



오크라 씨 기름의 기능성 성분 함량 및 생리활성 평가

서동연¹ · 전아영¹ · 신의철² · 이준수³ · 황인국⁴ · 김영화^{5,*}

¹경성대학교 식품생명공학과, ²경남과학기술대학교 식품과학과, ³충북대학교 식품생명축산학부,
⁴농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부, ⁵경성대학교 식품응용공학부

Evaluation of Bioactive Compounds Contents and Biological Activities of Okra Seeds Oils

Dongyeon Seo¹, Ahyeong Jeon¹, Eui-Cheol Shin², Junsoo Lee³, In Guk Hwang⁴, Younghwa Kim^{5,*}

¹Dept of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University

²Dept of Food Science, Gyeongnam National University of Science and Technology

³Division of Food and Animal Sciences, Chungbuk National University

⁴Dept of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration

⁵School of Food Biotechnology and Nutrition, Kyungsoong University

Abstract

This study examined the contents of bioactive compounds and the biological activity of okra seed oil. Okra seed oil consisted mainly of linoleic acid (44.2%). The content of total phytosterols was 2.180 mg/g oil, with β -sitosterol being the highest (1.756 mg/g oil). The vitamin E content was 1.278 mg/g oil; the content of α -tocopherol was higher than γ -tocopherol. The total polyphenol and flavonoid contents were 2.463 mg gallic acid equivalent/g and 1.602 mg catechin equivalent/g, respectively. The 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid and α - α -diphenyl- β -picrylhydrazyl free radical scavenging activities were 15.297% and 22.265%, respectively, and the reducing power was 4.524 mg gallic acid equivalent/g. The okra seed oil inhibited 77.692% of the α -glucosidase activity. The present study showed that okra seed oil had a considerable amount of phytochemicals and exhibited biological activity. These results suggest that okra seed oil is a potential natural therapeutic for the management of metabolic syndromes.

Key Words : Okra seed oil, vitamin E, phytosterol, radical scavenging activity, α -glucosidase inhibitory activity

1. 서 론

오크라(*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench)는 동아프리카 원산지의 작물로 아프리카, 북미, 남유럽 등지에서 식용으로 사용되고 있다. 오크라 열매에는 다량의 폴리페놀 성분이 함유되어 있으며(Huang et al. 2007), 단백질 및 탄수화물 등 일반성분들의 함량이 높은 것으로 알려져 있다(Petropoulos et al. 2018). 일반적으로 오크라의 열매는 미숙한 상태로 섭취하며, 열매가 과숙하게 되면 껍질과 씨가 딱딱해지는 물리적인 특성 때문에 식품으로써의 가치가 떨어져 폐기되고 있는 실정이다. 오크라 열매에서 씨가 차지하는 비율은 약 15%이며, Calisir et al. (2005)에 따르면 과숙한 오크라 씨에 단백질은 약 19.10%, 지용성 성분은 약 8.21%를 차지하고 있다고 한다. 또한 오크라 씨의 단백질은 단백질 효율(protein efficiency ratio)이 우수하여 치료용 식품(therapeutic foods)의 원료로 사용하고자 하는 연구가 보고되

어 있으며(Uhiara & Onwuka 2014), 과숙한 오크라 씨를 로스팅(roasting)하여 커피 대용품으로 사용하고자 하는 연구가 보고되어 있기도 하다(Calisir et al. 2005). Adalakun et al. (2009)의 연구 결과에 의하면 오크라 씨는 폴리페놀 화합물을 다량 함유하고 있으며, 높은 항산화 활성을 보인다고 보고하였다. 또한 오크라 씨는 혈중 콜레스테롤 및 지질 농도를 낮추는 효과를 나타낸다(Dubey & Mishra 2017).

일반적으로 식물성 유지는 대부분 중성지방으로 구성되어 있으며, linoleic acid 및 linolenic acid를 함유하여 필수지방산의 급원 식품이 되기도 한다. 또한 식물성 유지에는 식물성스테롤, 비타민 E, squalene, policosanol 등의 화합물을 포함하며, 이러한 성분들은 인체 내 이로운 작용이 있는 것으로 알려져 있다. 기존에 보고된 연구에 따르면 올리브유 및 대두유는 우수한 비타민 E 및 필수지방산의 급원 식품이면서 다량의 식물성스테롤 및 squalene 등의 생리활성 성분을 다량 함유하고 있음을 보고하고 있다(Alonso-Salces et

*Corresponding author: Younghwa Kim, School of Food Biotechnology and Nutrition, Kyungsoong University, Busan, 48434, Republic of Korea
Tel: +82-51-663-4652 Fax: +82-51-622-4986 E-mail: younghwakim@ks.ac.kr

al. 2009; Farhoosh et al. 2011; Chanoti & Tzia 2017). 뿐만 아니라 Ham et al. (2013)의 연구에 의하면 쌀의 미강 유로부터 얻은 추출물은 식물성스테롤, 비타민 E 및 policosanol 등이 다량 함유되어 있으며, 항산화 작용이 뛰어나고 산화적 스트레스에 대한 세포 보호효과를 나타낸다고 하였다. 국제연합식량농업기구(Food and agriculture organization of the united nations, FAO)에 따르면, 2007년에 전 세계적으로 약 5억 4,100만 톤의 오크라가 생산되었다고 한다. 일본의 경우, 2011년 오크라의 국내 생산량이 210만 kg이라고 보고되었으며, 슈퍼마켓이나 대형유통매장 등에서 냉동, 건조, 진공포장 형태나 차, 스넥과 같은 가공식품 형태로도 다양하게 판매되고 있다(Kim et al. 2013). 현재 지구온난화로 인한 기후변화로 우리나라에서도 오크라, 공심채 등과 같은 아열대 채소에 대한 재배 및 소비가 증가하고 있으나, 오크라의 활용 및 기능성에 대한 연구는 미비한 실정이다. 특히 오크라 씨는 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있음에도 불구하고 기능성 식품 소재에 활용하기 위한 연구는 미흡한 편이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산된 과숙한 오크라 씨로부터 기름을 얻어 기능성을 탐색하고자 기능성 성분의 함량과 생리활성을 평가하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 재료 및 시약

본 실험에 사용된 오크라 씨는 충청남도 부여군에서 재배된 과숙한 오크라 씨를 구입하여 사용하였으며, 진공 포장하여 냉장보관 하였다. 또한 dimethyl sulfoxide (DMSO), trolox, sodium chloride, magnesium sulfate anhydrous, Folin-ciocalteu's reagents, catechin, α - α -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS)는 Sigma사(Sigma Chemical Co., St Louis, MO, USA)에서 구입하여 실험에 사용하였다. 비타민 E 표준용액으로 사용되는 tocopherol과 tocotrienol은 Merck(Darmstadt, Germany)로부터 구입하여 사용하였다. 본 연구에 사용된 methanol 및 물은 Burdick & Jackson Co. (Muskegon, MI, USA)로부터 HPLC 등급을 구입하여 사용하였다.

2. 오크라 씨 기름 및 methanol 추출물 제조

본 연구에 활용된 오크라 씨로부터 기름을 추출하기 위해 오크라 씨를 수세 및 건조하였다. 건조된 오크라 씨는 분쇄하여 10 g을 칭량한 후 200 mL의 hexane으로 상온에서 18시간 동안 진탕 추출하였다. 추출 후 여과지(Advantec No. 2, Toyo Kaisha Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 여과한 후 감압농축기(EYELA N-1000, Rikakikai Co., Tokyo, Japan)로 용매를 제거한 다음 오크라 씨 기름을 얻어 실험에 사용하였다. 또한 오크라 씨 기름의 methanol 추출물을 제조하기 위해서는 오크라 씨 기름 5 g에 50 mL의 methanol을 가해

18시간 동안 상온에서 교반한 후 methanol 층을 모았다. 모아진 methanol 층은 감압농축기를 이용하여 유기용매를 제거하였으며, 잔사를 얻어 DMSO에 녹여 실험에 사용하였다. 본 실험에 사용된 대두유(Soybean oil, Ottogi, Pyeongtaek, Korea)의 methanol 추출물은 대조구로 오크라 씨 기름의 methanol 추출물과 같은 방법으로 제조하였다.

3. 지방산 분석

오크라 씨 기름의 지방산 조성을 알아보기 위해 Kim et al. (2017)의 방법을 이용하였다. 오크라 씨 기름은 메틸에스터(fatty acid methyl ester, FAME)로 유도체화 시킨 후 실험을 진행하였다. 오크라 씨 기름의 지방산 조성은 gas chromatography (GC) 분석을 통해 알아보았으며 Agilent Technologies 6890N (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 사용하였다. 지방산 분석에 사용된 column은 SP-2560 capillary column (100 m \times 0.25 mm i.d., 0.25 μ m film thickness; Agilent Technologies)이었으며, oven 온도는 5분 동안 130°C를 유지시켰고, 그 후 분당 4°C씩 온도가 240°C까지 상승되도록 한 후 15분을 유지시켰다. 각각의 지방산은 지방산 표준품(Supelco 37 FAME, Sigma Chemical Co.)의 머무름 시간(retention time)과 비교하여 정량하였다.

4. 식물성스테롤 분석

오크라 씨 기름의 식물성스테롤 함량을 분석하기 위해 Shin et al. (2010)의 방법을 이용하여 분석하였다. 오크라 씨 기름에 내부 표준물질인 5 α -cholestane (Matreya LLC, Pleasant Gap, PA, USA)을 첨가한 후, 3% pyrogallol을 함유한 ethanol을 첨가하고 진탕한 후 포화된 KOH를 가하여 비누화를 진행하였다. 반응액에 소형 마그네틱 바를 넣고 밀봉한 후 80°C의 heat block에서 1시간 동안 반응시켰고, 상온에 방치하여 냉각한 후 3차 증류수를 첨가하여 진탕하였다. 그리고 추출액에 hexane을 첨가하였고, 진탕한 후 방치하여 상층액을 모았으며, 이 과정을 2회 반복하였다. 추출된 상층액은 질소농축기(Chongmin Co., Seoul, Korea)를 이용하여 농축하였으며, 1% trimethylchlorosilane이 함유된 N,O-bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide+trimethylchlorosilane 용액과 pyridine 용액을 첨가하여 진탕한 후 80°C heat block에서 1시간 동안 유도체화를 진행하였다. 유도체화가 완료된 반응액은 0.45 μ m PTFE syringe filter (WhatmanTM, Dassel, Germany)를 이용하여 여과하여 분석에 사용하였다. 식물성스테롤의 분석에 사용한 column은 HP-5 (30 m \times 0.32 mm i.d., 0.25 μ m film thickness; Agilent Technologies)이었으며, GC (Agilent Technologies 6890N)의 oven 온도는 초기 260°C에서 시작하여 분당 3°C씩 상승시켜 300°C에 도달한 후 15분을 유지시켰다. 분석 시 GC 주입구와 검출기 온도는 각각 300°C와 320°C이었다. 식물성스테롤의 동정과 정량은 각각의 표준품을 사용하였으며, 머무름 시간과 peak area를

확인하여 정량하였다.

5. 비타민 E 함량 분석

오크라 씨 기름의 비타민 E 함량 분석을 위해 Park et al. (2016)의 방법을 사용하였다. 오크라 씨 기름은 hexane에 용해한 후 0.45 µm PTFE syringe filter로 여과하여 HPLC 분석을 실시하였다. 형광검출기(FP-2020, Jasco Corporation)를 포함한 HPLC (LC-2000 Plus system, Jasco Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하여 분석을 실시하였고, 분석 컬럼은 LiChrospher Diol 100 column (5 µm, 4.6×125 mm, Merck Millipore laboratories, Darmstadt, Germany)을 사용하였다. Column oven (CO-2060, Jasco Corporation)의 온도는 25°C였으며, 이동상은 1.1% isopropanol을 함유한 n-hexane으로 1.0 mL/min의 유속이 되게 하였다. 검출 파장은 excitation은 290 nm, emission은 320 nm이었고, 시료의 1회 주입량은 20 µL이었다.

6. 총 폴리페놀 함량 측정

오크라 씨 기름에 함유되어 있는 총 폴리페놀의 함량을 알아보기 위해 Folin & Denis (1912)의 방법을 이용하여 측정하였다. DMSO에 희석한 오크라 씨 기름 methanol 추출물 50 µL에 2% Na₂CO₃ 1 mL와 50% Folin-ciocalteu's reagents (Sigma Chemical Co., St Louis, MO, USA) 100 µL를 첨가하여 암소에서 5분간 상온 방치하였다. 이 후 분광광도계 (Thermo Scientific Ltd., Lafayette, CO, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량 확인을 위한 표준물질은 gallic acid (Santa Cruz Biotechnology Inc., Dallas, TX, USA)를 사용하였다.

7. 라디칼 소거능 측정

오크라 씨 기름의 항산화능을 알아보기 위해 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 측정하였다. DPPH 라디칼에 대한 환원력 측정을 위해 DMSO에 희석된 오크라 씨 기름 추출물 50 µL에 0.2 mM의 DPPH 용액을 1 mL을 가하여 진탕한 후 암소에서 30분간 방치하고 ELISA reader기를 이용하여 520 nm에서 흡광도를 측정하였다(Blois 1958). ABTS 라디칼 소거능을 측정하기 위해 7.4 mM의 ABTS 용액과 2.6 mM의 potassium persulfate를 혼합한 후 암소에서 24시간 방치하여, 735 nm에서 흡광도가 1.0 정도가 되도록 희석한

후 실험에 사용하였다. ABTS 라디칼 소거능을 측정하기 위해 20 µL의 오크라 씨 기름 추출물에 ABTS 라디칼 용액 1 mL를 가하여 진탕하였고, 30분간 암소에서 방치한 후 735 nm에서 흡광도를 측정하였다.

8. 환원력 측정

오크라 씨 기름의 환원력 측정은 Oyaizu (1986)의 방법을 사용하여 실험을 진행하였다. 오크라 씨 methanol 추출물 250 µL에 0.2 M sodium phosphate buffer (pH 6.6) 250 µL를 첨가하고 1% potassium ferricyanide 250 µL를 잘 혼합한 후 50°C 수욕상에서 20분간 반응시켰다. 그 후 10% trichloroacetic acid 용액 250 µL 첨가하고 10,000 rpm에서 1분간 원심분리 후 상등액 500 µL와 증류수 500 µL, 0.1% ferric chloride 200 µL를 넣어 혼합한 후 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 환원력은 mg TEAC/g residue로 표시하였다.

9. 통계분석

본 연구 결과는 모두 2회 이상의 반복 실험을 수행한 값이며, 결과 값은 평균±표준편차(standard deviation, SD)로 표시하였다. 또한 결과의 유의성을 검정하기 위하여 SAS, version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 사용하였으며, one-way ANOVA로 분석하여 Duncan's multiple range test를 통해 p<0.05 수준에서 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 오크라 씨 기름의 지방산 조성

오크라 씨 기름은 n-hexane을 이용하여 추출하였고, 추출 수율은 14.40%이었다. 오크라 씨 기름의 지방산 조성은 <Table 1>에 나타났다. 오크라 씨 기름에는 총 9가지의 지방산이 있는 것으로 나타났으며, 가장 많이 존재하는 지방산은 linoleic acid (C18:2)로 기름 100 mg 당 44.233 mg이 함유되어 있었다. 또한 포화지방산 중 식물성 유지에 다량 포함된 것으로 알려진 palmitic acid (C16:0)의 함량(30.045 mg/100 mg oil)은 오크라 씨 기름에서 두 번째로 높게 나타났다. 그 다음으로는 oleic acid (C18:1)의 함량(20.709 mg/100 mg oil)이 높았다. 국내산 오크라 씨 기름에 함유된 총 포화 지방산은 35.059%였으며, 총 불포화지방산은 64.941%로 나

<Table 1> Fatty acid composition of okra seed oil

(mg/100 mg oil)

| C14:0 | C16:0 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C20:0 | C21:0 | C22:0 | C24:0 | Total saturated | Total unsaturated |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|-------------------|
| 0.232± 0.000 ^f | 30.045± 0.025 ^b | 3.718± 0.016 ^d | 20.709± 0.063 ^c | 44.233± 0.062 ^a | 0.474± 0.002 ^e | 0.211± 0.001 ^f | 0.259± 0.004 ^f | 0.119± 0.003 ^e | 35.059± 0.001 | 64.941± 0.001 |

All values are mean±standard deviation of triplicate determination.

Means with different superscripts are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

타났다. Anwar et al. (2010)의 연구에 따르면 오크라 씨 기름에는 linoleic acid의 함량(30.31%)이 가장 많고, palmitic acid의 함량(30.23%)이 두 번째로 많으며, 총 불포화지방산의 함량이 약 60%로 본 연구결과와 유사한 것으로 보고되어 있다. 또한, 참기름에 가장 많이 존재하는 지방산은 linoleic acid로 46.82%를 차지하며 oleic acid는 39.25%가 함유하고 있다고 보고되어 있다(Kang et al. 2002). 오크라 씨 기름에 가장 많이 함유되어 있는 linoleic acid는 필수 지방산인 omega-6 지방산 중 하나로, 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추는 효과가 있는 것으로 알려져 있으며 심혈관 질환의 예방에도 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(Horrobin & Huang 1987). 따라서 오크라 씨 기름은 식물성 유지로 영양학적 가치가 우수하며, 건강상 이로운 효과를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

2. 오크라 씨 기름의 식물성스테롤 및 비타민 E 함량

오크라 씨 기름에 함유되어 있는 식물성스테롤의 함량을 알아보기 위하여 GC 분석을 실시하였고, 분석 결과는 <Table 2>에 나타내었다. 오크라 씨 기름에는 식물성스테롤 중 β -sitosterol의 함량이 가장 많았으며(1.756 mg/g oil), 그 다음으로는 campesterol (0.291 mg/g oil)이었다. Kalogeropoulos et al. (2010)의 연구에서는 지중해 지역에서 소비되는 14종의 두류의 식물성스테롤의 함량을 약 0.13%에서 0.53%로 보고하였다. 본 연구에서 분석한 오크라 씨 기름에는 약 0.22%의 식물성스테롤이 함유되어 있으며 총 식물성스테롤 중 β -sitosterol이 약 81%를 차지하였다. 기존 연구에 따르면 포도씨유의 식물성스테롤 중 β -sitosterol의 함량(0.639-1.193 mg/g)이 가장 높은 것으로 보고되어 있다(Wie et al. 2008). 엑스트라 버진 올리브유에서도 식물성스테롤 중 β -sitosterol의 함량이 가장 높았으며 함량은 0.273-0.594 mg/g으로 보고되었다(Cho & Lee 2014). 이처럼 오크라 씨 기름의 식물성스테롤의 함량은 기존에 보고된 일부 식용 유지에 비하여 높은 것으로 나타났다. Radica et al. (2013)의 연구 결과에 의하면 β -sitosterol은 고지방식이로 유도된 비만 쥐에서 인슐린 감수성을 증가시키는 효과를 보여주었다. 그리고 Awad et al. (2000)의 연구에 따르면 campesterol과 β -sitosterol은 유방암 세포의 자가 사멸을 유도하여 증식을 억제하는 효과가 있음을 보고하였다.

오크라 씨 기름에 함유되어 있는 비타민 E의 함량은 <Table 3>에 나타내었다. 전체 비타민 E의 함량은 1.278 mg/g oil로 나타났으며, α -tocopherol (0.705 mg/g oil)과 γ -tocopherol (0.573 mg/g oil)만 검출되었고, 모든 tocotrienol은 검출되지 않았다. 비타민 E는 α -, β -, γ -, δ -tocopherol 또는 tocotrienol의 총 8가지 형태로 식품 중 존재하며, 그 함량은 다양한 것으로 나타나있다(Park et al. 2016). Park et al. (2016)의 연구에서 식물성 유지의 비타민 E 함량이 옥수수유는 0.09 mg/g, 들기름은 0.62 mg/g, 참기름은 0.43

<Table 2> Contents of phytosterols in okra seed oil (mg/g)

| Components | | Okra seed oil |
|--------------|------------------------|--------------------------|
| Phytosterols | Campesterol | 0.291±0.037 ^b |
| | Stigmasterol | 0.052±0.003 ^c |
| | β -sitosterol | 1.756±0.137 ^a |
| | δ 5-avenasterol | 0.081±0.015 ^c |
| Total | | 2.180±0.184 |

Values are means of duplicate determinations±standard deviation. Means with different superscripts are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

<Table 3> Contents of vitamin E in okra seed oil (mg/g)

| Components | | Okra seed oil |
|------------|----------------------|--------------------------|
| Vitamin E | α -Tocopherol | 0.705±0.009 ^a |
| | β -Tocopherol | - |
| | γ -Tocopherol | 0.573±0.005 ^b |
| | δ -Tocopherol | - |
| Total | | 1.278±0.015 |

Values are means of duplicate determinations±standard deviation. Means with different superscripts in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

mg/g이라고 보고하였다. 이처럼 식물성 유지에 비하여 오크라 씨 기름의 비타민 E 함량은 약 3-14배의 많은 양을 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 비타민 E의 함량이 비교적 많은 들기름에 비하여도 약 2배 많은 것으로 나타났다. 비타민 E는 대표적인 항산화 물질로 우리 몸의 세포막에 존재하면서 지방산의 과산화 작용을 막아주며, 심혈관계 질환의 발생을 억제한다고 알려져 있다(Hill 1998). 특히 α -tocopherol은 혈액이나 세포막에 함유된 비타민 E의 주된 형태로, 비타민 E 이성질체 중 가장 우수한 생리활성을 나타내는 것으로 알려져 있다. Bharti et al. (2013)의 연구에서 호박씨는 비타민 E 중 α -tocopherol의 형태를 가장 많이 함유하고 있으며, 이는 당뇨가 유발된 쥐의 고혈당증, 고인슐린 혈증 및 인슐린 저항성에 대하여 개선 효과가 있는 것으로 보고하였다. 본 연구에서 알아본 오크라 씨 기름에는 다량의 β -sitosterol과 α -tocopherol을 함유하고 있기에 다양한 생리활성 효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

3. 오크라 씨 기름의 polyphenol 및 flavonoid 함량

식물체에 널리 분포되어 있는 polyphenol 화합물은 anthocyanin, phenolic acid, flavonoids 등의 형태로 식물체의 줄기, 잎, 씨 등에 다양하게 분포되어 있다. Polyphenol은 그 구조에 하이드록실기(-OH)를 보유하고 있으며, 라디칼에 대한 수소전자 공여자로 항산화, 항암 및 항염증 등의 생리활성 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Scalbert & Williamson 2000; Dai & Mupar 2010). 또한 식물의 2차 대사산물인

<Table 4> Total polyphenols and flavonoids contents of methanolic extract from okra seed oil

| Samples | Total polyphenols (mg GAE ¹⁾ /g residue) | Total flavonoids (mg CE ²⁾ /g residue) |
|---------------|---|---|
| Okra seed oil | 2.463±0.124 ^a | 1.602±0.040 ^a |
| Soybean oil | 1.886±0.041 ^b | 1.191±0.073 ^b |

¹⁾GAE: Gallic acid equivalent.

²⁾CE: Catechin equivalent.

Values are means of triplicate determinations±standard deviation. Means with different superscripts in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

flavonoid 화합물은 apigenin, quercetin, hesperidin, catechin 및 epigallocatechin 3-gallate 등이 대표적이며, 항산화, 항바이러스, 항암 및 항염증 등의 효과가 보고되어 있다 (Kawaguchi et al. 1997). 이전 연구에 의하면 다양한 유기용매 중 methanol이 polyphenol 화합물의 추출에 가장 우수하며, 항산화 활성도 가장 뛰어나다고 보고되어 있다 (Haminiuk et al. 2014). 뿐만 아니라 식용 기름의 methanol 추출물에 관한 연구에서도 들기름의 항산화 활성을 나타내는 물질들이 methanol에 쉽게 용해된다는 것을 보고하였다 (Shin et al. 1998). 따라서 본 연구에서는 오크라 씨 기름의 polyphenol 및 flavonoid 함량을 알아보기 위해 methanol 추출물을 제조하여 실험에 사용하였으며, 분석 결과는 <Table 4>에 나타내었다. 오크라 씨 기름의 polyphenol 함량은 2.463 mg gallic acid equivalent (GAE)/g residue이었고 flavonoid 함량은 1.602 mg catechin equivalent (CE)/g residue이었다. 대조구로 사용된 대두유 methanol 추출물의 polyphenol 및 flavonoid 함량은 각각 1.886 mg GAE/g residue와 1.191 mg CE/g residue로 나타났다. 오크라 씨 기름 methanol 추출물은 대조구인 대두유의 methanol 추출물보다 polyphenol 및 flavonoid의 함량이 유의적으로 높게 나타났다. Xuan et al. (2018)은 홍화씨유 및 키놀라유 methanol 추출물의 polyphenol 화합물 함량이 각각 1.76 mg/g 및 3.01 mg/g이라고 보고하였다. 따라서 오크라 씨 기름은 시중에 판매 중인 식물성 기름과 유사한 수준의 polyphenol 화합물을 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 오크라 씨 기름이 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성 지닌 것으로 사료된다.

4. 오크라 씨 기름의 생리활성 효과

오크라 씨 기름의 생리활성 효과를 평가하고자 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능, 환원력을 알아보았으며, 그 결과를 <Table 5>에 나타내었다. 오크라 씨 기름 methanol 추출물을 12.5 µg/mL 농도로 조제하여 라디칼 소거능 실험을 진행하였다. 그 결과, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능이 각각 15.297% 및 22.265%로 나타났고, 대조구인 대두유 methanol 추출물 (12.5 µg/mL)의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 각각 13.727%, 19.543%로 나타났다. 따라서 오크라 씨 기름의 유

<Table 5> Free radical scavenging activity of methanolic extract from okra seed oil

| Samples | DPPH radical scavenging capacity (%) | ABTS radical scavenging capacity (%) | Reducing power (mg GAE ¹⁾ /g residue) |
|---------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Okra seed oil | 15.297±0.721 ^a | 22.265±0.393 ^a | 4.524±0.057 ^a |
| Soybean oil | 13.727±0.388 ^b | 19.543±0.109 ^b | 3.349±0.453 ^b |

¹⁾GAE: Gallic acid equivalent.

Values are means of triplicate determinations±standard deviation. Means with different superscripts in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

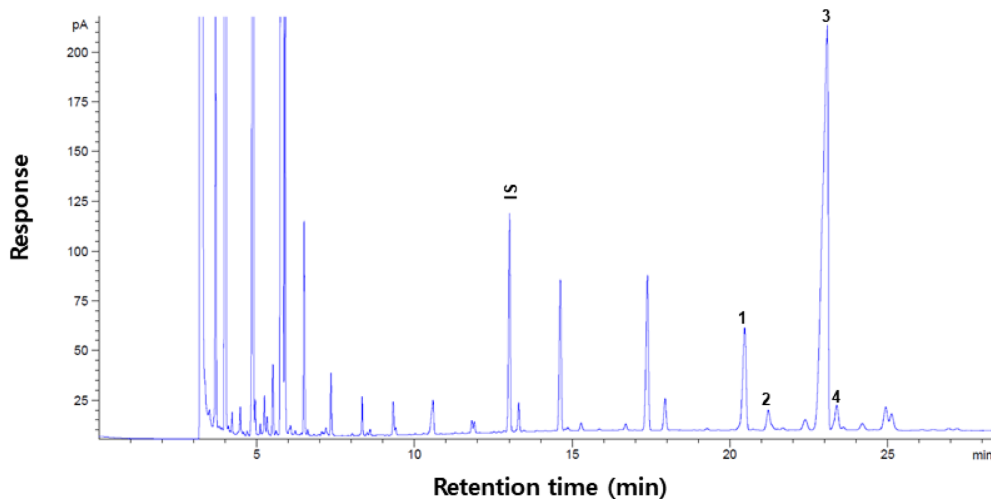
<Table 6> α-Glucosidase inhibition of methanolic extract from okra seed oil

| Samples | α-Glucosidase inhibition (%) |
|---------------|------------------------------|
| Okra seed oil | 77.692±0.000 ^b |
| Acarbose | 81.667±0.544 ^a |
| Soybean oil | 48.159±1.048 ^c |

Values are means of triplicate determinations±standard deviation. Means with different superscripts are significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

리 라디칼 소거능은 대두유에 비하여 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 오크라 씨 기름 methanol 추출물 및 대두유 기름 methanol 추출물에 대한 환원력은 각각 4.524, 3.349 mg GAE/g oil로 나타났으며, 오크라 씨 기름 methanol 추출물이 대두유보다 유의적으로 높은 환원력을 나타내었다. 환원력은 산화 물질을 환원시키는 능력으로써 대부분의 polyphenol과 같은 항산화 물질의 라디칼 소거능에 비례하는 것으로 알려져 있다.

α-Glucosidase는 전분을 가수분해하는 대표적인 효소 중 하나이다(Caspary 1978). 따라서 α-glucosidase 저해는 소장에서의 당 흡수를 억제시켜 혈당 상승 조절에 의한 당뇨병 예방에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Oyaizu 1986). 기존 연구에서 오크라 과육은 비만을 일으킨 동물모델에서 혈당과 혈중 지질 농도를 낮추는 효과가 있다고 보고하였다(Fan et al. 2014). 뿐만 아니라 터키에서는 당뇨병의 치료를 위하여 오크라 씨를 민간요법으로 사용한다고 알려져 있다(Thanakosaia & Phuwapraisirisan 2013). 따라서 본 연구에서는 오크라 씨 기름의 α-glucosidase 활성 억제 효과를 알아보았다. Acarbose는 시판 중인 α-glucosidase의 억제제로 본 연구에서 positive control로 사용하였다. Acarbose (1 mg/mL), 오크라 씨 기름 methanol 추출물(1 mg/mL) 및 대두유 기름 methanol 추출물(1 mg/mL)의 α-glucosidase 억제능은 각각 81.667, 77.692 및 48.159%로 나타났다<Table 6>. 오크라 씨 기름 methanol 추출물은 대조구인 대두유 methanol 추출물보다 유의적으로 높은 억제능을 나타내었다. 이전 연구(Thanakosaia & Phuwapraisirisan 2013; Fan et



<Figure 1> Representative chromatogram of TMS ester derivatives of phyosterols from okra seed oil (IS, 5 α -cholestane; 1, campesterol; 2, stigmasterol; 3, β -sitosterol; 4, δ 5-avenasterol).

al. 2014)에 따르면, 오크라 과육과 씨의 주된 α -glucosidase 활성 억제물질은 rutin, isoquercetin, quercetin 및 quercetin-3-O-beta-glucopyranosyl glucoside 등으로 보고되어 있다. 이러한 α -glucosidase의 활성 억제물질에 의해 오크라 씨 기름 methanol 추출물의 α -glucosidase의 억제능이 우수하게 나타난 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 오크라 씨 기름은 효과적인 항산화 및 항당뇨 활성을 나타내었고, 이는 과속하여 폐기되는 오크라 씨가 기능성 원료로 사용될 수 있는 가능성을 보여주었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 과속하여 폐기되는 오크라 씨로부터 기름을 추출하여 지방산, 총 식물성스테롤 및 비타민 E의 조성 및 함량을 알아보았다. 또한 오크라 씨 기름으로부터 methanol 추출물을 제조하여 polyphenol 및 flavonoid의 함량을 알아보았으며, 오크라 씨 기름의 항산화 효과 및 α -glucosidase 억제능을 측정하였다. 오크라 씨 기름에는 필수지방산인 linoleic acid의 함량이 가장 많았으며, 총 불포화지방산의 함량이 64.941%를 차지하였다. 그리고 식물성스테롤 중 β -sitosterol을 가장 많이 함유하고 있었고, campesterol을 두 번째로 많이 함유하고 있었다. 비타민 E의 함량은 1.278 mg/g이었으며, α -tocopherol의 함량이 γ -tocopherol보다 높았다. 또한 오크라 씨 기름의 polyphenol 화합물은 2.463 mg GAE/g residue이었으며, flavonoid 함량은 1.602 mg CE/g residue이었고, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 각각 15.297, 22.265%이었고 대조구로 사용한 대두유보다 우수한 활성을 보여주었다. 오크라 씨 기름의 환원력은 4.524 mg GAE/g residue로 나타났고, α -glucosidase 억제능은 대조구로 사용한 acarbose와는 유사한 효과를 나타내었고 대두유에 비해 우수한 억제능을 보여주었다. 본 연구를 통해 오크라

씨 기름은 생리활성 성분인 식물성스테롤 및 비타민 E를 다량 함유되어 있었고, 라디칼 소거능과 α -glucosidase 억제 효과가 대조구인 대두유보다 우수함을 보여주었다. 따라서 본 연구결과는 과속한 오크라 씨를 활용한 기능성 식품 개발을 위한 기초자료에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

이 성과는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2017R1C1B1008236)이며, 일부 2020년도 Brain Busan 21 플러스 사업에 의하여 지원되었고, 이에 감사드립니다.

저자 정보

서동연(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 0000-0002-0243-6671)

전아영(경성대학교 일반대학원 식품생명공학과, 석사과정 대학원생, 0000-0003-3721-753X)

신의철(경남과학기술대학교 식품과학과, 교수, 0000-0003-4243-4643)

이준수(충북대학교 식품생명축산학부, 교수, 0000-0001-5557-4229)

황인국(농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부, 농업연구사, 0000-0001-7517-6033)

김영화(경성대학교 식품응용공학부, 교수, 0000-0003-4186-887X)

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Adelakun OE, Oyelade OJ, Ade-Omowaye BIO, Adeyemi IA, Van de Venter M. 2009. Chemical composition and the antioxidative properties of Nigerian okra seed (*Abelmoschus esculentus* Moench) flour. *Food Chem Toxicol.*, 47:1123-1126
- Alonso-Salces RM, Héberger K, Holland MV, Moreno-Rojas JM, Mariani C, Bellan G, et al. 2009. Multivariate analysis of NMR fingerprint of the unsaponifiable fraction of virgin olive oils for authentication purpose. *Food Chem.*, 118:956-965
- Anwar F, Rashid U, Ashraf M, Nadeem M. 2010. Okra (*Hibiscus esculentus*) seed oil for biodiesel production. *Appl Energy.*, 87:779-785
- Awad AB, Downie AC, Fink CS. 2000. Inhibition of growth and stimulation of apoptosis by beta-sitosterol treatment of MDA-MB-231 human breast cancer cells in culture. *Int J Mol Med.*, 5:541-545
- Bharti SK, Kumar A, Sharma NK, Prakash O, Jaiswal SK, Khrisnan S, et al. 2013. Tocopherol from seeds of *Cucurbita pepo* against diabetes: Validation by *in vivo* experiments supported by computational docking. *J Formos Med Assoc.*, 112:676-690
- Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature.*, 181:1199-1200
- Calisir S, Ozcan M, Haciseferogullari H, Yildiz MU. 2005. A study on some physico-chemical properties of Turkey okra (*Hibiscus esculenta* L.) seeds. *J Food Eng.*, 68:73-78
- Casparly W.F. 1978. Sucrose malabsorption in man after ingestion of α -glucosidase hydrolase inhibitor. *Lancet.*, 1:1231-1233
- Chanioti S, Tzia C. 2017. Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from olive pomace using response surface technology: Oil recovery, unsaponifiable matter, total phenol content and antioxidant activity. *Lebensm Wiss Technol.*, 79:178-189
- Cho EA, Lee YS. 2014. A study on the classifying quality standard by comparison with phytochemical characteristics of virgin, pure, pomace olive oil. *Korean J Food & Nutr.*, 27(3):339-347
- Dai J, Muper RJ. 2010. Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules.*, 15:7313-7352
- Dubey P, Mishra S. 2017. Effect of okra seed in reduction of cholesterol. *J Entomol Zool Stud.*, 5:94-97
- Fan S, Zhang Y, Sun Q, Yu L, Li M, Zheng B, et al. 2014. Extract of okra lowers blood glucose and serum lipids in high-fat diet-induced obese C57BL/6 mice. *J Nutri Biochem.*, 25:702-709
- Farhoosh R, Tavassoli-Kafrani MH, Sharif A. 2011. Antioxidant activity of the fractions separated from the unsaponifiable matter of bene hull oil. *Food Chem.*, 126:583-589
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as colour reagents. *J Biol Chem.*, 12:239-249
- Ham H, Oh SK, Lee JS, Choi IS, Jeong HS, Kim IH, et al. 2013. Antioxidant activities and contents of phytochemicals in methanolic extracts of specialty rice cultivars in Korea. *Food Sci Biotechnol.*, 22:631-637
- Haminiuk CW, Plata-Oviedo MS, de Mattos G, Carpes ST, Branco IG. 2014. Extraction and quantification of phenolic acids and flavonols from *Eugenia pyriformis* using different solvents. *J Food Sci Technol.*, 51:2862-2866
- Hill MJ. 1998. Cereals, dietary fiber and cancer. *Nutr Res.*, 18:653-659
- Horrobin DF, Huang YS. 1987. The role of linoleic acid and its metabolites in the lowering of plasma cholesterol and the prevention of cardiovascular disease. *Int J Cardiol.*, 17:241-255
- Huang Z, Wang B, Eaves DH, Shikany JM, Pace RD. 2007. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States. *Food Chem.*, 103:1395-1402
- Kalogeropoulos N, Chiou A, Ioannou M, Karathanos VT, Hassapidou M, Andrikopoulos NK. 2010. Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (phytosterols, tocopherols, polyphenols, triterpenic acids) in cooked dry legumes usually consumed in the Mediterranean countries. *Food Chem.*, 121:628-690
- Kang CH, Park JK, Park JU, Chun SS, Lee SC, Ha JU, Hwang YI. 2002. Comparative studies on the fatty acid composition of Korean and Chinese sesame oils and adulterated sesame oils with commercial edible oils. *J Korean Soc Food Sci Nutr.*, 31(1):17-20
- Kawaguchi K, Mizuno T, Aida K, Uchino K. 1997. Hesperidin as an inhibitor of lipases from porcine pancreas and *Pseudomonas*. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 61:102-104
- Kim MS, Park JH, Lim HJ, Kim DS, Kim HS, Lee KT, et al. 2017. Nutritional components and physicochemical properties of lipids extracted from forest resources. *J Korean Soc FoodSci Nutr.*, 46:529-536
- Kim SY, Choi SW, Kim YS, Jeon SG, Seong KC. 2013. Production, marketing and domestic foreigners' consumption patterns of subtropical vegetables. *KFMA.*, 30(3):29-54
- Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reaction:

- reaction; antioxidant activities of products of browning reaction prepared from glucoseamine. *Jpn J Nutr Diet.*, 44:307-315
- Park Y, Sung J, Choi Y, Kim Y, Kim M, Jeong HS, Lee J. 2016. Analysis of vitamin E in agricultural processed foods in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr.*, 45:771-777
- Petropoulos S, Fernandes A, Barros L, Ferreira ICFR. 2018. Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of Mediterranean okra genotypes in relation to harvest stage. *Food Chem.*, 242:466-474
- Radica MK, Viswanathan P, Anuradha CV. 2013. Nitric oxide mediates the insulin sensitizing effects of β -sitosterol in high fat diet-fed rats. *Nitric Oxide.*, 32:43-53
- Scalbert A, Williamson G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr.*, 130:2073S-2085S
- Shin EC, Pegg RB, Phillips RD, Eitenmiller RR. 2010. Commercial peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars in the United States: phytosterol composition. *J Agric Food Chem.*, 58:9137-9146
- Shin KA, Ko YS, Lee YC. 1998. Antioxidative effects and characteristics of methanol extracts from perilla oils roasted for different time. *Korean J Food Sci Technol.*, 30:1045-1050
- Thanakosaia W, Phuwapraisirisan P. 2013. First identification of α -glucosidase inhibitors from okra (*Abelmoschus Esculentus*) seeds. *Nat Prod Commun.*, 8:1085-1088
- Uhiara NS, Onwuka G. 2014. Suitability of protein-rich extract from okra seed for formulation of ready to use therapeutic foods (RUTF). *Niger Food J.*, 32:105-109
- Wie M, Seong J, Jeon K, Jung HS, Lee J. 2008. Comparison of vitamin E, phytosterols and fatty acid composition in commercially available grape seed oils in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr.*, 37(7):953-956
- Xuan TD, Gangqiang G, Minh TN, Quy TN, Khanh TD. 2018. An overview of chemical profiles, antioxidant and antimicrobial activities of commercial vegetable edible oils marketed in Japan. *Foods.*, 7(2):21
- FAO. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Available from:<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>, [accessed 2020.07.30]

Received August 3, 2020; revised August 28, 2020; accepted August 29, 2020