

DPPH법에 의한 식용유지의 열산화 안정성 비교

이재민 · 장판식 · 이재환*

서울산업대학교 식품공학과

Comparison of Oxidative Stability for the Thermally-oxidized Vegetable Oils using a DPPH Method

Jae Min Lee, Pahn-Shick Chang, and Jae Hwan Lee*

Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Technology

Abstract The 2,2-diphenyl picrylhydrazyl (DPPH) method, which can be used to predict the oxidative stability of edible oils, was previously reported by our research group. Not only free radical scavenging antioxidants but also radicals from oxidized oils are capable of reacting with DPPH radicals, thereby reducing the absorbance of DPPH. In this study, the optimum sample size of edible oils for the DPPH method was determined, and the oxidation of the edible oils was monitored via DPPH, coupled with other conventional methods. The optimum sample size was determined as 1.5 g using soybean oil. Soybean, corn, virgin olive, and refined olive oils were thermally oxidized for 3 hr at 180°C and analyzed via DPPH, conjugated dienoic acid (CDA) value, and *p*-anisidine value (*p*-AV) protocols. Soybean and corn oils were found to be more sensitive to thermal oxidation than virgin and refined olive oils, on the basis of the CDA value and *p*-AV measurements. The DPPH method can indicate the inherent radical scavenging activity of unoxidized samples, the time required for the depletion of antioxidants, and the rate of degradation of the antioxidants. The soybean and corn oils evidenced higher levels of free radical scavenging compounds, required more time for the consumption of inherent antioxidants, and also manifested steeper antioxidant degradation rates than olive oils, based on the results of DPPH analysis. The DPPH method, accompanied by other conventional methods, may prove useful in predicting the degree of oxidation of vegetable oils.

Key words: DPPH, degree of oxidation, vegetable oils, conjugated dienoic acid value (CDA), *p*-anisidine value (*p*-AV)

서 론

유지의 산화는 식품에서 영양적, 관능적 가치의 저하를 유발하여 식품의 소비자 선호도를 감소시키고, 과산화지질을 발생시켜 세포손상을 야기하여 각종 질병의 원인이 될 수 있다(1-3). 유지의 산화메커니즘 중 자동산화는 유리 라디칼 연쇄반응(free radical chain reaction)으로 개시(initiation), 전파(propagation), 종결(termination)단계로 구분된다. 개시단계에서 유지는 열, 빛, 물리적, 화학적 에너지 또는 촉매 등에 의해 분자 내 공유결합을 이루고 있는 수소를 잃어 각종 라디칼을 형성하게 된다. 전파단계에서는 라디칼의 연쇄반응에 의해 alkoxy(RO[·]), peroxy(ROO[·]), alkyl radicals(R[·]) 등 각종 라디칼들이 증가하면서 다양한 산화생성물이 생성되고 종결반응에서는 유지유래 라디칼들은 상호간 결합에 의해 비라디칼화 된다(4,5).

유지 산화도 측정에 사용되는 방법은 유지에 의해 흡수된 산소의 양, 점도 및 색도 등의 물리적 수치 측정과 peroxides, aldehydes, alcohols, acids, epoxides, ketones, volatiles 등과 같은 산화생성물의 양을 직·간접적으로 측정하는 화학적 방법 그리

고 관능적 평가 등이 있다. 측정에 사용되는 산화지표물질들은 산화단계에 따라 생성, 분해, 증가 및 감소되기 때문에 한 가지 방법으로만 유지산화도를 정확하게 측정하는 것은 쉽지 않아 목적으로 따라 여러 가지 방법을 병용해야 한다(6-9).

안정한 라디칼인 DPPH는 산화방지물질로부터 전자 혹은 수소를 제공 받으면 비라디칼로 전환되면서 흡광도가 변화하며 이 원리로 DPPH법은 천연물의 수용성 혹은 유기용매 추출물의 항산화 활성측정법으로 널리 사용되고 있다. 하지만, DPPH 라디칼은 전자 혹은 수소뿐 아니라 유지에서 유래된 산화라디칼에 의해서도 비라디칼 형태로 전환될 수 있다. 저자 등은 최근 이 원리를 이용하여 DPPH법을 활용한 유지산화 측정 연구에 대하여 이미 보고한 바 있다(10). 이 방법은 유지로부터 생성되는 유지산화라디칼을 DPPH 흡광도 변화를 활용하여 직접적으로 측정하기에 유지의 산화안정성을 예측하는 데 유용하게 이용할 수 있다. 그러나 DPPH법을 활용한 유지산화도 측정법은 아직 최적화되지 않은 상태이다.

본 연구의 목적은 DPPH법을 활용한 유지산화 측정법을 소개하고 sample size의 최적조건을 설정 후 180°C에서 식물성 유지의 산화 변화를 DPPH법으로 측정하는 것이다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용된 대두유, 옥배유, 압착 올리브유, 정제 올리브유는 시중 대형마트에서 구입하였다. DPPH와 14% methanolic

*Corresponding author: Jae Hwan Lee, Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Technology, Nowon-gu, Gongneung-2-dong, Seoul 139-743, Korea

Tel: 82-2-970-6739

Fax: 82-2-971-5892

E-mail: jhlee@snut.ac.kr

Received December 16, 2006; accepted March 23, 2007

boron trifluoride(BF_3)는 Sigma-Aldrich 사(St. Louis, MO, USA)의 제품을, butylated hydroxytoluene(BHT)과 이소옥탄은 Junsei Chemical 사(Tokyo, Japan)의 제품을, *p*-anisidine은 Kanto Chemical 사(Tokyo, Japan)의 제품을 사용하였다. 그 외의 sodium chloride, sodium sulfate anhydrous, *n*-hexane, acetic acid, methanol은 Daejung Chemical 사(Seoul, Korea)의 제품을 사용하였다.

식용유의 열산화

식용유지를 10 mL 시료병에 일정량 넣고 건식 오븐(Win Science, Seoul, Korea)에서 3시간 동안 180°C에서 열산화를 유도하였다. 시료는 30분 간격으로 채취하고 15분간 상온에서 방냉 후 DPPH법, CDA법, *p*-AV법으로 유지산화도를 분석하였다.

DPPH법을 위한 시료 크기 결정

대두유를 10 mL 시료병에 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 g 첨가 후 180°C 건식 오븐에서 3시간 동안 열산화를 유도하였다. 30분 간격으로 시료를 채취하고 15분간 상온에서 방냉 후 DPPH법으로 산화도를 측정하였다.

DPPH법 분석법

유지시료 56 μL 를 0.10 mM DPPH(95% isoctane) 5 mL에 첨가하여 암실에서 30분간 정지 시킨 후, UV/VIS-spectrophotometer(model UV-1650PC, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도는 Lee 등(10)의 연구에서 보고된 BHT equivalent($y = -3.7896x + 3.6609$, $R^2 = 0.999$)로 환산하였다.

Conjugated dienoic acid(CDA)와 *p*-anisidine value(*p*-AV) 분석법

CDA는 AOCS법에 의해 측정하였다(11). 시료 100 mg을 25 mL의 이소옥탄에 정용하고 이를 다시 이소옥탄으로 10배(v/v) 희석한 후 UV/VIS-spectrophotometer로 233 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 다음 식에 의해 CDA값으로 환산하였다.

$$\text{CDA value (\%)} = \frac{0.84 \times A_{233}}{bc - K_0}$$

K_0 : acid의 흡광도계수(0.03), A_{233} : 233 nm에서의 흡광도

b : cell의 길이(cm), c : L 당 시료의 무게(g)

p-AV는 AOCS법에 의해 측정하였다(12). 시료 100 mg을 25 mL의 이소옥탄에 정용하고, UV/VIS-spectrometer로 350 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 용액 2.5 mL에 0.25%(w/v) *p*-anisidine용액 0.5 mL을 혼합하고 15분간 반응시킨 후, 동일 파장에서 흡광도를 측정하고 다음 식에 의해 *p*-AV를 계산하였다.

$$\text{p-Anisidine value} = \frac{25 \times (1.2As - Ab)}{W}$$

As : 아니시딘 시약과 반응한 후의 시료 용액의 흡광도

Ab : 아니시딘 시약과 반응하기 전의 시료 용액의 흡광도

W : 시료 무게(g)

지방산 메틸 에스터화

유지시료의 지방산 분석을 위해 AOAC의 fatty acid methyl ester(FAME)방법을 이용하였다(13). 시료 100 mg을 25 mL 시약병에 넣고 0.5 N NaOH(99.5% methanol) 4 mL에 희석하여 vortex mixer로 30초 동안 혼합한 후, 15분간 중탕하여 비누화하였다. 냉

각한 시료에 14% BF_3 (99.5% methanol) 4 mL를 넣고 교반기로 30초 동안 교반 후, 10분간 중탕하여 메틸 에스터화 하였다. 시료에 saturated sodium chloride 용액 6 mL와 *n*-hexane 3 mL을 넣고 30초 동안 교반하였다. FAME가 녹아있는 *n*-hexane층을 회수 한 후, sodium sulfate anhydrous로 탈수하고 이를 gas chromatography(GC)에 주입하였다.

지방산 분석을 위한 GC 조건

GC는 flame ionization detector(FID)가 장착된 Hewlett-Packard 5890-II(Palo Alto, CA, USA)를 사용하였고, column은 J & W Scientific(Folsom, CA, USA)의 DB-23(60 m × 0.25 mm ID, 0.25 μm film)을 사용하였다. 주입구와 검출기의 온도는 각각 260°C였고, column의 이동상은 헬륨으로 유속 1.1 mL/min, split ratio는 1 : 50, 시료 주입량은 1 μL 였다. Oven은 초기 1분간 100°C에서 머문 뒤, 15°C/min으로 195°C까지, 1°C/min으로 210°C까지, 5°C/min으로 240°C까지 승온시킨 후 7.5분간 유지하였다.

통계분석

측정된 결과는 SPSS program(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분산분석한 후 유의적 차이가 있을 경우 다중비교분석법인 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p < 0.05$ 유의 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

DPPH법을 이용한 유지산화 측정

대두유 0.5 g을 180°C에서 3시간 동안 산화시킨 시료의 DPPH 흡광도 변화는 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 ‘a’는 열산화 처리 전 시료의 흡광도로서 이소옥탄만 첨가한 0.985 ± 0.004 에 비해 유의적으로 감소된 수치인 0.398 ± 0.01 을 보았다($p < 0.05$). 이 결과는 유지시료 내에 DPPH 라디칼을 비라디칼 형태로 변환시킬 수 있는 물질이 존재함을 의미한다. 예비실험 및 전보(10)에 의하면 산화가 진행되지 않은 정제된 식용유 및 lard는 DPPH의 흡광도를 크게 감소시킬 수 없으나 전자 혹은 수소 제공물질 같은 산화방지물질이 존재 시 흡광도를 감소시켰다. 이를 이용하여 초기 유지시료가 갖는 산화방지물질의 전자 혹은 수소공여능을 측정할 수 있다. ‘b’ 구간에서는 열산화 처리된 시료들이 DPPH 흡광도를 증가시켰는 데 주요 원인은 열산화에 의해 감소된 산화방지물질에 기인한 것으로 판단된다. 열산화가 진행되면, 산화된 유지로부터 라디칼이 발생하게 되고 산화방지물질은 산화유지의 라디칼 생성을 억제하기 위해 소모된다. DPPH 라디칼과 반응할 수 있는 산화방지물질이 감소하게 되면 DPPH는 라디칼 형태로 많이 존재하게 되어 흡광도는 증가한다. DPPH 흡광도 증가는 산화유지 라디칼의 발생과 산화방지제의 소모 속도에 의해 영향을 받는다. ‘c’는 증가하던 DPPH 흡광도가 정점에 도달하는 경향변화점(pattern change point) 혹은 내부 산화방지물질 소진점(point for the consumption of inherent free radical scavenging compounds)이다. 경향변화점은 유지산화에 의해 내부에 존재하던 산화방지물질이 소진되어 DPPH와의 반응이 가장 적게 되는 시점으로 높은 흡광도를 나타낸다. 산화방지물질 소진 이후 ‘d’ 구간에서는 산화방지물질을 소진 시킨 후 추가로 발생된 유지라디칼들이 DPPH라디칼과 직접 반응하여 흡광도를 감소시키게 된다. ‘e’ 이후에는 흡광도는 다시 증가한다. 이때, 유지의 산화단계는 종결(termination)반응단계로서, 유지 라디칼끼리 결합하여 라디칼이 줄어들게 되어 흡광도가 증가하는 것으로 판단된다. 산화방지

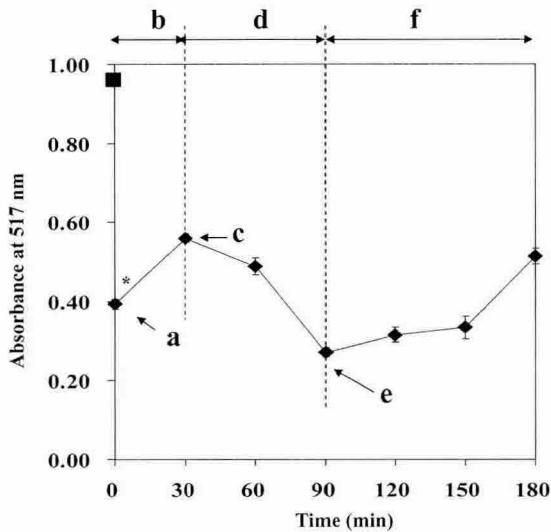


Fig. 1. Absorbance changes of DPPH with thermally oxidized soybean oil at 180°C for 3 hr (sample size: 0.5 g). * on 'a' point indicates that the absorbance of 'a' point (\blacklozenge) is significantly different from that of isoctane (\blacksquare) at $p < 0.05$.

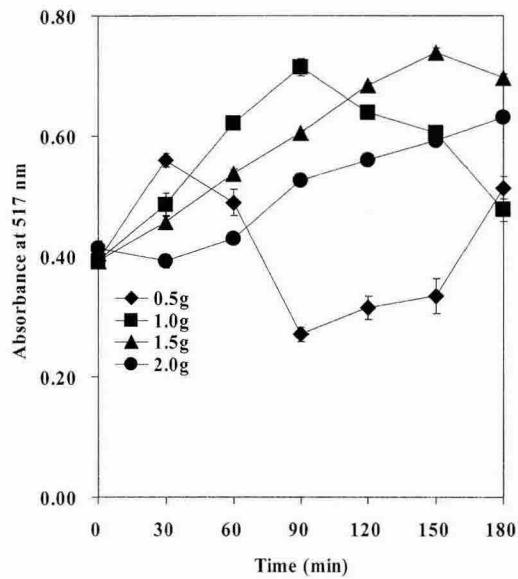


Fig. 2. Effects of sample size of thermally-oxidized soybean oils at 180°C for 3 hr on the absorbance of DPPH.

물질을 포함하는 유지시료는 열산화에 따라 b, d, f에서 각각 산화방지물질의 소진, 유지산화라디칼의 증가, 유지산화라디칼 상호간의 결합반응이 순차적으로 진행되어 DPPH의 흡광도 변화를 유발하는 것으로 예상된다. a 및 c로부터 초기시료에 존재하는 전자 혹은 수소공여능을 갖는 산화방지물질의 농도, 산화방지물질의 소진시점 및 소진속도를 결정할 수 있고, 특히 산화방지물질의 소진시점과 소진속도는 열산화된 유지로부터 발생하는 유지라디칼 생성과 직접적인 관련이 있는 것으로 규명되어 있는 바 (10), 이들은 시료간의 산화 안정성을 비교할 수 있는 지표로 사용 가능하다.

DPPH 측정법을 위한 시료 크기 결정

0.5, 1.0, 1.5, 2.0 g 시료 크기를 갖는 대두유에 의한 DPPH 흡

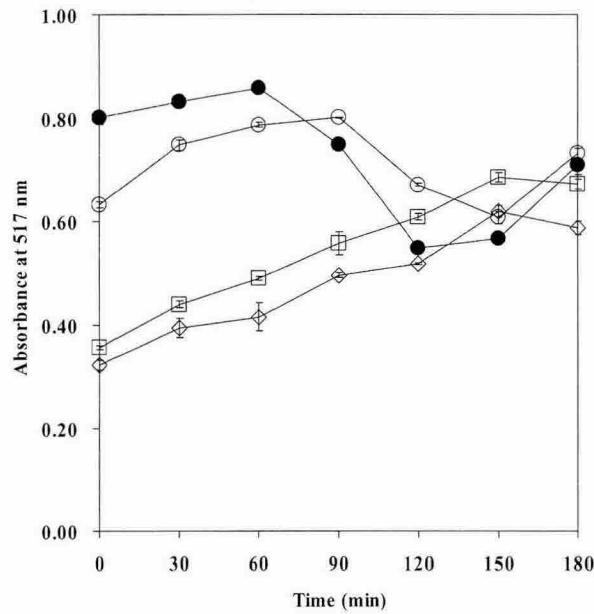


Fig. 3. Changes of DPPH absorbance from thermally-oxidized vegetable oils at 180°C for 3 hr. \diamond : soybean oil, \square : corn oil, \circ : virgin olive oil, \blacklozenge : refined olive oil.

광도 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 열산화 비처리 대두유 시료의 DPPH값은 2.154 ± 0.038 mM BHT로 환산되었다. 0.5, 1.0, 1.5 g 시료들의 경향 변화점은 각각 30분, 90분, 150분에 나타났으며 2.0 g 시료의 경우에는 3 시간 이내에 나타나지 않았다. 경향 변화점까지 산화방지물질의 소진속도는 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 g의 경우 각각 -1.268 , -0.813 , -0.523 , -0.275 mM BHT/hr였다. 내부 산화방지물질의 소진속도가 느릴수록 경향 변화시점은 늦어지며 이는 유지가 주어진 산화조건에 대해 상대적으로 안정함을 의미하므로 유지의 산화안정도 측정에 이용 가능하다. 전보(10)에 의하면 시중에서 구입한 대두유의 DPPH 흡광도 경향변화점은 카놀라유나 올리브유에 비하여 늦게 나타났다. 만약 대두유의 경향변화점이 빨리 나타나면 다른 유지들은 그 이전에 경향변화점에 도달하기에 식용유지간 산화안정성 비교가 쉽지 않게 된다. 본 연구에서 대두유 1.5 g 시료는 경향변화점이 2.5시간에 나타났고, 이는 경향변화점이 빨리 나타나는 다른 유지시료와의 상대적인 산화안정성을 비교하는 목적으로 적절한 시간으로 판단되어 1.5 g을 최적 시료 크기로 결정하였다.

열산화된 식용유지의 DPPH, CDA, p-AV 측정

4종류 식용유지의 양을 각각 1.5 g으로 하여 열산화를 유도한 후 DPPH법, CDA법, p-AV법으로 산화도를 측정한 결과는 Fig. 3 과 4에 나타내었다. DPPH법에 의한 분석 결과, 초기 시료들의 흡광도는 0.322-0.803 범위에서 측정되었다(Fig. 3). 4종류 시료들의 DPPH법 분석 결과들로부터 도출된 산화지표들을 Table. 1에 정리하였다. 각 시료의 초기 전자 혹은 수소공여능은 대두유, 옥배유, 압착 올리브유, 정제 올리브유순으로 각각 2.44, 2.31, 1.26, 0.62 mM BHT이었다. 대두유의 전자 혹은 수소공여능이 가장 높았고, 정제 올리브유는 가장 낮았다. 내부 산화방지물질의 소진시점인 경향변화점은 정제 올리브유는 60분, 압착 올리브유는 90분, 대두유와 옥배유는 각각 150분 이었다. 산화방지물질 소진속도는 옥배유, 대두유, 압착 올리브유, 정제 올리브유 순으로 높았으며, 각각의 수치는 -0.333 , -0.301 , -0.284 , -0.141 mM BHT/

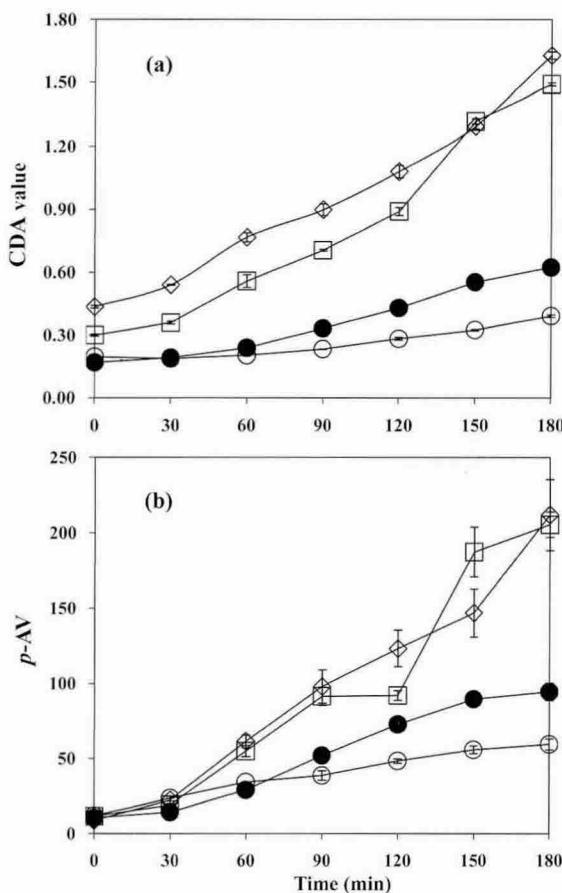


Fig. 4. Changes of CDA (a) and p-AV (b) from thermally-oxidized vegetable oils at 180°C for 3 hr. ◇: soybean oil, □: corn oil, ○: virgin olive oil, ●: refined olive oil.

hr/g 이었다.

산화에 의한 식용유지의 CDA value와 p-AV의 결과는 180분 동안 산화시간에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 180분 열산화 시점에서 CDA는 대두유, 옥배유, 정제 올리브유, 압착 올리브유 순으로 높게 나타났고, p-AV는 대두유-옥배유, 정제 올리브유, 압착 올리브유 순으로 높은 수치를 나타내어 두 가지 측정방법은 서로 유사한 경향을 나타내었다. CDA는 non-conjugated type의 diene 구조에서 생성되는 1차 산화생성물을 측정하는 방법이고, p-AV는 2차 산화생성물인 alkenal류를 측정한다(3). 4종류 시료의 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 지방산의 불포화도(u/s)는 옥배유가 6.20으로 가장 높았으며, 대두유, 압착 올리브유, 정제 올리브유는 각각 5.27, 5.76, 5.24의 수치를 나타내었다. 대두유와 옥배유는 diene구조를 지닌 불포화지방산인 linoleic acid(C18:2)와 linolenic acid(C18:3)를 50% 이상 함유하고 있고, 올리브유는 상대적으로 산화에 안정한 oleic acid(C18:1)를 72% 이상 함유하고 있었다. 대두유의 불포화도(u/s)가 올리브유들과 유사하였으나 고도 불포화지방산의 함량이 증가할수록 라디칼 생성은 증가하기에 대두유의 산화방지물질의 소진속도는 올리브유보다 높았다(Table. 1). 대두유와 옥배유는 올리브유에 비하여 불포화도가 높거나, 이중결합의 수가 많기 때문에 상대적으로 높은 CDA와 p-AV를 보였다(Table 2).

Table 1. Comparison of oxidative parameters from DPPH method for thermally-oxidized vegetable oils

Vegetable oil	BHT equivalent of initial state (mM BHT)	Time to need pattern change (min)	Antioxidant depletion rate (mM BHT/hr/g)
Soybean oil	2.439	150	-0.301
Corn oil	2.312	150	-0.333
Olive oil (virgin)	1.262	90	-0.284
Olive oil (refined)	0.618	60	-0.141

정하는 방법이고, p-AV는 2차 산화생성물인 alkenal류를 측정한다(3). 4종류 시료의 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 지방산의 불포화도(u/s)는 옥배유가 6.20으로 가장 높았으며, 대두유, 압착 올리브유, 정제 올리브유는 각각 5.27, 5.76, 5.24의 수치를 나타내었다. 대두유와 옥배유는 diene구조를 지닌 불포화지방산인 linoleic acid(C18:2)와 linolenic acid(C18:3)를 50% 이상 함유하고 있고, 올리브유는 상대적으로 산화에 안정한 oleic acid(C18:1)를 72% 이상 함유하고 있었다. 대두유의 불포화도(u/s)가 올리브유들과 유사하였으나 고도 불포화지방산의 함량이 증가할수록 라디칼 생성은 증가하기에 대두유의 산화방지물질의 소진속도는 올리브유보다 높았다(Table. 1). 대두유와 옥배유는 올리브유에 비하여 불포화도가 높거나, 이중결합의 수가 많기 때문에 상대적으로 높은 CDA와 p-AV를 보았다(Table 2).

DPPH법에 의해 생성된 하나의 흡광도값은 유지시료의 산화방지물질에 기인한 것인지 혹은 유지 유래 라디칼에 의한 것인지 불분명하기에 기존방법과의 병용이 요구된다. 유지에 의한 DPPH의 흡광도 변화가 산화방지제 및 유지산화라디칼 이외의 요인에 의해 영향을 받을 가능성이 또한 완전히 배제할 수 없으며 이에 대한 연구가 필요하다. DPPH법을 활용하여 천연물질 추출물의 전자 혹은 수소공여능을 측정하는 연구의 경우, 추출물에 존재하는 라디칼에 의해서도 DPPH의 흡광도는 감소할 수 있기에 보다 주의 깊은 결과 해석이 필요하다.

요약

유지의 산화안정도 측정을 위해 개발된 DPPH법의 최적화를 위해 시료의 양에 따른 유지의 산화변화를 분석하였고, 결정된 조건을 사용하여 시중에서 투김유로 사용되는 4종류 식용유지의

Table 2. Fatty acid compositions (%) of vegetable oils used in this study

Fatty acid	Vegetable oil			
	Soybean oil	Corn oil	Olive oil (virgin)	Olive oil (refined)
Palmitic acid (C16:0)	10.51	10.91	10.3	12.03
Palmitoleic acid (C16:1)	0.09	0.16	0.82	0.96
Stearic acid (C18:0)	4.16	2.05	3.78	3.12
Oleic acid (C18:1)	25.47	28.98	77.94	72.25
Linoleic acid (C18:2)	50.65	55.16	5.17	9.21
Linolenic acid (C18:3)	6.63	0.96	0.66	0.76
Arachidic acid (C20:0)	0.40	0.45	0.43	0.49
Behenic acid (C22:0)	0.48	0.14	0.12	0.15
Lignoceric acid (C24:0)	0.17	0.2	0.06	0.07
u/s ¹⁾	5.27	6.20	5.76	5.24

¹⁾Ratio of unsaturated fatty acids to saturated fatty acids

열산화안정성을 측정하였다. CDA와 *p*-AV는 산화반응이 진행될 수록 증가하였으며 시료간의 상대적인 산화안정성 차이를 확인 할 수 있었다. 반면에 DPPH법은 유지의 산화라디칼과의 반응성을 이용하여 흡광도의 증가와 감소를 반복하는 경향을 나타냈고 이로부터 유지산화라디칼의 변화를 측정 할수 있었다. 또한 유지의 초기 전자 혹은 수소공여능을 확인 할 수 있었고, DPPH 흡광도 증가를 통해 산화방지물질의 소진속도 및 산화라디칼의 생성속도를 계산할 수 있었으며, 산화방지물질의 소진시점을 결정 할 수 있었다. 따라서 DPPH법을 기준의 산화도 측정방법과 병 용한다면 유지의 산화도는 물론 산화반응 단계를 측정 할 수 있고, 산화안정성을 예측하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(과제번호:10625)의 연구지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

- Channon HA, Trout GR. Effect of tocopherol concentration on rancidity development during frozen storage of a cured and an uncured processed pork product. *Meat Sci.* 62: 9-17 (2002)
- Choe YO, Min DB. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. *J. Food Sci.* 70: 142-159 (2005)
- Min DB. Lipid oxidation of edible oil. pp. 283-296. In: *Food Lipids*. Akoh K, Min DB (eds). Marcel Dekker, New York, NY, USA (1998)

- Nawar WW. Lipids. pp. 225-320. In: *Food Chemistry*. Fennema OR (ed). Marcel Dekker. New York, NY, USA (1998)
- Frankel EN. Chemistry of autoxidation: Mechanism, products and flavor significance. pp. 1-37. In: *Flavor Chemistry of Fats and Oils*. Min DB, Smouse TH (eds). AOCS Press, Champaign, IL, USA (1985)
- Jelen HH, Obuchowska M, Zawirska-Wojtasiak R, Wasowicz E. Headspace solid-phase microextraction use for the characterization of volatile compounds in vegetable oils of different sensory quality. *J. Agr. Food Chem.* 48: 2360-2367 (2000)
- Beltran E, Pla R, Yuste J, MoroMur M. Lipid oxidation of pressurized and cooked chicken: role of sodium chloride and mechanical processing on TBARS and hexanal values. *Meat Sci.* 64: 19-25 (2003)
- Juntachote T, Berghofer E, Siebenhandl S, Bauer F. The antioxidant properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork. *Meat Sci.* 72: 446- 456 (2006)
- Rehman ZU, Habib F, Shah WH. Utilization of potato peels extract as a natural antioxidant in soy bean oil. *Food Chem.* 85: 215-220 (2004)
- Lee JM, Chung H, Chang PS, Lee JH. Development of a methods predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). *Food Chem.* 103: 662-669 (2007)
- AOCS. Official and Tentative Methods of the AOCS. 3rd ed. Method Cd 18-90. American Oil Chemists' Society Press, Champaign, IL, USA (1980)
- AOCS. Official and Tentative Methods of the AOCS. 4th ed. Method Ti 1a-64. American Oil Chemists' Society Press, Champaign, IL, USA (1990)
- AOAC. Official Method of Analysis of AOAC Intl. 17th ed. Method 969.33. Association of Official Analytical Communities, Gaithersburg, MD, USA (2000)