271-4274.

Vrinten, P., Z. Hu, M.A. Munchinsky, G. Rowland and X. Qiu. 2005. Two *FAD3* desaturase genes control the level of linolenic acid in flax seed. Plant Physiol. 139:79-87.

Wang, S., H. Hwang, S. Yoon and E. Choe. 2010. Temperature dependence of autoxidation of perilla oil and tocopherol degradation. J. Food Chem. 75:C498-505.

Wilson, B.J., J.E. Garst, R.D. Linnabary, R.B. Channell. 1977. Perilla ketone: a potent lung toxin from the mint plant, *Perilla frutescens* Britton. Science 197:573-574.

Yeo, K.M. and H.S. Choi. 1998. Nutritional characteristics and industrial application of perilla oil. Food Ind. Nutr. 3:30-36.

Yin, Z.J., H.L. Liu, X. Dong, L. Tian, L. Xiao, Y.N. Xu and L.Q. Qu. 2014. Increasing α-linolenic acid content in rice bran by embryo-specific expression of ω3/Δ15-desaturase gene. Mol. Breeding 33:987-996.

Yun, J.M. and J. Surh. 2012. Fatty acid composition as a predictor for the oxidation stability of Korean vegetable oils with or without induced oxidative stress. Prev. Nutr. Food Sci. 17:158-165.

서미정, 정정환, 고미정. 2009. 들깨유래 마이크로좀 리놀레산 불포화효소 유전자로 형질전환된 형질전환 식물체 및 이 유전자를 이용하여 형질전환식물체의 종자 오일에서 지방산 조성을 조절하는 방법(Korea Patent No. 10-2009-0028284).

(Received 14 August 2014 ; Revised 24 December 2014 ; Accepted 29 December 2014)