

볶음온도에 따른 유채유의 품질 특성

†안다희 · 유경단 · 김광수 · 차영록* · 정재희 · 최지봉 · 우관식* · 황엄지 · 박유진

농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소 농업연구사

*농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소 농업연구관

Quality Characteristics of Rapeseed Oils according to Different Roasting Temperatures

†Da-Hee An, Gyeong-Dan Yu, Kwang-Soo Kim, Young-Lok Cha*, Jae-Hee Jeong,

Ji-Bong Choi, Koan Sik Woo*, Eom-ji Hwang and You-Jin Park

Researcher, Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

*Senior Researcher, Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea

Abstract

In this study, quality properties of rapeseed oil by different roasting temperatures (140, 160, 180, and 200°C) were investigated. Roasted-pressed oil (RPO) showed a decrease in lightness and an increase in redness and yellowness with an increase in temperature compared to cold-pressed oil (CPO). In addition, the β -carotene and tocopherol content also increased in RPO as the roasting temperature increased. The tocopherol content increased by 18~20% in RPO at 200°C compared to CPO. This increase in bioactive components led to improved radical scavenging activity dependent on roasting temperature, and RPO at 200°C showed a 2.7-fold improvement compared to CPO. Finally, it was observed that higher roasting temperatures resulted in an extended oxidation induction period, increasing by up to 3.3 times. In conclusion, roasting is an effective method for enhancing the oil functionality of domestic rapeseed varieties. This study provides basic data for producing high-quality oil.

Key words: rapeseed, roasting, pressed oil, quality properties, functionality

서론

유채(*Brassica napus* L.)는 십자화과에 속하는 유지작물로 경관용뿐만 아니라 식용유, 바이오디젤 등으로 널리 활용되고 있다(Kim 등 2007; Lee 등 2017). 전 세계적으로 유채 기름은 팜유와 대두유 다음으로 많은 생산량을 보이며, 특유의 향과 우수한 기능성 때문에 식용유로서 유채 기름의 수요가 더욱 증가하는 추세이다(FAO 2017; McDowell 등 2017; Xu 등 2020). 유채 기름은 포화지방산이 적고, 불포화지방산인 리놀레산(linoleic acid, C18:2)과 리놀렌산(linolenic acid, C18:3)의 조성비가 약 2:1로 균형적이다(Wu 등 2019). 더불어, 스테롤 및 폴리페놀 등의 유용성분이 함유되어 있어 건강에 유익하다고 보고되었다(Azadmard-Damirchi 등 2010;

Chew SC 2020).

국내에서 육성된 유채 품종 중 ‘중모7001’은 꽃이 크기 때문에 경관용으로 적합하며, 올레산 함량이 65~69%로 높아 식용유 제조용으로도 많이 재배되고 있다(Kim 등 2014). 또한, ‘유려’는 ‘중모7001’보다 성숙이 다소 늦으나, 올레산 함량이 73~75%로 ‘중모7001’보다 약 4~10% 더 높다. 그러나 국내에서 식용유로서 유채 활용 연구는 미미하며, 품종별 기름의 품질특성에 대한 정보는 부족할 실정이다.

식용유 제조 시 원료곡 볶음(roasting)은 착유한 기름의 향미와 기능성 성분 등을 증진시키기 위한 선택적 과정이다. 유채 종자를 볶아 착유한 기름에서 탄(burnt) 및 고소한(nutty) 향과 상관을 가지는 퓨란(furane), 케톤(ketone)계의 휘발성 화합물이 증가하였고, 토코페롤 및 스테롤 등의 성분

† Corresponding author: Da-Hee An, Researcher, Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Muan 58545, Korea. Tel: +82-61-450-0139, Fax: +82-61-453-0085, E-mail: andahee@korea.kr

함량이 증가하였다(Lim 등 2011; Yu 등 2021; Tan 등 2022). 참깨의 경우, 볶음압착유에서 천연 항산화 물질인 리그난(lignan)이 증가하였으며, 땅콩에서는 볶음온도가 높아질수록 스쿠알렌(squalene)이 증가하였다(Xu 등 2019; Zhang 등 2020). 그러나 국내에서 육성된 유채 품종을 이용한 볶음압착유 관련 연구는 부족하며, 기능성이 증진된 유채 기름의 생산을 위해 볶음조건별 품질특성 구명이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 유채유의 영양학적 가치를 증진시키기 위한 적정 볶음조건을 구명하고자 유채 품종 ‘중모 7001’과 ‘유려’를 이용해 서로 다른 온도에서 볶음 처리하였고, 각 온도별 유채유의 색도, 지방산 조성, 유용성분 함량 및 항산화능 등 품질특성을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 볶음압착 유채유 제조

본 연구에서는 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지 작물연구소에서 육성된 ‘중모 7001’과 ‘유려’ 품종을 2022년에 생산하여 정선 및 세척한 후 재료로 사용하였다(Kim 등 2014). 볶음은 자동 볶음솔(Dongbang Machinery Co., Daegu, Korea)을 이용하여 내부 온도를 140, 160, 180, 그리고 200°C로 설정하여 1.5 kg의 종자를 10분간 볶은 후 상온에서 10분 이상 방열하였다. 착유는 온도별로 볶은 종자를 유압식 착유기(DB-500, Dongbang Machinery Co.)의 착유부 온도를 60°C로 설정하고 600 bar의 압력으로 15분 압착하여 착유하였다. 이후 압착이 끝난 실린더를 원위치로 고정시킨 다음 15분 후 착유부에 잔류한 기름을 추가적으로 확보하였다. 본 실험의 대조구로 볶음처리를 하지 않은 종자를 착유부의 가열 없이 동일한 압력으로 착유하여 사용하였다(저온압착유, Cold-pressed oil; CPO). 볶음 온도에 따른 착유 수율은 투입한 종자의 중량 대비 착유된 기름의 중량으로 나타내었다.

2. 볶음압착 유채유의 색도 분석

조건별 볶음 압착유의 색도를 측정하기 위해 분광측색계(CM-5, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 명도(L-value), 적색도(a-value), 그리고 황색도(b-value)로 나타내었다. 대조구 대비 각 조건별 볶음압착유의 색차(ΔE_{ab})는 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

3. 볶음압착 유채유의 지방산 조성 분석

지방산 분석은 Lee 등 (2014a)을 참고하여 수행하였다. 각 볶음 온도별 유채유를 100 μ L 취하여 methyl alcohol 15 mL과

sodium methoxide 30 wt% solution 1 mL을 가한 후 항온수조 80°C에서 2시간 반응시켜 메틸화하였다. 반응물을 상온에서 냉각시킨 후 n-hexane 15 mL을 가하여 형성된 fatty acid methyl esters (FAMES)을 추출하였고, 상층액을 0.2 μ m PTFE syringe filter로 여과한 후 분석에 이용하였다. 지방산 조성 분석은 flame ionization detector (FID; Agilent Technologies, Santa Clara, CA USA)가 장착된 gas chromatography (7890A, Agilent Technologies)를 이용하였다. 분석용 컬럼은 HP-INNOWAX (30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m, Agilent Technologies)를 사용하였고, 주입부와 검출기의 온도는 각 200°C와 250°C로 설정하였다. 오븐 온도는 140°C에서 1분간 유지하고 분당 6°C씩 250°C까지 승온한 후 5분간 유지하였다. Carrier gas는 He으로 0.8 mL/min을 유지하였고, split ratio는 10:1로 설정하였다. 각 지방산의 머무름 시간을 확인하기 위한 표준물질로 AOCs low erucic rapeseed oil (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, USA)을 사용하였으며, 각 peak의 면적을 상대적인 백분율로 나타내었다.

4. 볶음압착 유채유의 기능성분 함량 분석

볶음온도별 유채유의 β -카로틴 함량을 비교하기 위해 알칼리 비누화법으로 추출 및 분석하였다(Hwang 등 2019). 시료 1 g에 3% 피로갈롤 에탄올 용액 10 mL과 60% KOH 용액 1 mL을 가하여 70°C 수욕 상에서 30분간 진탕하며 비누화하였다. 반응 후 냉각시킨 추출관에 2.25% NaCl 용액 10 mL과 n-hexane : ethyl acetate (9:1, v/v) 혼합용액 15 mL을 가하여 진탕하고, 이를 세 번 반복하여 베타카로틴 성분을 추출하였다. 추출한 용액은 감압농축한 후 에탄올을 이용하여 적정 양까지 희석하고 0.2 μ m PTFE syringe filter로 여과한 것을 시험용액으로 하였다.

토코페롤 함량 분석을 위해 Lee 등 (2014b)에 서술된 방법을 일부 수정하여 수행하였다. 각 볶음온도별 유채유 0.1 g을 정밀히 칭량하여 n-hexane 1 mL에 용해한 다음, 0.2 μ m PTFE syringe filter로 여과한 후 분석용 시료로 사용하였다.

유채유의 기능성분 함량은 high performance liquid chromatography (HPLC; Agilent 1200, Agilent Technologies)를 이용하여 분석하였으며, 각 분석조건은 Table 1과 같다.

5. 볶음압착 유채유의 radical 소거활성 및 산화안정도 분석

볶음처리에 따른 유채유의 radical 소거활성은 Gónas 등 (2014)과 Rabiej-Kozioł 등 (2021)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) radical 소거활성을 측정하기 위하여, 각 볶음온도별로 확보한 유채유를 n-Hexane : 2-propanol (8:2, v/v) 혼합액으로 희석하였고, 이를 분석 시료로 사용하였다. DPPH 시약을 525 nm에서 흡광도 1.5 \pm 0.1이 되도록 동일 혼합액으로 용해하였고,

Table 1. The analytical conditions of HPLC for β -carotene and tocopherol in rapeseed oils

Bioactive compounds	Parameters	Conditions
β -carotene	Mobile phase	Acetonitrile-Methanol-Dichloromethane (6:1:3, v/v)
	Flow rate	0.6 ml/min
	Column	Capcell Pak C18 UC120 (4.6 × 150 mm, 5 μ m)
	Oven temp.	40°C
	Injection vol.	20 μ L
	Detector	UV detector
	Wavelength	450 nm
Tocopherol	Mobile phase	n-Hexane-Isopropanol (99.85:0.15, v/v)
	Flow rate	2 mL/min
	Column	μ -Porasil (3.9 × 300 mm, 10 μ m)
	Oven temp.	40°C
	Injection vol.	20 μ L
	Detector	Flouorescence detector
	Wavelength	Excitation 290 nm, Emission 330 nm

이 DPPH 용액 0.8 mL에 시료 0.2 mL을 첨가하여 30분간 반응시킨 후 흡광도의 감소치를 측정하였다. ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich) radical 소거활성은 7.4 mM ABTS 용액과 2.6 mM potassium persulfate 용액을 동량 혼합하여 암소에서 약 24시간 반응시켜 자유 라디칼을 생성시킨 후 methanol로 735 nm에서 흡광도 1.5±0.1이 되도록 희석하여 측정하였다. Methanol로 희석한 각 볶음 온도별 유채유 시료 50 μ L를 ABTS 용액 1 mL과 혼합하여 실온에서 30분간 반응시킨 후 흡광도의 감소치를 측정하였다. 이 때, 표준물질로 Trolox (Sigma-Aldrich)를 사용하였고, 시료 g당 mg trolox equivalent antioxidant capacity (TE, dry basis)로 나타내었다.

볶음조건별 유채유의 산화안정도 측정을 위해 Rancimat (893 biodiesel, Metrohm, Switzerland)을 이용하였다. 유채유 시료를 1.5 g 정량하여 reaction vessel에 담고 100°C 가열 및 20 L/h의 공기 주입 조건으로 강제 산화시킨 후 measuring vessel의 전도도 변화를 측정하여 시료별 유도시간을 계산하였다.

6. 통계분석

본 연구의 결과는 R-studio ver. 1. 3. 1093을 사용하여 분석하였으며, 각 조사 항목의 평균에 대한 ANOVA 분석 후 Duncan 다중범위검정을 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 품종별 볶음 온도에 따른 기름 수율 및 색도 비교

유채 품종 ‘중모7001’과 ‘유려’ 종자를 각 온도에서 볶음

후 착유한 기름 수율은 Fig. 1과 같다. 볶지 않은 ‘중모7001’과 ‘유려’ 종자의 착유 수율은 각 30.9%와 30.8%로 가장 낮았다. ‘중모7001’ 원료곡을 140, 160 및 180°C에서 볶음 처리하면 착유수율이 각 33.1, 34.1 및 35.4%로, 볶음 온도가 높을수록 수율이 증가하는 경향을 보였다. ‘유려’는 볶음온도에 따른 착유수율 증가가 미미하였고, 위 결과 모두 통계적 유의성은 보이지 않았다. 볶지 않은 종자는 분획된 세포질 내에 단백질체(Protein body)가 산재되어 있고 이를 지질체(Oil body)가 둘러싼 형태를 보이는 반면, 볶음 처리한 종자는 세포벽이 파괴될 뿐만 아니라 지질체가 응집되어 기름의 세포 외 용출이 용이해지기 때문에 착유 수율 역시 증가한다고 보고된 바 있다(Shahidi F 2005; Xu 등 2019).

‘중모7001’의 볶음압착유는 명도(L-value), 적색도(a-value) 및 황색도(b-value)는 각각 79.9~92.2, -2.0~12.0 및 104.5~109.0의 범위로 나타났으며, 저온압착유의 명도, 적색도 및 황색도(각 95.2, -3.8 및 54.7)와 비교하여 유의한 차이를 보였다(Table 2). 또한, ‘유려’의 볶음압착유는 각각 86.3~94.1, -4.2~2.8 및 69.2~84.8의 범위로 나타났고 저온압착유(각 97.3, -3.0 및 28.1)와 비교하였을 때 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 두 품종 모두 볶음 온도가 높아질수록 유채 기름의 명도는 낮아지고 황색도와 적색도는 증가하는 경향을 보였다. 이로 인해 저온압착유 대비 총 색도변화(TCD parameter, ΔEab) 역시 증가하는 것을 확인하였다. 이는 볶음 온도가 높아질수록 마이야르 반응(Maillard reaction)에 의한 갈색화가 촉진되어 야기된 결과로 판단된다(Lund & Ray 2017).

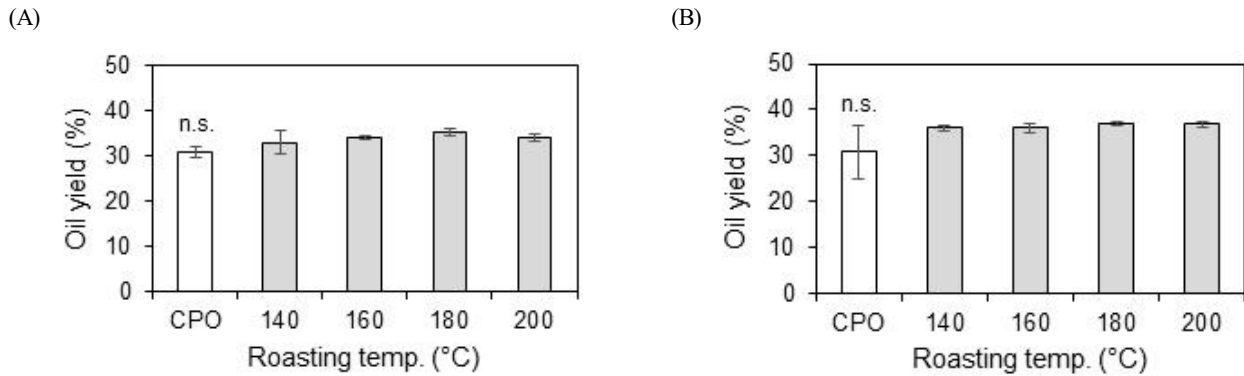





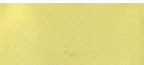






Fig. 1. Oil yield of rapeseed oils at different roasting temperatures. The seeds of varieties ‘Jungmo7001’ (A) and ‘Yuryeo’ (B) were roasted and pressed, and the oil yields were compared with each CPO. Data were statistically analyzed using Duncan’s test ($p < 0.05$). n.s.: not significant; CPO: cold-pressed oil.

Table 2. The color values of rapeseed oil according to roasting temperature

Varieties	Roasting temp. (°C)	Oil	L*	a*	b*	TCD parameter ¹⁾
Jungmo7001	CPO		95.2 ^a	-3.8 ^d	54.7 ^c	-
	140		92.2 ^b	-2.0 ^c	104.5 ^b	49.9
	160		91.1 ^b	-1.3 ^c	106.7 ^{ab}	52.2
	180		84.8 ^c	6.4 ^b	109.0 ^a	56.3
	200		79.9 ^d	12.0 ^a	107.4 ^{ab}	57.1
Yuryeo	CPO		97.3 ^a	-3.0 ^c	28.1 ^e	-
	140		94.1 ^b	-4.2 ^c	69.2 ^c	41.3
	160		93.7 ^c	-4.0 ^d	66.9 ^d	39.0
	180		89.2 ^d	-0.3 ^b	79.4 ^b	52.0
	200		86.3 ^e	2.8 ^a	84.8 ^a	58.0

Different lowercase letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan’s multiple range test.

¹⁾ TCD parameter (total color difference parameter, ΔE_{ab}).

2. 원료곡 볶음온도별 유채유의 지방산 조성 변화

볶음온도별 유채유의 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 유채 기름은 전체 지방산 중 올레산(C18:1), 리놀레산(C18:2), 리놀렌산(C18:3), 팔미트산 (C16:0), 스테아르산 (C18:0)의 순으로 높은 함량을 보였다. 특히, 올레산 조성이

‘중모7001’과 ‘유려’에서 각 65%와 73%로 품종간의 차이를 보였다. 하지만 두 품종 모두 저온압착유와 볶음압착유 간의 유의미한 지방산 조성 차이는 보이지 않았고, 볶음 온도의 증가에 따른 변화 역시 관찰되지 않았다. Rekas 등(2015)에서는 유채 종자를 80~140°C에서 볶음처리 했을 때, 본 연구와

Table 3. Changes of fatty acid composition of rapeseed oil by roasting temperature

Varieties	Roasting temp. (°C)	Fatty acid composition (%)						
		C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:1	etc
Jungmo 7001	CPO	3.7 ^{n.s.}	2.0 ^{n.s.}	64.7 ^{n.s.}	20.1 ^{n.s.}	7.6 ^{n.s.}	1.1 ^{n.s.}	0.9 ^{n.s.}
	140	3.5	2.1	64.7	20.1	7.5	1.1	1.0
	160	3.8	2.0	64.7	20.1	7.6	1.0	0.7
	180	3.8	2.0	64.8	20.0	7.5	1.1	0.8
	200	3.8	2.0	64.8	19.1	7.4	1.1	0.9
Yuryeo	CPO	3.6 ^{ab}	2.2 ^{n.s.}	73.1 ^{n.s.}	11.1 ^{n.s.}	7.2 ^{n.s.}	1.2 ^b	1.7 ^{n.s.}
	140	3.6 ^a	2.3	73.5	10.8	6.9	1.2 ^a	1.6
	160	3.5 ^b	2.3	73.4	10.9	7.0	1.2 ^a	1.6
	180	3.5 ^b	2.2	73.3	10.9	7.0	1.3 ^a	1.8
	200	3.5 ^b	2.3	73.5	10.9	6.9	1.3 ^a	1.7

Different lowercase letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. n.s.: not significant.

마찬가지로 지방산 조성에 차이를 보이지 않았다. 그러나 종자를 220°C의 고온에서 20분간 볶은 기름에서는 불포화 지방산의 산화로 올레산과 리놀렌산이 감소하였다(Tan 등 2022). 이에 본 연구에서 처리한 볶음 온도는 지방산 조성에 현저한 영향을 미치지 않는 범위인 것으로 판단된다.

3. 볶음온도별 유채유의 기능성분 함량 비교

각 볶음온도별로 β -카로틴 및 토코페롤의 함량 변화를 비교하였다(Fig. 2). 품종 간 저온압착유의 β -카로틴을 비교하면 '중모7001'이 0.13 mg/100 g으로 '유려'(0.05 mg/100 g) 대비 높았다. '중모7001'은 볶음온도 160°C에서 0.7 mg/100 g로 저온압착유 대비 23% 증가해 가장 높은 함량을 보였고, 그 이상의 온도에서는 감소하여 볶지 않은 저온압착유와 비교하여 유의적 차이는 없었다. 반면에 '유려'는 볶음압착유에서 약 0.06 mg/100 g로 다소 증가하였으나, 통계적 유의성은 보이지 않았다(Fig. 2A). 카로티노이드는 항산화, 항암, 심혈관 질환 예방 등의 생리학적 기능을 갖는 유용성분 중 하나로, 볶음처리하는 기름의 카로티노이드의 함량을 높이는 데에 효과가 있다고 땅콩 및 호두 등에서 보고된 바 있다(Kulczyński 등 2017; Mazaheri 등 2019; Elouafy 등 2022; Zhang 등 2022). 본 연구에서 '중모7001'은 160°C까지 β -카로틴이 증가하였는데, 이는 종자 단백질과 카로티노이드 사이의 결합이 열처리에 의해서 끊어지며 기름으로 β -카로틴의 용출이 증가한 것으로 사료된다(Kaseke 등 2021). 더불어 160°C 이상의 온도에서 볶았을 때, 다시 β -카로틴의 함량이 감소한 것은 상대적으로 높은 온도에서 카로티노이드의 분해가 가속화되어 나타난 결과로 판단된다(Durmaz & Gökmen 2011; Sampaio 등 2013). 향후 β -카로틴 외의 다른 카로티노이드의 변화를 관

찰하여 종합적인 결론 도출이 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 2B는 볶음온도별 '중모7001'과 '유려'의 총 토코페롤 함량을 나타냈다. 저온압착유에서 총 토코페롤은 '중모7001'이 61.5 mg/100 g로 '유려'(55.8 mg/100 g)보다 많이 함유되어 있음을 확인하였다. 두 품종 모두 볶음온도에 의존적으로 총 토코페롤 함량이 증가하는 경향을 보였는데, '중모7001'은 160°C, '유려'는 140°C부터 증가하였고 200°C에서 각각 74.0 및 66.1 mg/100 g로 저온압착유 대비 1.2배 증가하였다. 유채유의 토코페롤은 γ -토코페롤이 31.9~44 mg/100 g으로 가장 많았고, 다음 α -토코페롤이 18.3~23.9 mg/100 g, δ -토코페롤이 5.3~5.4 mg/100 g으로 가장 낮았다(Fig. 2C, 2D). 저온압착유의 γ -토코페롤이 '중모7001'과 '유려' 품종에서 각각 37.7 및 31.9 mg/100 g인 것으로 보아, 위에서 말한 두 품종간의 총 토코페롤 함량 차이는 γ -토코페롤 차이에서 기인한 결과임을 확인하였다. 또한, δ -토코페롤을 제외하고 볶음온도 증가에 따라 각각의 토코페롤 역시 총 토코페롤과 동일하게 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 토코페롤은 기름에 함유된 친유성의 천연 항산화제로서 자유 라디칼을 제거하여 기름이 산화되는 것을 방지한다(Azadmard-Damirchi 등 2010; Alasalvar & Bolling 2015). 이에 볶음 또는 초고주파 처리 등을 통해 식물성 기름의 토코페롤 함량을 증진시키기 위한 선행 연구들이 다수 수행되었다(Potočnik 등 2018; Mohamed Ahmed 등 2020). 본 연구에서 유채 종자의 볶음온도가 높아질수록 기름의 토코페롤 함량도 증가하는 것을 확인하였다. 이는 열처리에 의해 세포벽이 파괴되고 종자에서 단백질 또는 인지질과 토코페롤간의 결합이 변화되면서 기름 상에 토코페롤의 용출이 증가한 것으로 판단된다(Vaidya & Eun 2013).

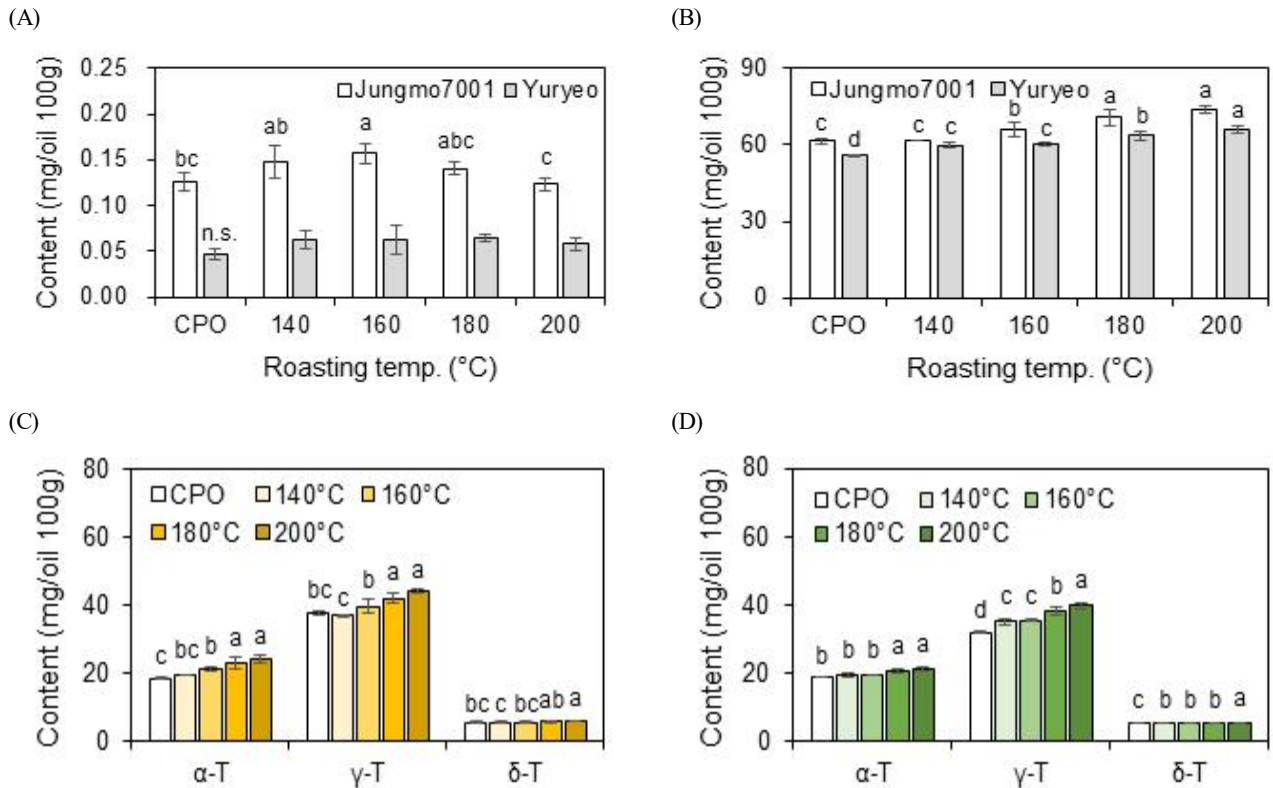


Fig. 2. The content of bioactive compounds from rapeseed oil according to roasting temperature. (A) Comparison of the β -carotene content among oils at different roasting temperatures. (B) Total tocopherol content of rapeseed oil by roasting temperatures. (C, D) The tocopherol composition (α -, γ -, and δ -) of oils of varieties 'Jungmo7001' (A) and 'Yuryeo' (B), respectively. Data were statistically analyzed using Duncan's test ($p < 0.05$) to compare differences among roasting temperatures. CPO: cold-pressed oil.

4. 볶음처리에 따른 유채유의 radical 소거활성 및 산화안정도 비교

DPPH와 ABTS radical 소거능 분석법은 재현성이 높고 오류 제어가 용이하여 식물성 오일의 항산화능을 조사하기에 적합한 *in-vitro* 방법이다 (Rubalya Valantina & Neelamegam 2015). 원료곡 볶음온도별 유채유의 radical 소거활성을 측정 한 결과는 Fig. 3과 같이 온도가 높아질수록 소거활성 역시 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. DPPH radical 소거활성은 저온압착유 대비 '중모7001'에서 160°C부터 증가하는 반면, '유려'에서는 140°C부터 증가하였다. '중모7001'의 200°C 볶음압착유는 radical 소거활성이 95.1 mg TE/g oil로, 저온압착유(35.7 mg TE/g oil)에 비하여 2.7배 증가하였다. '유려'의 경우, 저온압착유의 radical 소거활성이 34.1 mg TE/g oil인 것에 비하여, 200°C 볶음압착유는 91.5 mg TE/g oil로 약 2.7배 증가하였다. DPPH radical 소거활성에서 두 품종 간의 현저한 차이는 관찰되지 않았다 (Fig. 3A).

ABTS radical 소거활성은 두 품종 모두 140°C부터 증가하

였으나, '유려'는 180°C 이상에서 더 이상 증가하지 않았다. '중모7001' 및 '유려'의 200°C 볶음압착유는 ABTS radical 소거활성이 각 267.5 및 231.1 mg TE/g oil로, 저온압착유(각 18.1 및 9.3 mg TE/g oil)에 비하여 각 14.8 및 24.9배 증가하였다. DPPH radical 소거활성과는 달리 ABTS radical 소거활성에서는 '중모7001'이 '유려'보다 높게 나타났다(Fig. 3B). 라즈베리 또는 카멜리나 등의 타 식물성 기름을 대상으로 한 이전 연구에서도 볶음처리에 따라 radical 소거능이 증가하는 것을 확인하였고, 이처럼 원료곡의 볶음처리는 기름의 항산화능을 증진시키는 데에 매우 효과적임을 알 수 있다 (Róžańska 등 2019). 볶음처리는 유용성분을 단백질 등과 결합된 형태에서 유리된 형태로 변화시켜 기름으로 용출되기 쉽게 한다. 이러한 유용성분들이 유채유의 항산화능 증진에 기여한 것으로 사료되며, 본 연구에서 분석한 토코페롤과 β -카로틴 역시 항산화능과 유의한 정적 상관을 나타낸다고 보고된 바 있다(Lee 등 2015; Lyu 등 2021). 그러나 이 두 성분은 볶음온도에 따라 현저히 증가하는 항산화능의 일부만 설

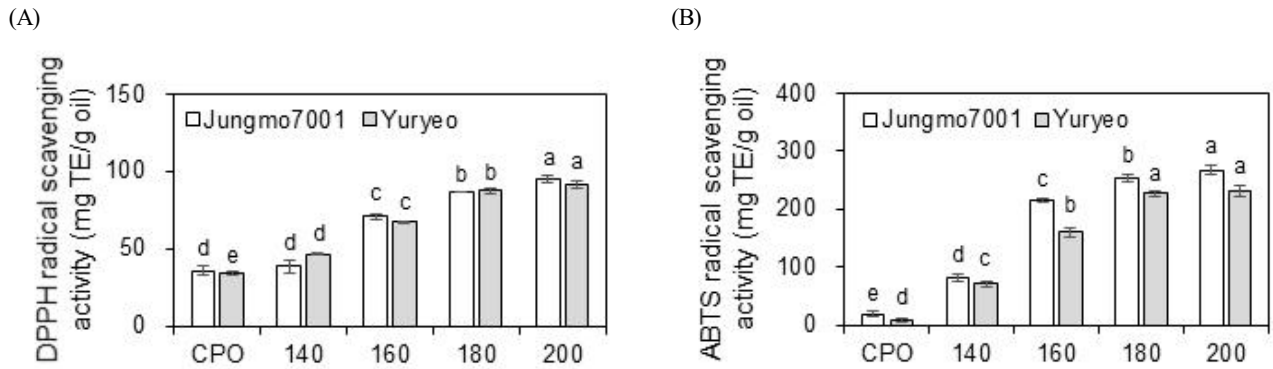


Fig. 3. The antioxidant activity of rapeseed oil according to roasting temperatures. (A) DPPH radical scavenging activity. (B) ABTS radical scavenging activity. Each value is the mean±S.D. of three independent measurements. Data were statistically analyzed using Duncan's test ($p<0.05$) to compare among roasting conditions for each variety. CPO: cold-pressed oil.

명이 가능하므로, 이 외의 다른 유용성분들의 함량 변화 역시 관찰할 필요가 있다.

Rancimat 방법으로 볶음온도별 유채유의 산화안정성을 측정된 결과 Fig. 4와 같이 나타났다. 강제산화 조건 하에서 저온압착유의 산화유도기간은 '중모7001'이 14시간, '유려'가 19시간으로, '유려'가 36% 더 긴 것으로 보아 상대적으로 산화에 안정적임을 알 수 있었다. 또한 두 품종 모두 볶음온도가 높아질수록 산화안정성 역시 증가하는 경향을 보여 200°C에서 높게 나타났다. 볶음온도에 따라 '중모7001'은 20~46시간, '유려'는 29~44시간으로 저온압착유 대비 각 1.5~3.3배, 1.5~2.3배 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이전의 대

마, 참깨 및 살구씨 등을 볶음처리한 기름에서도 유사하게 나타났다 (Durmaz 등 2010; Brys 등 2019; Arab 등 2022). 볶음 처리는 기름 내 유용성분의 함량을 증진시킬 뿐만 아니라, 열에 민감한 성분은 분해하고 내열성의 성분을 생성하여 산화안정성 증가에 기인한 것으로 사료된다(Li 등 2023). 또한 β -카로틴과 토코페롤의 함량은 상대적으로 '중모7001'에서 높게 나타나는 것에 비해 산화안정성은 '유려'에서 더 높았다. 이를 통해 강제산화 조건 하의 산화안정성은 유용성분보다 지방산 조성의 영향이 더 클 것으로 판단된다(Sabolová 등 2017).

요약 및 결론

본 연구에서는 볶음처리에 따른 유채유의 품질 변화를 구명하고자 '중모7001'과 '유려' 품종을 이용하여 서로 다른 온도에서 종자를 볶은 후 기름을 착유하였고, 각 온도별로 착유수율, 색도, 지방산 조성, 유용성분 함량, radical 소거활성 및 산화안정성을 비교하였다. 저온압착유와 비교하여 볶음압착유는 착유수율이 증가하는 경향을 보였으며, 온도가 높아질수록 기름의 명도는 감소하고 적색도와 황색도가 증가하였다. 두 품종 간 지방산 조성의 차이를 보면 올레산이 '중모7001'과 '유려'에서 각 65%와 73%로 '유려'가 더 높았으나, 볶음처리에 따른 지방산 조성의 변화는 두 품종 모두 관찰되지 않았다. 또한 β -카로틴의 함량은 볶음처리에 따라 증가하는 경향을 보였고, '중모7001'이 '유려'보다 약 2.6배 높았다. 총 토코페롤 함량은 두 품종 모두 볶음온도가 높을수록 함량이 증가하여 200°C에서는 저온압착유 대비 18~20% 높게 나타났다. 이러한 유용성분 함량의 증가로 기름의 radical 소거활성 역시 볶음온도와 의존적으로 증가하였는데, DPPH radical 소거활성을 기준으로 저온압착유 대비 200°C 볶음압

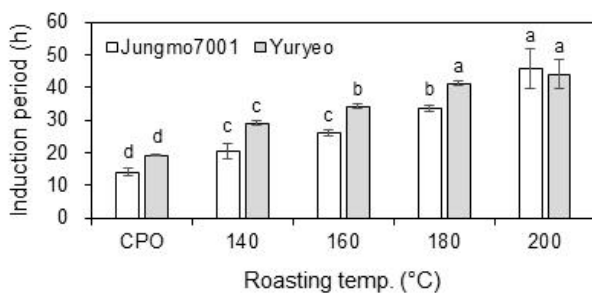


Fig. 4. The oxidative stability activity of each rapeseed oil through an accelerated oxidation test using Rancimat. The oxidative stability was expressed as induction period. The induction periods of samples means the point at which the water conductivity sudden increases in the measuring vessel. Each value is the mean±S.D. of three independent measurements. Data were statistically analyzed using Duncan's test ($p<0.05$) to compare differences among roasting temperatures. CPO, cold-pressed oil.

착유에서 2.7배 증가하였다. 마지막으로 rancimat을 이용한 산화안정성 분석에서는 볶음온도가 높을수록 산화유도기간이 길어져 최대 3.3배까지 증가하는 것을 확인하였고, ‘유려’가 ‘중모7001’보다 산화안정성이 23~36% 높게 나타났다. 이를 종합해 볼 때, 유채 원료곡의 볶음 처리는 기름의 기능성을 증진시키기 위한 방법으로 효과적임을 알 수 있다. 본 연구는 고품질의 기름을 생산하기 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 향후 볶음처리에 따른 다양한 유용성분 분석이 이루어져야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 작물시험연구사업(과제번호: PJ016815022023)의 지원에 의해 수행되었다.

References

- Alasalvar C, Bolling BW. 2015. Review of nut phytochemicals, fat-soluble bioactives, antioxidant components and health effects. *Br J Nutr* 113:S68-S78
- Arab R, Casal S, Pinho T, Cruz R, Freidja ML, Lorenzo JM, Hano C, Madani K, Boulekbache-Makhlouf L. 2022. Effects of seed roasting temperature on sesame oil fatty acid composition, lignan, sterol and tocopherol contents, oxidative stability and antioxidant potential for food applications. *Molecules* 27:4508
- Azadmard-Damirchi S, Habibi-Nodeh F, Hesari J, Nemati M, Achachlouei BF. 2010. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. *Food Chem* 121:1211-1215
- Bryś A, Bryś J, Mellado ÁF, Głowacki S, Tulej W, Ostrowska-Ligęza E, Koczoń P. 2019. Characterization of oil from roasted hemp seeds using the PDSC and FTIR techniques. *J Therm Anal Calorim* 138:2781-2786
- Chew SC. 2020. Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality. *Food Res Int* 131:108997
- Durmaz G, Gökmen V. 2011. Changes in oxidative stability, antioxidant capacity and phytochemical composition of *Pistacia terebinthus* oil with roasting. *Food Chem* 128:410-414
- Durmaz G, Karabulut İ, Topçu A, Asiltürk M, Kutlu T. 2010. Roasting-related changes in oxidative stability and antioxidant capacity of apricot kernel oil. *J Am Oil Chem Soc* 87:401-409
- Elouafy Y, El Idrissi ZL, El Yadini A, Harhar H, Alshahrani MM, Al Awadh AA, Goh KW, Ming LC, Bouyahya A, Tabyaoui M. 2022. Variations in antioxidant capacity, oxidative stability, and physicochemical quality parameters of walnut (*Juglans regia*) oil with roasting and accelerated storage conditions. *Molecules* 27:7693
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. Food and agriculture data. Available from <http://www.fao.org/faostat/> [cited 20 November 2023]
- Górnaś P, Siger A, Juhņeviča K, Lācis G, Šnē E, Segliņa D. 2014. Cold-pressed Japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach) seed oil as a rich source of α -tocopherol, carotenoids and phenolics: A comparison of the composition and antioxidant activity with nine other plant oils. *Eur J Lipid Sci Technol* 116:563-570
- Hwang KM, Bae JW, Hu SJ, Oh KS. 2019. Determination of β -carotene in infant formulas by high-performance liquid chromatography. *J Food Hyg Saf* 34:334-339
- Kaseke T, Opara UL, Fawole OA. 2021. Novel seeds pretreatment techniques: Effect on oil quality and antioxidant properties: A review. *J Food Sci Technol* 58:4451-4464
- Kim KS, Jang YS, Lee YH, Kim CW, Choi KH, Kang DS, Kim ST, Choi IH. 2014. A rapeseed intermediate parent ‘Jungmo 7001’ with wide adaptable and large flower. *Korean J Breed Sci* 46:302-306
- Kim KS, Kim YB, Jang YS, Bang JK. 2007. Bioenergy crop production and research trends. *J Plant Biotechnol* 34:103-109
- Kulczyński B, Gramza-Michałowska A, Kobus-Cisowska J, Kmiecik D. 2017. The role of carotenoids in the prevention and treatment of cardiovascular disease - Current state of knowledge. *J Func Foods* 38:45-65
- Lee MJ, Cho MK, Oh SH, Oh CH, Choi DS, Woo JW, Park KH, Jung MY. 2014b. Fatty acid composition, contents of tocopherols and phytosterols, and oxidative stability of mixed edible oil of perilla seed and rice bran oil. *Korean J Food Nutr* 27:59-65
- Lee TS, Lee YH, Kim KS, Lee HK, Jang YS, Choi IH, Kim KS. 2014a. Effect of sowing time on oil content and fatty acid composition characteristics in rapeseed cultivars. *Korean J Plant Resour* 27:202-208
- Lee YH, Park W, Kim KS, Cha YL, Moon YH, Song YS, Lee JE. 2017. Analysis of patent trends on value added technologies for rapeseed by-product in major producing

- countries. *J Korean Soc Int Agric* 29:356-365
- Lee YY, Park HM, Hwang TY, Kim SL, Kim MJ, Lee SK, Seo MJ, Kim KJ, Kwon YU, Lee SC, Kim YH. 2015. A correlation between tocopherol content and antioxidant activity in seeds and germinating seeds of soybean cultivars. *J Sci Food Agric* 95:819-827
- Li H, Han J, Zhao Z, Tian J, Fu X, Zhao Y, Wei C, Liu W. 2023. Roasting treatments affect oil extraction rate, fatty acids, oxidative stability, antioxidant activity, and flavor of walnut oil. *Front Nutr* 9:1077081
- Lim CL, Hong EJ, Son HJ, Kim JE, Noh BS. 2011. Effects of roasting condition and storage time on changes in volatile compounds in rapeseed oils. *Korean J Food Sci Technol* 43:291-302
- Lund MN, Ray CA. 2017. Control of Maillard reactions in foods: Strategies and chemical mechanisms. *J Agric Food Chem* 65:4537-4552
- Lyu Y, Bi J, Chen Q, Wu X, Qiao Y, Hou H, Zhang X. 2021. Bioaccessibility of carotenoids and antioxidant capacity of seed-used pumpkin byproducts powders as affected by particle size and corn oil during *in vitro* digestion process. *Food Chem* 343:128541
- Mazaheri Y, Torbati M, Azadmard-Damirchi S, Savage GP. 2019. Effect of roasting and microwave pre-treatments of *Nigella sativa* L. seeds on lipase activity and the quality of the oil. *Food Chem* 274:480-486
- McDowell D, Elliott CT, Koidis A. 2017. Characterization and comparison of UK, Irish, and French cold pressed rapeseed oils with refined rapeseed oils and extra virgin olive oils. *Eur J Lipid Sci Technol* 119:1600327
- Mohamed Ahmed IA, Musa Özcan M, Uslu N, Juhaimi FAL, Osman MA, Alqah HAS, Ghafoor K, Babiker EE. 2020. Effect of microwave roasting on color, total phenol, antioxidant activity, fatty acid composition, tocopherol, and chemical composition of sesame seed and oils obtained from different countries. *J Food Process Preserv* 44:e14807
- Potočnik T, Cizej MR, Košir IJ. 2018. Influence of seed roasting on pumpkin seed oil tocopherols, phenolics and antiradical activity. *J Food Compos Anal* 69:7-12
- Rabiej-Kozioł D, Krzemiński MP, Szydłowska-Czerniak A. 2021. Steryl sinapate as a new antioxidant to improve rapeseed oil quality during accelerated shelf life. *Materials* 14:3092
- Rękas A, Wroniak M, Rusinek R. 2015. Influence of roasting pretreatment on high-oleic rapeseed oil quality evaluated by analytical and sensory approaches. *Int J Food Sci Technol* 50:2208-2214
- Róžańska MB, Kowalczewski PŁ, Tomaszewska-Gras J, Dwiecki K, Mildner-Szkudlarz S. 2019. Seed-roasting process affects oxidative stability of cold-pressed oils. *Antioxidants* 8:313
- Rubalya Valentina S, Neelamegam P. 2015. Selective ABTS and DPPH-radical scavenging activity of peroxide from vegetable oils. *Int Food Res J* 22:289-294
- Sampaio KA, Ayala JV, Silva SM, Ceriani R, Verhé R, Meirelles AJA. 2013. Thermal degradation kinetics of carotenoids in palm oil. *J Am Oil Chem Soc* 90:191-198
- Sabolová M, Johanidesová A, Hasalíková E, Fišnar J, Doležal M, Réblová Z. 2017. Relationship between the composition of fats and oils and their oxidative stability at different temperatures, determined using the *Oxipres apparatus*. *Eur J Lipid Sci Technol* 119:1600454
- Shahidi F. 2005. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Edible Oil and Fat Products: Processing and Technologies*. 6th ed. John Wiley & Sons
- Tan M, Chen C, Fu X, Cui FJ, Zhang HB, Ye PP, Zhang W, Shu XQ, Shi JC, Chen ZW. 2022. Roasting treatments affect physicochemical, aroma and nutritional quality of strong fragrant rapeseed oil. *J Food Compos Anal* 111:104648
- Vaidya B, Eun JB. 2013. Effect of roasting on oxidative and tocopherol stability of walnut oil during storage in the dark. *Eur J Lipid Sci Technol* 115:348-355
- Wu Y, Zhou R, Wang Z, Wang B, Yang Y, Ju X, He R. 2019. The effect of refining process on the physicochemical properties and micronutrients of rapeseed oils. *PLOS ONE* 14:e0212879
- Xu T, Yang R, Hua X, Zhao W, Tong Y, Zhang W. 2019. Improvement of the yield and flavour quality of sesame oil from aqueous extraction process by moisture conditioning before roasting. *Int J Food Sci Technol* 54:471-479
- Xu YJ, Jiang F, Song J, Yang X, Shu N, Yuan L, Tan CP, Liu Y. 2020. Understanding of the role of pretreatment methods on rapeseed oil from the perspective of phenolic compounds. *J Agric Food Chem* 68:8847-8854
- Yu J, Wang M, Zhang M, Liu Y, Li J. 2021. Effect of infrared ray roasting on oxidation stability and flavor of virgin rapeseed oils. *J Food Sci* 86:2990-3000
- Zhang D, Li X, Cao Y, Wang C, Xue Y. 2020. Effect of roasting on the chemical components of peanut oil. *LWT* 125:109249

Zhang D, Li X, Zhang Z, Zhang J, Sun Q, Duan X, Sun H, Cao Y. 2022. Influence of roasting on the physicochemical properties, chemical composition and antioxidant activities of peanut oil. *LWT* 154:112613

Received 4 October, 2023
Revised 8 November, 2023
Accepted 10 November, 2023