

Research Note

단체급식 튀김조리에 사용된 대두유의 휘발성 알데히드류 변화

박혜정¹ · 임주혁¹ · 엄경화¹ · 김정순¹ · 이상미² · 김영석^{2*}

¹삼성에버랜드 식품연구소, ²이화여자대학교 식품공학과

Changes of Volatile Aldehydes in Soybean Oil Used for Deep-fat Frying in Large-scale Catering

Hye-Jung Park¹, Joo Hyuk Yim¹, Kyoung Hwa Um¹, Jeong-Soon Kim¹, Sang Mi Lee², and Young-Suk Kim^{2*}

¹Food R&D Center, Samsung Everland Inc., Gyeonggi-do 446-912, Korea

²Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

Abstract

Changes in the contents of volatile aldehydes due to lipid oxidation in soybean oil during the deep-fat frying of fried squid rings were determined using solid phase micro-extraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). A total of 16 aldehydes such as pentanal, hexanal, heptanal, (Z) or (E)-2-heptenal, octanal, (E,E)-2,4-heptadienal, (E)-2-dodecenal, nonanal, (E)-2-nonenal, decanal, (E,E)-2,4-nonadienal, 4-oxononanal, (Z) or (E)-2-decenal, undecanal, (E,E)-2,4-decadienal, and 2-undecenal were identified in the soybean oil during frying process in mass food service. The relative contents of five aldehydes such as pentanal, hexanal, (Z) or (E)-2-heptenal, (E,E)-2,4-heptadienal, and (E,E)-2,4-nonadienal were significantly increased in the frying oil used over 3 times. Also, there were significant differences in the relative contents of the seven aldehydes such as (E)-2-dodecenal, nonanal, (E)-2-nonenal, 4-oxononanal, (Z) or (E)-2-decenal, (E,E)-2,4-decadienal, and 2-undecenal between control and used soybean oil.

Key words: soybean oil, frying oil, solid phase microextraction (SPME), aldehydes, lipid oxidation

서 론

식생활의 서구화가 진행되면서 튀김음식에 대한 선호도와 섭취량은 증가하는 추세를 보이고 있다(Choi et al., 2011). 튀김조리에 사용되는 식용유는 열을 식품에 전달하는 매체일 뿐만 아니라 음식에 풍미와 식감을 부여하는 기능을 한다(Choi et al., 2011). 튀김 과정 중 유지에서는 열에 의해 산화, 중합, 분해반응 등이 일어나고 이로 인해 과산화물들이 형성되며, 또한 분해가 더 진행되면 유리가 반응하여 새로운 성분들의 생성도 이루어지거나 알데히드류, 케톤류 등의 성분들이 생성된다(Rojo and Perkins 1987; Choe and Lee 1998). 일반적으로 튀김조리를 포함하여 식품 조리에서 다양하게 이용되는 대두유(soybean oil)

는 리놀레산이나 리놀렌산 등의 불포화 지방산을 다량 함유하고 있어 유지의 산화로 인한 변패가 진행되어 품질저하가 일어나게 되는 것으로 알려져 있다(Stenson et al., 2002; Fox and Stachowiak, 2007). 특히 지방에 의한 지방산화가 진행되어 pentanal, hexanal 등 휘발성 이취성분들이 생성되고, 리놀레산, 리놀렌산 등의 필수 지방산 손실이 발생하여(Kim et al., 2008) 관능적 측면과 영양학적 측면 모두에서 품질저하가 일어난다. 기존에 선행된 연구에서는 단체급식 또는 외식산업에서 사용하는 튀김유의 품질평가 도구로서 산화 안전성, 지방산 조성, 산가, 요오드가, 과산화물가, 색도, 점성 등에 대해서는 다양한 연구가 이루어져 왔으나(Yun et al., 2000; Lee et al., 2007; Lee et al., 2010), 튀김 풍미에 중요한 영향을 미치는 휘발성 성분들에 대한 연구는 미흡하다. 특히 튀김유의 휘발성 성분들 중에서도 관능적 불쾌감을 주는 이취(off-flavor) 성분으로 지목되고 있는 알데히드류 함량에 대한 집중적인 연구는 부족한 실정이다(Snyder et al., 1988). 본 연구에서는 실제 단체급식과 같은 대규모의 튀김조리 여건에서 발생하는 대두유의 알데히드류를 평가해 봄으로써 반복조리에 따른 대두유의 이취성분 생성에 대해 알아보고자 하였다.

*Corresponding author: Young-Suk Kim, Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
Tel: +82-2-3277-3091; Fax: +82-2-3277-4213
E-mail: yskim10@ewha.ac.kr

Received September 7, 2013; revised October 15, 2013; accepted October 16, 2013

재료 및 방법

재료 및 시약

실험에 사용된 대두유는 시중에 유통 중인 L사 제품을 사용하였으며, 튀김재료로 E사 오징어링(1 kg/PAC)을 사용하였고, L사 대두유(18 L/CAN) 5 L를 사용하되 1 회 조리가 완료된 후 부족한 양을 보충하여 5 L로 기름 양을 맞추고 후 조리를 진행하였다. 냉동 보관된 오징어튀김은 1 회에 5 kg(약 50 인분)씩, 총 4 회 20 kg(약 200 인분)이 조리되었으며, 180°C에서 5분간 튀김조리 하였다. 튀김기는 스테인레스스틸 재질의 전기식 튀김기(860*490*910 mm, Woosung INC. LTD., Seoul, Korea)를 사용하였는데, 온도감지 및 자동 온도조절 기능이 있어 일정하게 튀김온도 유지가 가능하였다. 미사용 대두유 대조군(C)을 포함하여 각 튀김 회차별(F1, F2, F3, F4)로 총 실험군 5군의 품질변화를 측정하였다.

휘발성 알데히드류 추출

대두유의 휘발성 알데히드류는 고체상미세추출법(solid phase microextraction: SPME)으로 추출하였으며, SPME manual holder, 65 µm divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane(DVB/CAR/PDMS) SPME fiber는 Supelco 사 (Bellefonte, PA, USA)의 제품을 사용하였다. Headspace vial(Agilent Technology, Palo alto, CA, USA)에 시료 5 g과 내부표준물질로 benzothiazole [10 ppm (v/v) in soybean oil] 10 µL을 첨가한 후, cap (Agilent Technology, Palo alto, CA, USA)으로 밀봉하여 30초 동안 voltexing 하였다. headspace 내 휘발성 물질의 평형을 위해 vial을 90°C의 항온수조에서 30분 동안 방치한 후, SPME fiber를 5 mm 노출시켜 시료의 휘발성 물질

을 30분간 흡착하였다.

휘발성 알데히드류의 분리 및 분석

추출된 휘발성 알데히드류는 HS-SPME/GC-MS로 정성 및 정량 분석하였다. DVB/CAR/PDMS fiber로 흡착한 휘발성 물질들은 GC(Agilent 6890, Agilent Technology, Palo alto, CA, USA)-MS(5973N, Hewlett-Packard Co., Palo Alto, CA, USA) 주입기(250°C)에서 5분간 유지시켜 탈착하였다. 고정상으로는 DB-5MS(30 m×0.25 mm i.d.×0.25 µm film thickness, J&W Scientific, Folsom, CA, USA) 컬럼을, 이동상으로는 헬륨을 사용하였으며, 유속은 1.0 mL/min으로 하였고 시료의 주입 시에는 splitless mode를 사용하였다. GC 오븐은 40°C에서 5분간 유지시킨 후, 4°C/min의 속도로 증가시켜 250°C에서 5분간 유지시켰다. 주입구(injector)와 검출기(detector) transfer line의 온도는 각각 250°C와 260°C로 하였으며, mass scan range는 35-550 m/z, ionization energy는 70 eV에서 EI(Electron ionization) 방식으로 분석하였다. 각 휘발성 알데히드류의 동정은 mass spectral database(Wiley 7n, Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, USA, 1995) 및 n-alkane과 Kovat index를 이용하여 산출한 RI(Retention indices)를 기준으로 하여 분석되었다(Zhang et al., 2010, Lin & Blank, 2003). 휘발성 알데히드류의 정량은 GC-MS total ion chromatogram 상의 내부표준물질로 사용된 benzothiazole[10 ppm (v/v) in soybean oil, 10 µL]의 피크 면적(peak area)과 휘발성 알데히드류의 피크면적을 비교하여 상대적 함량(relative peak area)으로 구하였다.

통계처리

SPSS program(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여

Table 1. Odor descriptions and odor threshold values of aldehydes in soybean oil used as frying oil.

No.	Components	Odror descriptions	Odor threshold values (µg/kg, in oil)	References ¹⁾
1	pentanal	woody, bitter, oily	240	a, b
2	hexanal	green-sweet, green apple, grassy	75-300	a, b, c, d
3	heptanal	oily, fatty, woody	500	a, b
4	(Z) or (E)-2-heptenal	oxidised, tallowy, pungent	5	a, b
5	octanal	fatty, sharp	320	a, b
6	(E,E)-2,4-heptadienal	fatty, rancid	3620	a, b
7	(E)-2-dodecenal	-	-	-
8	nonanal	fatty, waxy, pungent	150	a, b
9	(E)-2-nonenal	green, fatty, paper-like	4.5-900	b, c
10	decanal	penetrating, sweet, waxy	650	a, b
11	(E,E)-2,4-nonadienal	soapy, penetrating	2500	a, b
12	4-oxononanal	-	-	-
13	(Z) or (E)-2-decenal	painty, fishy, fatty	10	a, b
14	undecanal	waxy, floral, citrus	10	e
15	(E,E)-2,4-decadienal	strong, fatty, deep fried	10-2150	a, b, c
16	2-undecenal	fatty, tallowy	-	f, g

¹⁾ a: Morales et al., 2005; b: Kalua et al., 2007; c: Reiners and Grosch, 1998; d: Aparicio and Luna, 2002; e: Tamura et al., 1999; f: Kochhar, 1993; g: Meijboom, 1964

분산분석(ANOVA: Analysis of Variance)을 수행하였으며, 다중비교분석법인 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p < 0.05$ 의 수준에서 각 시료간 통계적 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

본 실험에서 튀김유로 사용된 대두유의 주요 휘발성 알데히드로는 총 16 가지[pentanal, hexanal, heptanal, (Z) or (E)-2-heptenal, octanal, (E,E)-2,4-heptadienal, (E)-2-dodecenal, nonanal, (E)-2-nonenal, decanal, (E,E)-2,4-nonadienal, 4-oxononanal, (Z) or (E)-2-decenal, undecanal, (E,E)-2,4-decadienal, 2-undecenal]가 검출되었으며, 이들의 향기 특성과 기름 내에서의 후각 역치값은 Table 1과 같다. 일반적으로 식용유지에서 관능적으로 좋지 못한 이취(off-flavor) 성분으로서 알데히드류가 연구되고 있으며(Snyder et al., 1988), 대두유의 경우 주요 알데히드류로서 pentanal, hexanal, 2-hexenal, 2-heptenal, 2,4-heptadienal, 2-octenal, 2-decenal, 2,4-decadienal 등이 보고된 바 있으나(Selke et al., 1987) 대량 튀김 조리 시의 전체 알데히드류 변화량에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 유지의 산패 지표 물질에 대한 연구에서 nonanal 또는 hexanal/nonanal의 비율이 주요 지표로 선정된 바 있으며(Vitchi et al., 2003), 일부 연구에서는 2-pentenal과 2-heptenal이(Solinas et al., 1987), 또는 2,4-heptadienal 등이 주요 지표 성분으로 사용되기도 하였다(Kalua et al., 2007). 본 연구에서는 튀김유로 사용

되는 대두유의 반복 조리 사용 횟수에 따라 SPME-GC/MS로 검출되는 모든 종류의 알데히드류 변화량을 비교해 보고자 하였으며, 초기 미사용 시료와 반복 사용한 튀김유 사이에서 유의적인 알데히드류 함량 변화를 관찰할 수 있었다. 초기 미사용 시료에서는 hexanal, heptanal, octanal, nonanal, decanal, (Z) or (E)-2-decenal, undecanal, (E,E)-2,4-decadienal, 2-undecenal 등 주요 알데히드 9 가지가 소량 검출되었으나, 그 외 7 가지 알데히드는 검출되지 않았다(Table 2). 이는 미사용 대두유에서도 이미 일부 산화가 진행되어 이에서 유래한 휘발성 물질들이 소량 생성되어 있음을 의미한다. 특히 pentanal, hexanal, (Z) or (E)-2-heptenal, (E,E)-2,4-heptadienal, (E,E)-2,4-nonadienal 등 5 가지 알데히드는 튀김사용 횟수 3 회 이상에서 유의적으로 증가하였으며, (E)-2-dodecenal, nonanal, (E)-2-nonenal, 4-oxononanal, (Z) or (E)-2-decenal, (E,E)-2,4-decadienal, 2-undecenal 등 7 가지 알데히드는 대조군에 비해 튀김사용 횟수 1 회에서부터 유의적 차이를 보였으나 그 후 튀김횟수 증가에 따른 유의적 증가는 없었다. 그 외 heptanal, octanal, decanal, undecanal 등의 알데히드는 대조군 및 실험군 간의 유의적 변화가 발생하지 않았다(Table 2, 유의수준 $p < 0.05$) Pentanal과 hexanal은 불포화지방산의 산화로부터 주로 유래하여 생성된 휘발성 지방산화물로, pentanal은 리놀레산의 13-hydroperoxide로부터, hexanal은 올레산의 10-hydroperoxide로부터 생성되는 것으로 보고되고 있다(Chun and Kim, 1991b). 이들 알데히드는 대두유의 산화 정도와

Table 2. Relative contents of aldehydes identified in soybean oil used as frying oil.

No.	RI	Components	C ¹⁾		F1		F2		F3		F4	
			mean ²⁾	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd
1	<900	pentanal	- ³⁾	-	0.18ab ⁴⁾	0.07	0.18ab	0.07	0.27b	0.14	0.29b	0.13
2	<900	hexanal	0.11a	0.06	0.55ab	0.25	0.73ab	0.42	0.93b	0.45	0.95b	0.51
3	907	heptanal	0.02a	0.00	0.09ab	0.04	0.10b	0.03	0.13b	0.07	0.10ab	0.04
4	964	(Z) or (E)-2-heptenal	-	-	0.29ab	0.09	0.35ab	0.10	0.47b	0.13	0.65b	0.39
5	1009	octanal	0.09a	0.05	0.66c	0.18	0.49bc	0.13	0.61c	0.19	0.31ab	0.10
6	1021	(E,E)-2,4-heptadienal	-	-	0.13a	0.02	0.16a	0.05	0.34b	0.07	0.40b	0.20
7	1065	(E)-2-dodecenal	-	-	0.32a	0.16	0.27a	0.07	0.43a	0.15	0.33a	0.17
8	1111	nonanal	0.13a	0.06	0.71b	0.25	0.65b	0.16	0.94b	0.39	0.57b	0.20
9	1167	(E)-2-nonenal	-	-	0.11a	0.06	0.09a	0.03	0.14a	0.04	0.10a	0.03
10	1212	decanal	0.05a	0.01	0.09a	0.03	0.07a	0.02	0.12a	0.05	0.07a	0.03
11	1224	(E,E)-2,4-nonadienal	-	-	-	-	-	-	0.12a	0.04	0.10a	0.03
12	1255	4-oxononanal	-	-	0.09a	0.03	0.09a	0.02	0.12a	0.03	0.08a	0.02
13	1269	(Z) or (E)-2-decenal	0.07a	0.01	0.58b	0.18	0.58b	0.07	0.76b	0.26	0.55b	0.22
14	1314	undecanal	0.03a	0.01	0.07ab	0.02	0.07ab	0.01	0.10b	0.03	0.05a	0.02
15	1326	(E,E)-2,4-decadienal	0.08a	0.02	2.12b	0.43	2.70b	0.45	3.41b	0.87	3.75b	1.62
16	1371	2-undecenal	0.08a	0.03	0.56b	0.16	0.58b	0.07	0.73b	0.22	0.53b	0.18

¹⁾ C: control; F1: frying oil used 1 time; F2: frying oil used 2 times; F3: frying oil used 3 times; F4: frying oil used 4 times

²⁾ Average of relative peak areas to that of internal standard (n=3)±standard deviation

³⁾ -: not detected

⁴⁾ Mean values with the same letter in a row are not significantly different at $p < 0.05$

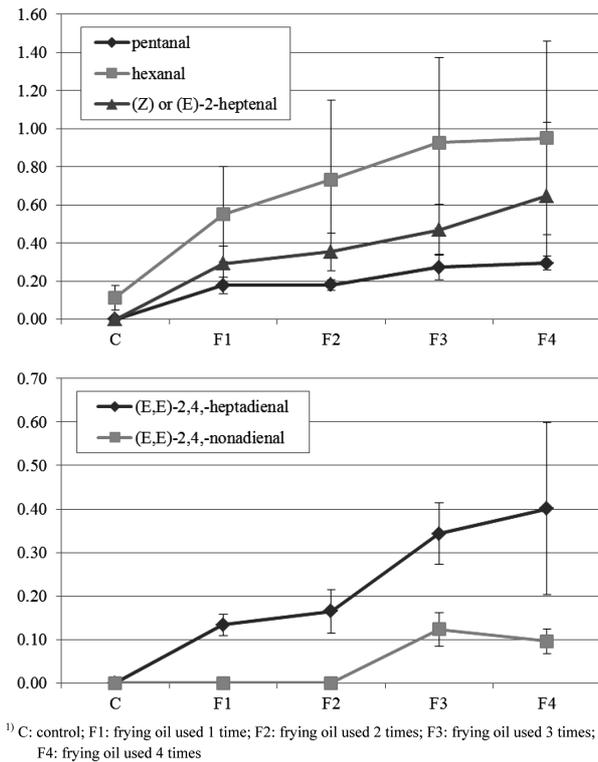


Fig. 1. Changes of major volatile components identified in soybean oil used as frying oil.

품질의 변화를 측정하는 기준으로 연구되어 왔으며(Ullrich and Grosch, 1987; Steenson et al., 2002; Fox and Stachowiak, 2007), pentanal과 hexanal의 함량은 산가, 과산화물가에 비해 유지 산패의 관능검사 결과와 더 높은 상관관계를 나타내어 대두유의 품질 지표 성분으로 이용 가능하다는 연구결과가 있다(Chun and Kim, 1991a). 저분자량의 (Z) or (E)-2-heptenal의 경우 pentanal과 hexanal에 비교하여 소량이 생성되었지만, oil에서의 역치값이 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 다른 알데히드에 비해 상대적으로 매우 낮은 역치값을 지니며 산패취, 우지취, 자극성 냄새 등과 같은 이취 특성을 지니므로(Morales et al., 2005; Kalua et al., 2007), 적은 양으로도 관능적으로 큰 영향을 미칠 가능성이 있다고 사료된다. 또한, (E,E)-2,4-heptadienal, (E,E)-2,4-decadienal은 리놀렌산의 산화로부터 생성되어 자극적인 산패취의 향미특성을 나타내는 휘발성 성분으로(Chun and Kim, 1991a; Yang et al., 2005), 유지의 품질 저하에 주요 인자로 보고된 바 있다(Selke and Frankel, 1987; Lee et al., 1998). 특히, 2,4-decadienal의 함량은 전체적인 휘발성 성분들의 총 함량과 더불어 유지 품질 저하와의 높은 상관관계를 나타내는 알데히드로 보고되고 있다(Min, 1983; Warner and

Frankel, 1985). 일반적으로 pentanal, hexanal 등이 낮은 온도에서 주로 생성되는 지방 분해 산물인 것에 반해, 2,4-decadienal 등은 높은 온도에서의 열분해에 의한 지방 분해 산물인 것으로 보고되어 있다(Chun and Kim, 1991(b)). 이에 따라 고온에서 사용되는 튀김유의 품질 기준으로서 2,4-decadienal을 고려해볼 필요가 있으나, 이 알데히드는 추가적으로 산화가 진행되면서 ethanal, hexanal, butenal, 2-heptenal, 2-octenal, benzaldehyde, glyoxal, trans-2-buten-1,4-dial 등의 다른 알데히드를 생성하며(Matthews et al., 1971), 함량이 점차 감소할 수 있는 가능성이 있으므로 지표 물질로서 적용된다면 튀김유 사용 초기 단계에서만 적합할 것으로 사료된다. 본 연구에서도 반복 조리 횟수 증가에 따라 알데히드 중 가장 대량으로 증가된 성분은 (E,E)-2,4-decadienal로서 조리가 4회 진행됨에 따라 미사용 대두유의 45 배 이상으로 최종적으로 함량이 증가하였다. 유지의 2차 산화를 측정하는 지표로서 휘발성 지방산화물, 특히 알데히드류가 활용되는 점을 고려해 보면 올레산, 리놀레산 및 리놀렌산으로부터 유래되는 주요 휘발성 알데히드류의 상대적 함량을 통해 튀김 횟수의 증가에 따라 대두유의 품질저하가 진행됨을 알 수 있으며, 이를 휘발성 알데히드 함량을 기준으로 하는 튀김유로서의 식용유지의 품질 예측 자료로 활용할 수 있다. 특히 본 연구에서와 같이 오징어튀김 제품 조리 시 유지의 품질저하 판별도구로서 휘발성 알데히드류를 검토해 볼 수 있다.

요 약

본 연구는 냉동 오징어튀김 제품을 단체급식에서 대량 튀김 조리하면서 대두유에서 발생하는 휘발성 알데히드류를 측정함으로써 대량 조리가 진행됨에 따라 발생하는 대두유의 품질저하를 평가하고자 하였다. 휘발성 알데히드류는 solid phase micro-extraction(SPME)과 gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS)을 이용하여 분석되었으며 pentanal, hexanal, heptanal, (E)-2-heptenal, octanal, (E,E)-2,4-heptadienal, (E)-2-dodecenal, nonanal, (E)-2-nonenal, decanal, (E,E)-2,4-nonadienal, 4-oxononanal, 2-decenal, undecanal, (E,E)-2,4-decadienal, 2-undecenal 등 총 16 가지 성분들이 검출되었다. 대조군인 미사용 대두유에서는 9 가지 성분들만이 소량 검출되었으며, pentanal, hexanal, (Z) or (E)-2-heptenal, (E,E)-2,4-heptadienal, (E,E)-2,4-nonadienal 등 5 가지 알데히드는 튀김사용 횟수 3회 이상에서 유의적으로 증가하였고, (E)-2-dodecenal, nonanal, (E)-2-nonenal, 4-oxononanal, (Z) or (E)-2-decenal, (E,E)-2,4-decadienal, 2-undecenal 등 7 가지 알데히드는 대조군에 비해 튀김사용 횟수 1 회에서부터 유의적 차이를 보였으나 그 후 튀김횟

수 증가에 따른 유의적 증가는 없었다.

참고문헌

- Aparicio R, Luna G. 2002. Characterisation of monovarietal virgin olive oils. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.* 104: 614-627.
- Choe EO, Lee JY. 1998. Thermooxidative stability of soybean oil, beef tallow and palm oil during frying of steamed noodles. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 288-292.
- Choi IS, Choi SK, Lee YS. 2011. Analysis of free fatty acid formation and oxidative rancidity for deep frying oil produced by traditional and modified fryers. *Korean J. Culinary Research.* 17: 316-325.
- Chun HN, Kim ZU. 1991a. Evaluation of soybean oil rancid fatty acids during the frying process. *Eur J Lipid Sci Technol.* 102: 515-520.ity by pentanal and hexanal determination. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 34: 149-153.
- Chun HN, Kim ZU. 1991b. Headspace gas chromatography analysis as an objective method for measuring rancidity in soybean oil. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 34: 154-161.
- Fox NJ, Stachowiak GW. 2007. Vegetable oil-based lubricants-A review of oxidation. *Tribol. Int.* 40: 1035-1046.
- Kalua CM, Allen Ms, Bedgood Jr DR, Bishop AG, Prenzler PD, Robards K. 2007. Olive oil volatile compounds, flavor development and quality: a critical review. *Food Chem.* 100: 273-286.
- Kim SS, Park JY, Park SI, Lee YS, Kim JN. 2008. Quality changes of pine nuts(*Pinus koraiensis*) stored in airtight container and zipper bag. *J Korea Soc. Packag Sci & Tech.* 14: 57-63.
- Kochhar SP. 1993. Oxidative pathways to the formation of off-flavours. In *food traints and off-flavours*, edited by saxby M-J. London: Blackie Academic & Professional. 150-201.
- Lee KB, Han MK, Lee MS. 1998. Effet of deodorizing temperature on physicochemical characteristics in con oil. *Korean J. Food & Nutr.* 11: 272-277.
- Lee JM, Chang PS, Lee JH. 2007. Comparison of oxidative stability for the thermally-oxidized vegetable oils using a DPPH method. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 133-137.
- Lee JW, Park JW. 2010. Changes of faty acid composition and oxidation stability of edible oils with frying number of French fried potatoes. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 1011-1017.
- Lin JM, Blank I. Odorants generated by thermally induced degradation of phospholipids. 2003. *J. Agric. Food Chem.* 51: 4364-4369.
- Matthews RF, Scanlan, Libbey LM. 1971. Autoxidation products of 2,4-decadienal. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 48: 745-747.
- Mejboom PW. 1964. Relationship between molecular structure and flavor perceptibility of aliphatic aldehydes. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 41: 326-328.
- Min DB.1983. Analysis of flavor qualities of vegetable oils by gas chromatography. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 60: 544-545.
- Morales MT, Rios JJ, Aparicio R. 2005. Comparative study of virgin olive oil sensory defects. *Food Chem.* 91: 293-301.
- Reiners J, Grosch W. 1998. Odorants of virgin olive oils with different flavor profiles. *J. Agric. Food Chem.* 46(7): 2754-2763.
- Rojo JA, Perkins EG 1987. Cyclic fatty acid monomer formation in frying fats. 1. detemination and structural study. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 64: 414-421.
- Selke E, Frankel EN. 1987. Dynamic headspace capillary gas chromatographic analysis of soybean oil volatiles. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 64: 749.
- Snyder JM, Frankel EN, Selke E, Warner K. 1988. Comparison of gas chromatographic methods for volatile lipid oxidation compounds in soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65: 1617.
- Solinas M, Marsilio V, Angerosa F. 1987. Behaviour of some components of virgin olive oil flavor in relation to maturity. *Rivista Italiana delle sostanze grasse.* 64: 475.
- Stenson DF, Lee JH, Min DB. 2002. Solid phase microextraction of volatile soybean oil and corn oil compounds. *J Food Sci.* 67: 71-76.
- Tamura H, Padrayuttawat A, Tokunaga T. 1999. Seasonal change of volatile compounds of Citrus sudachi during maturation. *Food Sci. Technol. Res.* 5: 156-160.
- Ullrich F, Grosch W. 1987. Identification of the most intense volatile flavour compounds formed during autoxidation of linoleic acid. *Z Lebensm Unters Forsch.* 184: 277-282.
- Vichi S, Pizzale L, Conte LS, Buxaderas, Lopez-Tamames E. 2003. Solid-phase microextraction in the analysis of virgin olive oil volatile fraction: modifications induced by oxidation and suitable markers of oxidative status. *J. Agric. Food Chem.* 51: 6564-6571.
- Warner K, Frankel EN. 1985. Flavor stability of soybean oil based on induction periods for the formation of volatile compounds by gas chromatography. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 62: 100-103.
- Yang SO, Chang PS, Lee JH. 2005. Effects of riboflavin-photo-sensitized oxidation on the formation of volatile compounds in oleic acid model systems. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 717-722.
- Yun GS, Kim NY, Jang MS. 2000. Effect of application methods of frying oil on the physicochemical properties of frying oil in the school foodservice. *Korean J. Soc. Food Sci.* 16: 328-335.
- Zhang Y, Li X, Lo CK, Guo ST. 2010. Characterization of the Volatile Substances and Aroma Components from traditional soypaste. *Molecules.* 15: 3421-3427.