

들깨의 발아가 들깨유의 산화 및 토코페롤 안정성에 미치는 영향

황현숙 · 최은옥*
인하대학교 식품영양학과

Effects of Seed Germination on Oil Oxidation and Tocopherol Stability of Perilla Oil

Hyunsuk Hwang and Eunok Choe*

Department of Food and Nutrition, Inha University

Abstract Auto- and photo-oxidative stability of oil extracted from germinated perilla seeds during storage at 60°C for 4 days was studied by determining peroxide and conjugated dienoic acid values. Tocopherol contents during oil oxidation were also monitored by high performance liquid chromatography. Perilla oil was oxidized and tocopherols were degraded during storage at 60°C regardless of the presence of light. Light increased oil oxidation and tocopherol degradation. Seeds germinated for 12 h had increased tocopherol contents in the oil and improved the auto- and photo-oxidative stability of the perilla oil. Tocopherol played a more important role as an antioxidant in the presence of light than in the absence of light.

Keywords: autoxidation, photooxidation, perilla seed oil, germination, tocopherol

서 론

들깨(*Perilla frutescens* Britton var. *japonica* Hara)는 약 44%의 지방질을 함유하고 있으며, 특히 구성 지방산 중 60%가 필수지방산인 ω-3계의 리놀렌산으로 영양가치 및 생리활성이 높은 식용유로 평가 받고 있다(1,2). 그러나 리놀렌산은 고도불포화지방산으로서 들기름이 쉽게 산패되는 주요 원인으로 작용하며, 가공, 판매, 저장 중 이취를 생성하여 다른 식용유에 비해 이용이 제한되어 왔으므로(3), 들기름의 산화안정성을 개선하기 위한 다양한 연구들이 이루어져 왔다(4-8).

발아에 의한 종실의 생리활성 증가로 발아종실에 대한 소비자의 관심이 증가하고 이를 이용한 다양한 음식과 제품이 시장에 소개되었다. 종자는 발아할 때 탄수화물, 단백질, 지방질을 사용하여 에너지를 소모하므로 종자의 구성성분 조성이 변화한다(9-11). 대두와 유채씨에서는 발아에 의해 토코페롤과 식물스테롤 등의 함량이 증가하였다(12,13). 발아에 따른 종자의 조성 변화는 발아 종자로부터 추출한 기름의 산화안정성에 영향을 줄 수 있다. Kim 등(3)은 28°C에서 3일 발아시킨 들깨에서 인지지방과 토코페롤의 함량과 들기름의 자동산화안정성 증가를 보고하였으나 그 외 발아기간이 다른 종자로부터 추출한 기름의 조성 and 산화안정성, 유용성분의 변화 및 이들의 상호작용에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

식품으로서의 발아 들깨의 이용도는 지방질, 단백질과 같은 주요성분의 화학적 변화 외에도 토코페롤과 같은 유용성분에 의해 좌우될 수 있으며, 발아 조건에 따른 지방질산화와 유용성분과의 상관관계가 면밀히 연구될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 발아 기간의 차이에 의해 발아정도가 다른 들깨로부터 유지를 추출한 후 가속 산화 조건인 60°C에서 빛의 존재 하에서 또는 어두운 곳에 저장하면서 들깨유지의 산화 및 토코페롤 안정성을 평가함으로써 자동산화 및 광산화 환경에서 안정성이 개선되어 들깨의 이용 가치를 높이는데 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

들깨는 전라남도 순천에서 재배된 것을 인천광역시의 재래시장에서 구입하여 12시간 동안 23°C 물에 침지한 후 약 15분 동안 물빠짐을 하였다. 이 들깨를 발아 틀(30×50 cm)에 약 2 cm 두께로 깔고 광목천으로 빛을 차단하여 30°C 식물배양기(Dongyang Scientific Co., Gwangju, Korea)에서 12, 36, 48시간 동안 발아시켰다. 예비실험 결과, 48시간의 발아 기간 이후에는 미생물의 번식이 증가하여 정상적인 발아들깨를 필요한 양만큼 얻을 수 없었으므로 들깨의 최대 발아시간을 48시간으로 설정하였다. 또한 발아 시작 후 12시간 마다 흐르는 물(23°C)에 행구어 잠균이나 곰팡이의 생장을 억제시켰다. 발아된 들깨는 40°C, 어두운 곳에서 8시간 동안 건조하여 시료로 사용하였으며, 대조군으로는 발아시키지 않은 들깨를 사용하였다.

실험에 사용한 HPLC용 n-헥산과 아이소프로판올은 J. T. Baker 사(Phillipsburg, NJ, USA), 14% BF₃-메탄올, 지방산 표준물질, α-, γ-, 그리고 δ-토코페롤은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)의 제품이었다. 그 외의 모든 시약은 일급시약이었다.

*Corresponding author: Eunok Choe, Department of Food and Nutrition, Inha University, Incheon 402-751, Korea
Tel : 82-32-860-8125
Fax: 82-32-862-8120
E-mail: eochoe@inha.ac.kr
Received December 6, 2010; revised February 28, 2011;
accepted March 18, 2011

발아들깨유의 추출

발아 들깨 110 g에 n-헥산 500 mL를 믹서(Blender 8420, Waring Commercial, Torrington, CT, USA)에 넣고 5분 동안 분쇄한 후 뚜껑이 있는 1L 유리 용기에 옮겨 40°C 수조에서 2시간 동안 96 rpm으로 진탕하였다. Büchner 깔때기와 여과지(Whatman No. 42, Kent, UK)를 사용하여 감압여과하고, 40°C에서 회전진공 증발기(N-N series, Eyela, Tokyo, Japan)를 사용하여 여과물로부터 n-헥산을 완전히 제거하여 발아들깨유를 얻었다.

발아들깨유의 산화

발아들깨유 7 g 씩을 투명한 20 mL 시료병에 넣고 한지와 고무줄로 입구를 막아 공기가 유입될 수 있도록 한 후 형광등(1,700 lux)이 부착된 60°C 배양기(LBI-250, Daihan Labtech Co., Seoul, Korea)에 넣어 4일 동안 가속산화시켰고, 매일 꺼내어 분석하였다. 이때 일부 시료병은 알루미늄 호일로 싸서 빛을 차단시켰다. 모든 실험은 2회 반복 실시하였다.

발아들깨유의 산화정도 및 지방산 조성 분석

발아들깨유의 산화정도는 과산화물값과 공액이중산값을 각각 AOCS법(14) Cd 8-53와 Ti 1a-64으로 평가하였다. 또한 발아들깨유를 14% BF₃-메탄올로 에스테르화시킨 후 헥산으로 추출하여 가스크로마토그래피법(gas chromatography; GC)으로 지방산 조성을 분석하였다(15). 이때 분석기기는 Supelcowax 10 capillary column(30 m×0.53 mm, 1.0 µm film thick; Bellefonte, PA, USA)과 flame ionization detector가 장착된 GC(M600L, Younglin Co., Seoul, Korea)이었고, 오븐, 주입구, 검출기의 온도는 각각 230, 280, 280°C이었다. 운반기체인 질소의 속도는 분당 5 mL, split ratio는 33:1이었다. 발아들깨유의 지방산 동정 및 정량은 표준 지방산의 GC 크로마토그램의 머무름 시간과 피크면적을 이용하여 구하였다.

발아들깨유의 토코페롤 분석

발아들깨유의 토코페롤 함량은 고속액체크로마토그래피법(high performance liquid chromatography, HPLC)으로 구하였다(16). 발아들깨유 0.1 g을 n-헥산 1 mL에 녹이고 hydrophobic membrane

filter(polypropylene syringe filter; 0.2 µm×13 mm, Tokyo, Japan)로 여과한 후, 20 µL를 HPLC(9100 HPLC System, Younglin Co.)에 주입하였다. 분석컬럼은 µ-Porasil™ 컬럼(3.9×300 mm, 10 µm, Waters, Milford, MA, USA)을 사용하였고, 이동상으로는 n-헥산:아이소프로판올의 혼합용액(99.8:0.2, v/v)을 사용하여 분당 2.0 mL의 속도로 용출시켰다. 이때 형광검출기(G1321A, Agilent 110 series, Böblingen, Germany)의 파장은 excitation 290 nm, emission 330 nm이었다. 발아들깨유의 토코페롤 동정 및 정량은 표준 토코페롤의 검량곡선을 이용하여 구하였다.

자료의 통계처리

자료는 통계처리용 소프트웨어인 SAS/PC(SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하였으며 다중범위검정(Duncan's multiple range test)과 회귀분석(regression analysis)을 포함하였다. 이때 유의수준은 5%로 하였다.

결과 및 고찰

발아들깨유의 수율 및 특성

12, 36, 48시간 발아시킨 들깨의 싹의 길이는 각각 <50 mm, 50-100 mm, >100 mm에 속하였다. 발아들깨로부터 헥산으로 추출한 발아들깨유의 수율은 각각 38.4, 37.1, 37.3%로, 대조군인 비발아들깨유(38.9%)에 비해 약간 적은 경향을 나타냈으나, 전체적으로 48시간 동안의 발아시간은 헥산 추출 들깨유의 수율에 큰 영향을 주지는 않았다. 발아 초기에는 종실 내의 저장단백질이 발아 에너지원으로 이용되어 발아 들깨의 총 지방질 함량은 크게 감소하지 않으나, 이후 지방질이 에너지원으로 이용되므로 급격히 감소한다고 보고된 바 있다(10,17).

발아들깨유의 특성은 Table 1과 같다. 들깨유의 과산화물값은 0.31-0.34 meq/kg으로 발아들깨유와 비발아들깨유 사이에 유의한 차이를 보이지 않았으며, 공액이중산값(0.10-0.12%) 또한 발아에 따른 유의한 차이는 없었다. 그러나 발아시간이 12시간인 들깨에서 추출한 들깨유는 발아시간이 36시간인 들깨에서 추출한 들깨유보다 공액이중산값이 유의하게 낮았다($p<0.05$). 발아들깨유의 유리지방산값은 19.21-21.09%로 발아에 따라 유의한 차이를 나타

Table 1. Characteristics of the germinated perilla seed oil

	Germination period (h)			
	0	12	36	48
Peroxide values (meq/kg)	0.32±0.03 ¹⁾	0.31±0.01 ^a	0.32±0.00 ^a	0.34±0.03 ^a
Conjugated dienoic acid contents (%)	0.11±0.00 ^{ab}	0.10±0.00 ^b	0.12±0.00 ^a	0.11±0.01 ^{ab}
Free fatty acids (% as oleic acid)	20.83±0.96 ^a	19.21±0.25 ^a	21.09±0.30 ^a	20.70±0.59 ^a
Fatty acid composition (relative %)				
C16:0	6.55±0.01 ^a	6.35±0.01 ^b	6.25±0.01 ^c	6.36±0.04 ^b
C18:0	1.86±0.00 ^c	1.94±0.01 ^b	1.97±0.00 ^a	1.94±0.00 ^b
C18:1	13.33±0.00 ^c	14.39±0.01 ^b	15.09±0.00 ^a	14.40±0.03 ^b
C18:2	11.92±0.03 ^c	13.90±0.14 ^a	13.44±0.12 ^b	13.19±0.01 ^b
C18:3	66.34±0.02 ^a	63.42±0.16 ^c	63.26±0.11 ^c	64.11±0.08 ^b
U/S ratio	10.89±0.02 ^c	11.06±0.02 ^b	11.17±0.01 ^a	11.04±0.06 ^b
Tocopherol (mg/kg)				
α-	64.8±3.3 ^c	202.8±0.2 ^b	236.3±9.4 ^a	251.9±9.0 ^a
γ-	790.9±25.9 ^{ab}	739.4±16.1 ^b	770.8±4.3 ^{ab}	836.0±38.0 ^a
δ-	11.0±0.2 ^{ab}	10.6±0.9 ^b	10.5±0.1 ^b	12.4±0.6 ^a
Total	866.8±28.9 ^c	952.2±17.2 ^b	1017.6±13.6 ^{ab}	1100.2±47.5 ^a

¹⁾Different superscripts mean significant differences among samples in each attributes at $\alpha=5\%$

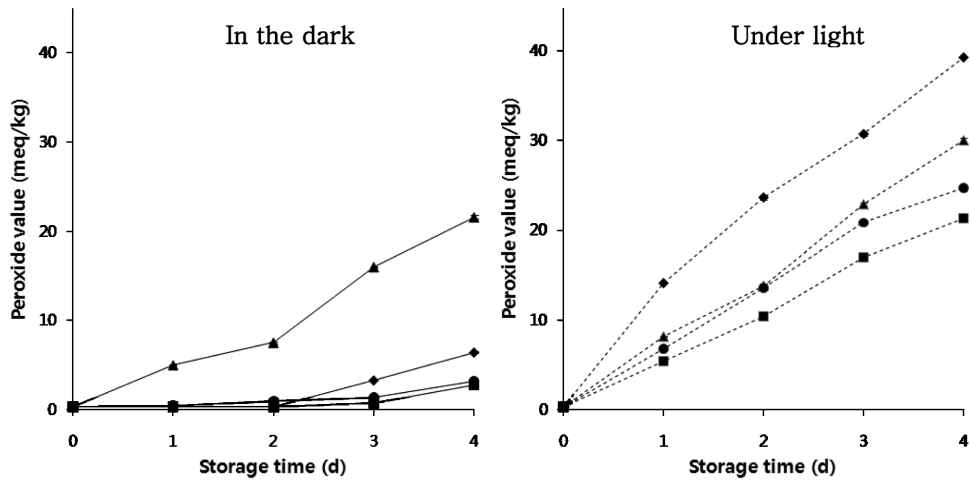


Fig. 1. Peroxide values (meq/kg of oil) of the germinated perilla seed oil during storage at 60°C for 4 days (A) in the dark and (B) under light (Germination periods: ◆, 0 h; ■, 12 h; ▲, 36 h; ●, 48 h).

내지 않았다. 들깨유에는 리놀렌산이 약 63.2-66.3%로 가장 많이 함유되어 있었다. 비발아들깨유에 비해 발아들깨유에서 팔미트산과 리놀렌산의 함량비율이 높았고, 스테아르산과 올레산, 리놀레산의 함량비율은 유의하게 낮아($p < 0.05$) 불포화지방산과 포화지방산의 함량비인 U/S 비율은 비발아들깨유에서 유의하게 낮았다($p < 0.05$). 유지종자의 종류 및 품종, 종자에 저장된 지방질이 발아 후 에너지원으로 이용되는 시점 등 유지종자의 특성에 따른 차이로 인해 유지종자의 발아 시 지방산 조성은 발아기간에 따라 일정한 경향을 나타내지 않는 것으로 보고되었다(10,17).

핵산 추출 들깨유에는 토크페롤 이성질체 중 γ -토크페롤이 가장 많이 함유되어 있었으며, δ -토크페롤의 함량이 가장 적었다. 비발아들깨유의 총 토크페롤 함량은 866.8 mg/kg이었으나 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 발아들깨유의 총 토크페롤 함량은 각각 952.2, 1017.6, 1100.2 mg/kg으로 발아기간이 증가함에 따라 토크페롤의 총 함량은 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 또한 토크페롤 중 α -토크페롤의 함량은 비발아들깨유에서 64.8 mg/kg이었으나 발아기간이 12, 36, 48시간으로 증가함에 따라 각각 202.8, 236.3, 251.9 mg/kg으로 유의하게 증가하여($p < 0.05$) 발아들깨유가 비발아들깨유보다 약 3.4배 이상 높은 값을 나타냈다. 이 결과는 Kim 등(3)이 햇들깨를 28°C에서 2-3일 발아시켰을 때 α -토크페롤의 함량이 3배 증가했다는 보고와 일치했다. 또한 Zhang 등(13)은 카놀라 종자를 10일 발아시키는 동안 α -토크페롤과 다른 토크페롤 이성질체의 상호전환(interconversion)에 의해 α -토크페롤이 다른 토크페롤 이성질체보다 유의하게 증가하였다고 보고하였다. γ -와 δ -토크페롤의 함량은 발아들깨유와 비발아들깨유 사이에 유의한 차이가 없었다.

발아들깨유의 산화안정성

발아들깨유를 60°C에서 빛이 차단된 상태 또는 빛의 존재 하에 4일 동안 저장하였을 때 과산화물값의 변화는 Fig. 1과 같다. 빛이 차단된 상태에서 비발아들깨유의 과산화물값은 저장 전 0.32 meq/kg이었으며, 저장 2일까지는 변화가 없었으나 이후 증가하여 저장 4일 후 6.44 meq/kg이었다. 과산화물값은 식용유지의 1차산화물인 과산화물의 생성정도를 측정하는 방법으로 유지의 산화 초기에는 유지 산화 정도에 비례하여 증가한다(18). 12, 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유는 빛이 차단된 상태에서 3일간 저장 중 과산화물값에 큰 변화가 없었으며 이후 약간 증가하

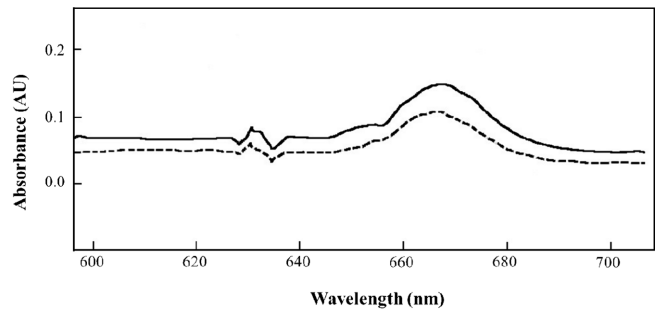


Fig. 2. Absorption spectrum of the germinated perilla seed oil (—, germination period 0 h; ----, germination period 48 h).

여 4일 후 각각 2.80, 3.22 meq/kg이었다. 그러나 36시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유는 저장 1일부터 계속 과산화물값의 증가를 보였으며 4일 저장 후 21.62 meq/kg으로 비발아들깨유에 비해 3.4배 높은 과산화물값을 보였다. 이와 같이 들깨의 발아는 들깨유의 저장 중 과산화물값에 유의한($p < 0.05$) 영향을 나타내어 12, 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유가 비발아들깨유보다 낮은 값을, 36시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유가 비발아들깨유보다 높은 값을 나타냈다. 따라서 들깨의 발아는 빛이 차단된 상태에서 들깨유의 저장 중 과산화물값 변화에 유의한 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

한편, 들깨유를 1,700 lux의 빛 존재 하에 60°C에서 4일 동안 저장하였을 때 과산화물값은 빛이 차단된 상태와는 다르게 저장 1일부터 계속적으로 증가하여 4일 저장 후 0, 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유의 과산화물값이 각각 39.28, 21.36, 30.04, 24.78 meq/kg으로, 빛이 차단된 상태에서의 들깨유에 비해 1.4-7.7배 정도 높은 값을 나타냈다. 이것은 빛이 들깨유의 산화를 크게 증가시켰음을 의미한다. 빛은 그 자체로도 유지의 산화를 촉진시키지만(19), 감광체가 함께 존재할 때 공기 중의 삼중항산소로부터 일중항산소를 생성함으로써 들깨유의 산화를 가속화하였을 가능성이 있다(20). 즉, 빛이 차단된 상태에서 발생했던 발아들깨유의 산화는 유지라디칼이 공기 중의 삼중항산소와 결합하여 자유라디칼 연쇄반응을 일으키는 자동산화가 주된 기전이었지만, 같은 온도의 빛 존재 하에 발아들깨유를 저장하였을 때 삼중항산소에 의한 자동산화는 물론, 빛과 클로로필에 의해

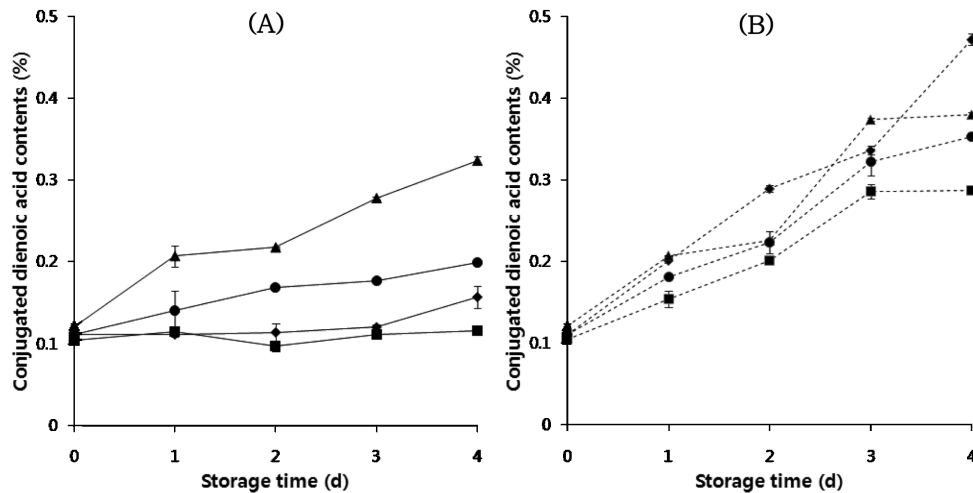


Fig. 3. Conjugated dienoic acid values(%) of the germinated perilla seed oil during storage at 60°C for 4 days (A) in the dark and (B) under light (Germination periods: ◆, 0 h; ■, 12 h; ▲, 36 h; ●, 48 h).

생성된 일중항산소가 들깨유의 산화를 가속화시켰을 것으로 사료된다. 일중항산소와 유지의 산화 반응은 삼중항산소에 의한 유지의 산화에 비해 1,450배 정도로 빠른 것으로 보고된 바 있다(21). 본 실험에서 사용한 발아들깨유의 가시광선 흡수 스펙트럼을 관찰한 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 클로로필의 최대 흡수파장인 668 nm(22)에서 특징적인 흡수띠를 관찰할 수 있어 본 실험에서 사용한 들깨유에도 클로로필이 함유되어 있었음을 간접적으로 확인할 수 있었다. 따라서 빛 존재 하에서 발아들깨유의 산화에 삼중항산소는 물론 일중항산소도 함께 관여했던 것으로 사료된다. 1,700 lux의 빛 존재 하에 들깨유를 4일간 저장하는 동안 과산화물값은 저장기간과 매우 높은 상관관계(결정계수, $r^2 > 0.98$)를 보였으며, 들깨유에서의 과산화물값 증가 속도는 들깨의 발아기간에 따라 차이를 나타냈다. 즉, 비발아들깨유의 빛 존재 하에 60°C에서 4일간 저장 중 과산화물값 증가속도는 9.45 meq/kg/day($r^2 = 0.98$)이었으며, 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨유의 과산화물값 증가속도는 각각 5.37 meq/kg/day($r^2 = 1.00$), 7.42 meq/kg/day($r^2 = 0.99$), 6.30 meq/kg/day($r^2 = 1.00$)으로, 발아들깨유의 과산화물값 증가 속도가 비발아들깨유의 과산화물값 증가 속도보다 낮았다. 또한 12시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유의 빛 존재 하에서 과산화물값 증가 속도가 가장 낮았다. 이 결과는 들깨의 발아가 빛 존재 하에서도 들깨유의 저장 중 과산화물값 변화에 유의한 영향을 주고 있음을 보여주었다.

Fig. 3은 발아들깨유를 60°C에서 4일 동안 저장하였을 때 공액이중산값의 변화를 보여준다. 빛이 차단된 상태에서 비발아들깨유의 저장 전 공액이중산값은 0.11%이었으며, 저장 3일까지는 변화가 없었으나 저장 4일 후 0.16%로 증가하였다. 공액이중산값은 불포화지방의 산화 중 비공액이중결합이 좀 더 안정한 공액이중결합으로 전환되어 증가하는데(21), 들깨유와 같이 리놀렌산과 리놀렌산을 많이 함유하는 식물성 유지의 산화를 측정하는데 유용한 방법이며 유지의 산소흡수량이나 과산화물 증가에 비해 하여 증가하는 것으로 알려졌다(18). 12시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유는 4일간 저장 중 공액이중산값에 큰 변화가 없었으며, 36, 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유는 저장 1일부터 계속 공액이중산값의 증가를 보여 4일 저장 후 각각 0.32, 0.20%로 비발아들깨유에 비해 유의하게($p < 0.05$) 높은 값을 나타냈다. 이와 같이 들깨의 발아는 빛이 차단된 상태에서 들깨유를

저장할 때 공액이중산값에 유의한($p < 0.05$) 영향을 나타내었다.

1,700 lux의 빛 존재 하에 발아들깨유를 60°C에서 4일 동안 저장하였을 때 과산화물값과 유사하게 공액이중산값은 빛이 차단된 상태에서의 들깨유에 비해 유의하게 높았다. 또한 저장 1일부터 들깨유의 공액이중산값이 계속적으로 증가하여 0, 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유를 4일 저장했을 때 공액이중산값은 각각 0.47, 0.29, 0.38, 0.35%이었다. 이것은 빛이 차단된 상태에서 들깨유를 저장하는 중 발아가 공액이중산값에 유의한 영향을 나타낸 것과 동일하게 빛 존재 하에서도 들깨의 발아가 들깨유의 공액이중산값에 유의한($p < 0.05$) 영향을 나타내었음을 의미한다. 또한 들깨유를 빛 존재 하에 4일 동안 저장할 때 공액이중산값은 저장기간과 높은 상관관계($r^2 > 0.93$)를 보였으며, 공액이중산값의 증가 속도는 들깨의 발아기간에 따라 차이를 나타냈다. 즉, 비발아들깨유의 공액이중산값 증가속도는 0.09%/day($r^2 = 0.99$)이었으며, 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨유의 공액이중산값의 증가속도는 각각 0.05%/day($r^2 = 0.95$), 0.06%/day($r^2 = 0.98$), 0.07%/day($r^2 = 0.93$)로 4일 저장한 발아들깨유의 공액이중산값의 증가속도가 비발아들깨유의 공액이중산값의 증가속도보다 낮았다.

발아기간이 다른 들깨에서 추출한 들깨유를 60°C에서 4일간 저장하였을 때 과산화물값과 공액이중산값 등의 산화지표에 대한 결과는 들깨의 발아 여부가 들깨유의 산화 안정성에 영향을 주고 있음을 확실히 보여주었다. 들깨 발아에 따른 들깨유의 자동산화 안정성은 일정한 경향을 보이지는 않았으나, 가속온도뿐 아니라 빛의 공존 환경에서 발아들깨유가 비발아들깨유에 비해 산화안정성이 높았다. 또한 12시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유는 가장 낮은 과산화물값과 공액이중산값, 그리고 과산화물과 공액이중산의 증가속도를 보여 가장 높은 자동산화 안정성 및 광산화 안정성을 나타낸 반면, 36시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유는 비발아들깨유보다 낮은 자동산화 안정성을 나타내었다. 이것은 12시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유의 공액이중산값이 다른 들깨유에 비해 유의하게 낮았고 36시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유에서 가장 높은 공액이중산값을 가졌던 것에서 일부 기인하였을 것으로 사료된다.

들깨유의 저장 중 지방산 조성 변화

발아들깨유를 60°C에서 4일 동안 빛이 차단된 상태에서 저장

Table 2. Fatty acid compositions of the germinated perilla seed oil during storage at 60°C for 4 days

	Germination period (h)	Storage time (d)	Relative content (%)				
			C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
In the dark	0	0	6.55±0.01 ^{a2)}	1.86±0.00 ^c	13.33±0.00 ^c	11.92±0.03 ^c	66.34±0.02 ^a
		2	6.48±0.02 ^a	1.88±0.02 ^b	13.31±0.04 ^d	11.86±0.04 ^c	66.47±0.00 ^a
		4	6.46±0.06 ^a	1.83±0.04 ^b	13.17±0.13 ^c	11.70±0.06 ^c	66.84±0.28 ^a
	12	0	6.35±0.01 ^b	1.94±0.01 ^b	14.39±0.01 ^b	13.90±0.14 ^a	63.42±0.16 ^c
		2	6.40±0.05 ^a	1.91±0.02 ^{ab}	14.21±0.01 ^c	13.86±0.15 ^a	63.61±0.21 ^c
		4	6.38±0.11 ^{ab}	1.92±0.03 ^a	14.29±0.01 ^b	13.89±0.23 ^a	63.52±0.46 ^c
	36	0	6.25±0.01 ^c	1.97±0.00 ^a	15.09±0.00 ^a	13.44±0.12 ^b	63.26±0.11 ^c
		2	6.24±0.02 ^b	1.93±0.01 ^a	14.95±0.02 ^a	13.39±0.00 ^b	63.49±0.06 ^c
		4	6.26±0.01 ^{bc}	1.95±0.01 ^a	15.03±0.06 ^a	13.48±0.02 ^b	63.29±0.01 ^c
	48	0	6.36±0.04 ^b	1.94±0.00 ^b	14.40±0.03 ^b	13.19±0.01 ^b	64.11±0.08 ^b
		2	6.21±0.03 ^b	1.94±0.01 ^a	14.34±0.02 ^b	13.29±0.13 ^b	64.22±0.07 ^b
		4	6.16±0.05 ^c	1.92±0.02 ^a	14.24±0.06 ^b	13.21±0.15 ^b	64.47±0.28 ^b
Under light	0	0	6.55±0.01 ^a	1.86±0.00 ^c	13.33±0.00 ^c	11.92±0.03 ^c	66.34±0.02 ^a
		2	6.45±0.15 ^a	1.86±0.03 ^b	13.28±0.12 ^c	11.89±0.13 ^c	66.52±0.44 ^a
		4	6.56±0.00 ^a	1.89±0.00 ^c	13.42±0.03 ^c	11.90±0.13 ^c	66.23±0.09 ^a
	12	0	6.35±0.01 ^b	1.94±0.01 ^b	14.39±0.01 ^b	13.90±0.14 ^a	63.42±0.16 ^c
		2	6.26±0.01 ^{ab}	1.94±0.00 ^a	14.26±0.01 ^b	13.92±0.06 ^a	63.63±0.06 ^c
		4	6.40±0.00 ^b	1.95±0.00 ^b	14.48±0.01 ^b	14.01±0.01 ^a	63.16±0.02 ^c
	36	0	6.25±0.01 ^c	1.97±0.00 ^a	15.09±0.00 ^a	13.44±0.12 ^b	63.26±0.11 ^c
		2	6.22±0.03 ^b	1.94±0.01 ^a	14.97±0.04 ^a	13.36±0.24 ^b	63.51±0.27 ^c
		4	6.28±0.02 ^c	1.95±0.01 ^b	15.08±0.06 ^a	13.38±0.17 ^b	63.31±0.08 ^c
	48	0	6.36±0.04 ^b	1.94±0.00 ^b	14.40±0.03 ^b	13.19±0.01 ^b	64.11±0.08 ^b
		2	6.13±0.01 ^b	1.92±0.00 ^a	14.37±0.01 ^b	13.22±0.01 ^b	64.36±0.03 ^b
		4	6.26±0.04 ^c	1.97±0.00 ^a	14.48±0.01 ^b	13.28±0.07 ^b	64.01±0.04 ^b

¹⁾U/S: Content ratio of unsaturated fatty acid to saturated fatty acid

²⁾Different superscripts mean significant differences in fatty acid at $\alpha=5\%$ among samples with different germination periods

시켰을 때의 지방산 조성 변화는 Table 2와 같다. 저장 전 들깨유의 지방산 조성은 팔미트산이 6.25-6.55%, 스테아르산이 1.86-1.97%, 올레산이 13.33-15.09%, 리놀레산이 11.92-13.90%, 리놀렌산이 63.26-66.34%로 들깨의 발아에 따라 차이가 있었으나, 빛이 차단된 환경에서 4일 간 저장하는 동안 발아들깨와 비발아들깨유에서 모두 약간의 감소를 보인 팔미트산과 스테아르산을 제외하고는 지방산 조성에 큰 변화를 보이지 않았다.

또한 빛 존재 하에서도 들깨유의 저장 동안 발아 여부에는 상관없이 들깨유의 지방산 조성에 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 발아들깨유와 비발아들깨유 모두 저장 중 빛의 존재와 상관없이 4일 간의 저장에 의해 지방산 조성은 크게 변화하지 않았음을 알 수 있었다. 즉, 들깨의 발아는 들깨유의 지방산 조성에 영향을 주었으나 60°C에서 4일간의 저장은 들깨의 발아여부와 상관없이 들깨유의 지방산 조성에 영향을 주지 않았다.

발아들깨유의 저장 중 토크페롤의 변화

발아들깨유를 60°C에서 4일 동안 빛이 차단된 상태 또는 빛의 존재 하에 저장하였을 때 토크페롤 함량은 Table 3과 같이 변화하였다. 빛이 차단된 환경에서 발아들깨유를 저장하는 동안 토크페롤의 총 함량은 저장기간에 따라 감소하였으며, 감소 정도는 들깨의 발아기간과 토크페롤 이성질체의 종류에 따라 차이가 있었다. 36시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유는 4일 간 저장 후 총 토크페롤 함량(707.8 mg/kg)과 잔존비율(69.6%)이 가장 낮

았고, 48시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유는 4일 저장 후 총 토크페롤 함량은 들깨유 중 가장 높았으나(908.1 mg/kg) 잔존비율(82.5%)은 다른 들깨유와 비슷하였다. 12 또는 48시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유의 산화안정성이 비발아들깨유에 비해 높았던 것은 4일간의 저장동안 토크페롤 함량이 높았던 것에서 일부 기인한 것으로 보인다. 들깨유의 토크페롤 이성질체 가운데 α -토크페롤이 다른 이성질체에 비해 비교적 분해가 많이 되었으며 특히 36시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유에서는 4일 저장 후 α -토크페롤 함량이 저장 전 함량의 35.4%인 83.7 mg/kg으로, 79.8%, 86.8%인 γ -, δ -토크페롤에 비해 분해율이 매우 높았다. α -토크페롤은 공기름이 산화하는 동안 다른 토크페롤 이성질체에 비해 가장 불안정하다고 보고된 바 있다(23,24).

빛이 차단된 환경과 마찬가지로 1,700 lux 빛의 존재 하에서도 들깨유에서의 토크페롤의 총 함량은 저장기간에 따라 감소하였으며, 어두운 곳에서 저장시킨 발아들깨유의 총 토크페롤 함량보다 유의하게 낮았는데 이는 토크페롤이 빛의 존재 하에서 유지가 산화되는 동안 더욱 많이 분해되었음을 의미한다. 즉, 빛 존재 하에서 자동산화뿐 아니라 일중항산소에 의한 산화로 인해 토크페롤의 라디칼 소거제로서는 물론 일중항산소 소거제로서의 토크페롤의 유지 산화 방지 작용이 많이 요구되어 토크페롤의 분해가 많았을 것으로 사료된다. 또한 들깨유의 원료인 들깨의 발아기간과 토크페롤 함량 감소 정도는 이성질체의 종류에 따라 차이가 나타나, 비발아들깨유와 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨에서

Table 3. Tocopherol contents (mg/kg) during oxidation of the germinated perilla seed oil at 60°C for 4 days

Light	Germination period (h)	storage time (d)	Tocopherol content (mg/kg oil)			
			α	γ	δ	Total
No	0	0	64.8±3.3 ¹⁾ (100.0) ²⁾	790.9±25.9 ^{ab} (100.0)	11.0±0.2 ^{ab} (100.0)	866.8±28.9 ^c (100.0)
		1	62.9±2.4 ^d (97.0)	746.6±15.2 ^{ab} (94.4)	10.8±0.5 ^{ab} (97.9)	820.3±12.30 ^c (94.6)
		2	58.8±0.4 ^d (90.7)	726.3±20.9 ^b (91.8)	9.4±1.3 ^b (85.0)	794.4±21.8 ^c (91.7)
		3	56.5±0.1 ^d (87.1)	679.9±9.6 ^b (85.9)	9.1±0.5 ^b (82.2)	745.4±10.2 ^c (86.0)
		4	56.6±0.4 ^d (87.4)	661.8±3.0 ^{ab} (83.7)	8.8±1.2 ^a (79.8)	727.2±2.3 ^c (83.9)
	12	0	202.8±0.2 ^b (100.0)	739.4±16.1 ^b (100.0)	10.0±0.9 ^b (100.0)	952.2±17.2 ^b (100.0)
		1	194.0±9.3 ^b (95.7)	698.5±12.1 ^b (94.5)	10.1±0.7 ^b (100.5)	902.6±22.1 ^b (94.8)
		2	192.6±0.9 ^b (95.0)	705.8±3.1 ^b (95.5)	9.9±0.6 ^{ab} (98.1)	908.2±3.4 ^b (95.4)
		3	190.9±8.2 ^b (94.1)	710.0±3.5 ^b (96.0)	9.8±0.1 ^b (97.9)	910.7±4.6 ^b (95.7)
		4	131.5±0.7 ^b (64.9)	695.4±1.3 ^a (94.1)	9.2±0.5 ^a (91.8)	836.2±32.9 ^b (87.8)
	36	0	236.3±9.4 ^a (100.0)	770.8±4.3 ^{ab} (100.0)	10.5±0.1 ^b (100.0)	1017.6±13.6 ^{ab} (100.0)
		1	127.8±1.5 ^c (54.1)	735.5±33.6 ^{ab} (95.4)	10.1±0.3 ^b (96.5)	872.0±31.5 ^{bc} (85.8)
		2	119.7±0.3 ^c (50.7)	696.7±22.1 ^b (90.4)	10.4±0.4 ^{ab} (99.7)	827.1±22.0 ^c (81.3)
		3	102.1±0.5 ^c (43.2)	636.9±21.6 ^c (82.6)	9.1±0.32 ^b (87.1)	748.0±0.9 ^c (73.5)
		4	83.7±3.7 ^c (35.4)	615.1±17.2 ^b (79.8)	9.1±0.8 ^a (86.8)	707.8±21.6 ^c (69.6)
	48	0	251.9±9.0 ^a (100.0)	835.9±38.0 ^a (100.0)	12.4±0.6 ^a (100.0)	1100.2±47.5 ^a (100.0)
		1	243.3±6.9 ^a (96.6)	784.8±14.1 ^a (93.9)	12.0±0.3 ^a (96.8)	1038.9±21.2 ^a (94.6)
		2	238.7±9.3 ^a (94.8)	776.7±16.9 ^a (92.9)	11.9±0.9 ^a (96.2)	1018.4±19.2 ^a (93.4)
		3	232.6±0.0 ^a (92.3)	784.6±13.5 ^a (93.9)	11.9±0.1 ^a (96.1)	1029.0±13.5 ^a (93.5)
		4	204.5±1.1 ^a (81.2)	691.8±4.3 ^a (82.8)	11.8±2.2 ^a (95.2)	908.1±3.2 ^a (82.5)
Yes	0	0	64.8±3.3 ^c (100.0)	790.9±25.9 ^{ab} (100.0)	11.0±0.2 ^{ab} (100.0)	866.8±28.9 ^c (100.0)
		1	49.6±3.4 ^d (76.5)	687.9±2.2 ^b (87.0)	9.5±0.1 ^c (86.2)	747.0±5.4 ^c (86.18)
		2	39.9±4.5 ^c (61.6)	674.6±10.3 ^{ab} (85.3)	8.7±0.5 ^b (79.1)	723.3±15.3 ^c (83.4)
		3	35.2±8.0 ^d (54.4)	663.9±8.5 ^b (84.0)	8.7±0.3 ^b (79.0)	707.9±9.0 ^b (81.7)
		4	29.8±3.2 ^c (46.0)	629.9±13.5 ^b (79.6)	8.7±0.4 ^{ab} (78.6)	668.3±17.1 ^b (77.1)
	12	0	202.8±0.3 ^b (100.0)	739.4±16.1 ^b (100.0)	10.1±0.9 ^b (100.0)	952.2±17.2 ^b (100.0)
		1	112.8±1.8 ^c (55.6)	687.0±10.2 ^b (92.9)	8.9±0.1 ^d (88.8)	808.7±11.9 ^b (84.9)
		2	102.6±3.6 ^b (50.6)	685.7±3.3 ^a (92.7)	8.8±0.0 ^b (87.2)	723.3±15.3 ^b (83.4)
		3	75.8±1.4 ^c (37.4)	632.4±3.5 ^b (85.5)	8.8±0.4 ^{ab} (87.5)	716.9±1.8 ^b (75.3)
		4	66.9±1.8 ^b (33.0)	598.3±9.5 ^b (80.9)	8.7±0.2 ^b (86.4)	673.9±7.9 ^b (70.8)
	36	0	236.3±9.4 ^a (100.0)	770.8±4.3 ^{ab} (100.0)	10.5±0.1 ^b (100.0)	1017.6±13.6 ^{ab} (100.0)
		1	131.4±3.1 ^b (55.6)	688.8±1.4 ^b (89.4)	9.9±0.3 ^b (95.0)	830.1±1.5 ^b (81.6)
		2	107.2±2.3 ^b (45.4)	656.1±14.3 ^b (85.1)	9.9±0.2 ^{ab} (94.5)	773.2±16.7 ^b (76.0)
		3	82.0±2.6 ^b (34.7)	644.0±21.3 ^b (83.6)	9.9±0.6 ^{ab} (94.3)	735.9±24.5 ^b (72.3)
		4	58.7±1.7 ^b (24.8)	599.1±29.0 ^b (77.7)	9.2±0.9 ^{ab} (88.1)	667.0±31.6 ^b (65.5)
	48	0	251.9±9.0 ^a (100.0)	835.9±38.0 ^a (100.0)	12.4±0.6 ^a (100.0)	1100.2±47.5 ^a (100.0)
		1	218.6±6.8 ^a (86.8)	767.0±10.2 ^a (91.8)	11.5±0.0 ^a (93.3)	997.1±17.0 ^a (90.6)
		2	186.6±1.4 ^a (74.1)	698.0±9.9 ^a (83.5)	10.7±0.9 ^a (86.8)	895.3±11.0 ^a (81.4)
		3	168.6±3.3 ^a (66.9)	700.4±2.5 ^a (83.8)	10.4±0.7 ^a (84.0)	879.3±6.5 ^a (79.9)
		4	159.1±6.3 ^a (63.2)	678.3±7.0 ^a (81.2)	10.3±0.3 ^{ab} (82.9)	847.7±0.4 ^a (77.1)

¹⁾Different superscripts mean significant differences among samples with different germination periods at $\alpha=5\%$

²⁾Tocopherol retention % based on the content at 0 storage time

추출한 들깨유의 빛의 존재 하에서 4일 저장 후 총 토크페롤 함량은 각각 668.3, 673.9, 667.0, 847.7 mg/kg이었다. 즉, 4일 저장한 들깨유에서의 토크페롤의 총 함량은 48시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유에서 가장 높았으며, 비발아들깨유와 12, 36시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유에서는 비슷하였다. 그러나 4일 저장 후 총 토크페롤의 잔존비율은 36시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유에서 가장 낮았다(65.5%). 빛이 차단된 환경과 마찬가지로 들깨유를 빛의 존재 하에서 저장하는 동안 다

른 이성질체에 비해 α -토크페롤이 가장 많이 분해되어 저장 4일 후 36시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유의 α -, γ -, δ -토크페롤의 잔존비율은 24.8, 77.7, 88.1%이었다. 이는 클로로필을 10 ppm 첨가한 methylene chloride에서 α -토크페롤의 광산화속도가 가장 빨랐다는 Kim 등(25)의 보고와 일치했다.

발아들깨유의 저장 중 토크페롤의 잔존비율과 저장기간과의 관계는 회귀분석 결과인 Table 4와 같이 들깨의 발아기간과 토크페롤 이성질체의 종류, 들깨유의 저장 중 빛의 존재 여부에 따라

Table 4. Regression analysis between oxidation time (day) and tocopherol retention (%) during storage of the germinated perilla seed oil at 60°C for 4 days

Light	Germination period (h)	Regression parameters ¹⁾		
		a	b	r ²
No	0	-4.09	99.4	0.982
	12	-2.35	99.4	0.720
	36	-7.32	96.7	0.947
	48	-3.59	100.0	0.802
Yes	0	-5.03	95.7	0.844
	12	-6.81	96.6	0.923
	36	-7.82	94.7	0.896
	48	-5.66	97.1	0.901

¹⁾Total tocopherol retention (%)=a×Oxidation time (day)+b, r²: determination coefficient

Table 5. Regression analysis between total tocopherol contents (mg/kg) and peroxide value (POV) of the germinated perilla seed oil during storage at 60°C for 4 days

Light	Germination period (h)	Regression parameters ¹⁾		
		a	b	r ²
No	0	-0.04	34.7	0.726
	12	-0.02	21.6	0.791
	36	-0.07	66.3	0.896
	48	-0.02	17.5	0.889
Yes	0	-0.19	164.9	0.922
	12	-0.08	71.4	0.922
	36	-0.08	82.0	0.885
	48	-0.09	100.6	0.922

¹⁾Peroxide value (meq/kg of oil)=a×total tocopherol contents (mg/kg)+b, r²: determination coefficient

차이를 나타냈다. 빛이 차단된 환경에서 4일의 저장기간 동안 들깨유의 총 토크페롤의 잔존비율과 저장기간은 비교적 높은 상관관계(r²; 0.72-0.98)를 보였다. 저장기간과 토크페롤의 잔존비율의 회귀선의 기울기(a)인 총 토크페롤의 분해속도는 12시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유에서 가장 낮았으며(2.35%/day), 36시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유에서 7.32%/day의 분해속도로 가장 높았다. 이것은 12시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유에서 토크페롤이 가장 안정하였음을 의미한다.

발아들깨유를 1,700 lux 빛 존재 하에 4일 간 저장하는 동안 들깨유의 총 토크페롤의 잔존비율과 저장기간 역시 높은 상관관계(r²; 0.84-0.90)를 보였다. 총 토크페롤의 분해속도는 발아들깨유에서보다 비발아들깨유에서 낮았으며(5.03%/day), 이는 빛 존재 하에서 발아들깨유 산화에 다량 함유된 토크페롤이 라디칼 소거제로서의 작용 외에 일중항산소 소거제, 특히 화학적 소거 비중이 높아 전체 함량은 큰 차이가 없었으나 분해속도는 높았을 것으로 보인다.

한편, 들깨유를 60°C에서 4일 동안 저장했을 때 토크페롤 함량과 과산화물값의 회귀분석 결과, 토크페롤의 총 함량은 과산화물값과 r²>0.726 의 비교적 높은 상관관계를 나타냈으며, 특히 빛의 존재 하에서 상관관계가 더 높았다(Table 5). 이는 들깨유의 저장 중 산화에 토크페롤이 유의한 영향을 미치는 것을 의미하며, 회귀선의 음의 기울기는 토크페롤이 발아들깨유의 산화를 억

제하는 산화방지제임을 확인한 결과이다. 따라서 토크페롤이 삼중항산소에 의한 들깨유의 자동산화는 물론 일중항산소에 의한 들깨유의 산화를 억제시키는데 크게 기여하고 있음을 나타낸다. 토크페롤 함량과 과산화물값의 회귀선 기울기는 들깨의 발아 여부, 발아기간에 관계없이 빛이 차단된 환경보다 빛의 존재 하에서 컸는데 이것은 빛의 존재 하에서 토크페롤이 들깨유의 산화에 더욱 큰 영향을 주었음을 의미하며, 빛에 노출된 들깨유의 산화 안정성 증진을 위해 토크페롤 함량은 더욱 중요한 의미를 가짐을 암시한다. 유지의 산화 시 토크페롤은 유지의 과산화라디칼에게 수소를 전달하거나 일중항 산소 소거제로 작용하여(25), 유지의 산화생성물대신 토크페롤 과산화물(tocopherol peroxide), 토크페론, 에폭시토크페론, 토크페롤 하이드록시디아이에논, 토크페릴 퀴논 등으로 분해된다(26). 따라서 발아들깨유의 높은 토크페롤 함량은 유지의 산화안정성에 크게 기여했을 것으로 생각되며, 36시간 발아시킨 들깨에서 추출한 들깨유의 낮은 자동산화 안정성은 높은 공액이중산값 외에 토크페롤의 빠른 분해 결과 생성된 토크페롤 산화물에 의한 들깨유 산화 증가(27,28)도 관련 되었을 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 비발아들깨와 12, 36, 48시간 발아시킨 들깨로부터 유지를 추출한 후 60°C의 빛이 차단된 상태 또는 빛의 존재 하에 4일 동안 저장하면서 가속조건에서의 유지 산화 및 토크페롤 안정성을 평가하였다. 들깨유의 과산화물값과 공액이중산값은 저장기간이 증가함에 따라 유의하게 증가하였으며, 비발아들깨유에 비해 발아들깨유에서 낮은 경향을 보였다. 또한 빛이 차단된 조건에 비해 빛 존재 하에서 들깨유의 산화와 토크페롤 분해가 더 많이, 더 빨리 진행되었다. 들깨유 중 12시간 발아시킨 들깨로부터 추출한 들깨유는 유의하게 낮은 공액이중산값과 토크페롤의 낮은 분해속도 등에 기인하여 가장 높은 자동산화, 광산화 안정성을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 울촌재단에 의해 지원된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Lee BH, Ryu SN, Kwak TS. Current status and prospects of quality evaluation in perilla. Korean J. Crop Sci. 47: 150-162 (2002)
- Yu KM, Choi HS. Nutritional characteristics and industrial application of perilla oil. Food Indus. Nutr. 3: 30-36 (1998)
- Kim CK, Song GS, Kwon YJ, Kim IS, Lee TK. The effect of germination of perilla seed on the oxidative stability of the oil. Korean J. Food Sci. Technol. 26: 178-183 (1994)
- Kim GY, Park PS, Kang WW, Park MR, Kim JK. Effect for Oxidation Stability of Refined Perilla Oil Use in Extract of Black Rice (*Oryza sativa* L.). Korean J. Postharv. Sci. Technol. 4: 311-315 (1997)
- Jeong BY, Ryu SN, Hur HS. Antioxidant effect of sesame lignans on α -linolenic acid-concentrated perilla fatty acid ester. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 26: 1033-1038 (1997)
- Yi OS, Shin HK. Antioxidative effect of ascorbic acid solubilized via reversed micell in perilla oil. Korean J. Food Sci. Technol. 21: 706-709 (1989)
- Ahn TH, Kim JS, Park SJ, Kim HW, Park KM, Choi CU. Antioxidative effect of commercial lecithin on the oxidative stability

- of perilla oil. Korean J. Food Sci. Technol. 23: 251-255 (1991)
8. Kim YE, Kim IH, Lee YC. Effects of roasting process and antioxidants on oxidative stability of perilla oils. Korean J. Food Sci. Technol. 29: 379-382 (1997)
 9. Chung DS, Kim HK. Changes of major component during germination of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. Korean J. Life Sci. 8: 137-144 (1998)
 10. Chung DS, Kim HK. Changes of protein and lipid composition during germination of *Perilla frutescens* seeds. Korean J. Life Sci. 8: 318-325 (1998)
 11. Min YK, Kim ZU. Changes of glycolipids and phospholipids during maturation of perilla seed (*Perilla frutescens*). J. Korean Agric. Chem. Soc. 35: 146-151 (1992)
 12. Shi H, Nam PK, Ma Y. Comprehensive profiling of isoflavones, phytosterols, tocopherols, minerals, crude protein, lipid, and sugar during soybean (*Glycine max*) germination. J. Agr. Food Chem. 58: 4970-4976 (2010)
 13. Zhang H, Vasanthan T, Wettasinghe M. Enrichment of tocopherols and phytosterols in canola oil during seed germination. J. Agr. Food Chem. 55: 355-359 (2007)
 14. AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, 4th ed. Method Cd 8-53, Tila-64. American Oil Chemists' Society, Champaign, IL, USA (1998)
 15. Lee J, Kim M, Choe E. Effects of carrot powder in dough on the lipid oxidation and carotene content of fried dough during storage in the dark. J. Food Sci. 69: 411-414 (2004)
 16. Chung J, Lee Y, Choe E. Effects of sesame oil addition to soybean oil during frying on the lipid oxidative stability and antioxidants contents of the fried products during storage in the dark. J. Food Sci. 71: 571-576 (1998)
 17. Kim HK. Studies of changes of major components during development and germination of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. PhD thesis, Dong-A University, Busan, Korea (1998)
 18. Gray JI. Measurement of lipid oxidation: A review. J. Am. Oil Chem. Soc. 55: 539-546 (1977)
 19. Choe E, Min DB. Mechanism and factors for edible oil oxidation. Comp. Rev. Food Sci. F. 5: 169-186 (2006)
 20. Rawls HR, Van Santen PJ. A possible role for singlet oxidation in the initiation of fatty acid autoxidation. J. Am. Oil Chem. Soc. 47: 121-125 (1970)
 21. Min DB, Boff JF. Lipid oxidation of edible oil. pp. 335-363. In: Food Lipids. 3rd ed. Akoh C, Min DB (eds). Marcel Dekker. New York, NY, USA (2001)
 22. Bjorn LO, Ghiradella H. Spectral turning in biology. pp. 155-196. In: Photobiology: The Science of Life and Light. 2nd ed. Bjorn LO (ed). Springer, Dordrecht, Netherlands (2008)
 23. Player ME, Kim HJ, Lee HO, Min DB. Stability of α -, γ -, or δ -tocopherol during soybean oil oxidation. J. Food Sci. 71: C456-C460 (2006)
 24. Ikeda N, Fukuzumi K. Synergistic antioxidant effect of nucleic acids and tocopherols. J. Am. Oil Chem. Soc. 54: 360-366 (1977)
 25. Kim HJ, Lee MY, Min DB. Singlet oxygen oxidation rates of α -, γ -, and δ -tocopherols. J. Food Sci. 71: 465-468 (2006)
 26. Choe E, Min DB. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. J. Food Sci. 70: R142-R159 (2005)
 27. Kamal-Eldin A, Appelqvist LA. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. Lipids 31: 671-701 (1996)
 28. Jung MY, Min DB. Effects of oxidized α -, γ -, and δ -tocopherols on the oxidative stability of purified soybean oil. Food Chem. 45: 183-187 (1992)