

참깨의 볶음 조건이 참깨 착즙액의 이화학적 및 생화학적 특성에 미치는 영향

박혜정 · 김지윤 · 박성환 · 이상현¹ · 장정수* · 이문현
(주)엔젤 식품연구소, ¹신라대학교 바이오산업학부 제약공학전공

Studies on the physicochemical and biochemical characteristics in sesame seed juice under different roasting conditions

Hye-Jung Park, Ji-Youn Kim, Seong-Hwan Park, Sang-Hyeon Lee¹, Jeong Su Jang*, and Mun Hyon Lee

Food Research Center, Angel Co., Ltd.

¹Major in Pharmaceutical Engineering, Division of Bioindustry, Silla University

Abstract In this study, we investigated the effect of roasting temperature on nutrient content, digestive enzyme activities, and antioxidative properties of sesame seed juice. The sesame seeds were either roasted at 160, 200, and 240°C or not roasted, and the juice was extracted using a low-speed juice extractor. Owing to the short duration of roasting, benzo[a]pyrene were not detected and trans fatty acids were negligible detected in all sesame seed juices. The sesame seed juice contained abundant nutrients such as minerals, vitamins, and fatty acids. The contents of minerals, vitamin B1 and B3, and sesamol increased with increase in roasting temperature; however, the levels of fatty acids, vitamin B2, sesamin, and sesamol decreased. In addition, the antioxidant content and antioxidative activities of sesame seed juice increased with increase in roasting temperature. Therefore, these results suggest that roasted sesame seed juice possesses high antioxidative activities, which may be beneficial for preventing oxidative damage in the body.

Keywords: sesame, sesame seed juice, roasting temperature, antioxidant, enzyme activity

서 론

참깨(*Sesamum indicum* L.)는 참깨과(Pedaliaceae)에 속하는 1년생 초본식물로서, 전 세계적으로 재배면적의 약 70%, 총 생산량의 약 60%를 인도, 수단 및 중국 등에서 생산하고 있다(1). 참깨에는 지방 45-50%, 단백질 15-20%, 탄수화물 10-15%, 회분 5-6% 및 섬유질 4-5%를 함유하고 있으며, 참기름은 불포화 지방산인 올레산과 리놀레산을 주요 성분으로 함유하고 있다(2). 또한 참깨에 다량 함유되어 있는 강력한 항산화 물질인 세사민(sesamin), 세사몰린(sesamol), 세사몰(sesamol) 등의 리그난 화합물(lignans)은 참기름의 산패를 억제하여 저장 안정성을 향상시킬 뿐만 아니라, 당뇨 개선, 장내 콜레스테롤의 흡수 억제, 간 해독작용 촉진 및 면역기능의 강화 등 다양한 기능을 갖는 것으로 알려져 있다(3).

참깨의 껍질에는 섬유질 및 칼슘, 아연, 마그네슘, 철 등의 무기질이 많이 함유되어 있다. 따라서 영양적 측면에서 참깨는 껍질을 제거하지 않고 섭취하는 것이 바람직하지만, 참깨 외피에 존재하는 칼슘이 옥살산(oxalic acid) 및 피트산(phytic acid) 등과의 결합을 통해 불용성 염을 형성하여 쓴맛을 내거나 생체 이용률을 낮추며, 껍질을 포함하는 통참깨(whole sesame seed)의 경우 생체 내 소화효소와의 작용에 어려움이 있어서 섭취된 대부분의

참깨가 변으로 배설되는 문제점을 지닌다. 따라서, 생체 이용률을 향상시키기 위하여 통참깨를 그대로 이용하기보다는 분쇄를 통한 섭취를 권장하고 있다(4).

한편, 우리나라에서는 대부분의 참깨를 고온에서 볶은 뒤 압착하여 추출한 참기름으로써 이용하는 실정이지만, 높은 온도에서 장시간 가열을 한 참깨의 경우는 참깨 내의 탄수화물, 지방질 및 단백질 등의 열분해(pyrolysis)를 유발하여 벤조피렌과 같은 위해성 물질을 생성하기도 한다(5-6). 이에 따라 우리나라에서는 식용 유지용 벤조피렌의 최대 허용량을 2.0 ppb로 규정하고 있다. 또한 조리 등의 과정에서 생성되는 트랜스지방산은 동맥경화, 고혈압 및 심근경색 등과 같은 심혈관계 질환의 위해성 문제를 가지며, 이에 따라 국제적으로 트랜스지방의 함유량에 대한 표시 의무화 및 규제가 강화되고 있다(7).

이렇듯 참깨의 볶음 온도 및 시간의 경과에 따라 벤조피렌 및 트랜스지방산과 같은 위해물질의 생성에 대한 우려가 높아지고 있어 안전하고 영양성이 우수한 참깨 착즙액에 대한 탐구가 이루어져야 할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 저속 녹즙기를 이용하여 볶음 온도별 참깨 착즙액을 제조하고, 무기질, 비타민, 지방산 등의 영양성분 함량 분석, 트랜스지방산 및 벤조피렌 함량의 측정을 통해 안전성을 확보하고자 하였다. 또한, 소화효소 활성, 리그난 성분 및 항산화 활성 등에 대한 조사를 통해 참깨 착즙액의 생리학적 특성을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료 및 시료의 전처리

본 실험에서 사용한 참깨는 시중에 유통되는 국산 참깨를 재

*Corresponding author: Jeong Su Jang, Food Research Center, Angel Co., Ltd., Busan 46988, Korea
Tel: +82-51-852-3636
Fax: +82-51-852-4477
E-mail: jeongsu25@naver.com
Received February 23, 2017; revised April 18, 2017;
accepted April 28, 2017

래시장(Busan, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 구입한 참깨는 깨끗이 수세한 후 볶음술(Gwangmyeong Machine, Seoul, Korea)을 이용하여 160, 200°C 및 240°C에서 3분간 볶아 착즙용 시료로 사용하였다. 각 볶음 온도별로 제조된 참깨는 저속 녹즙기(Angelia 8000, Angel Co., Ltd, Busan, Korea)를 이용하여 착즙액을 제조하였으며, 착즙률(%)은 원재료 중량 대비 착즙액의 중량에 100을 곱한 값으로 정의하였다.

일반성분의 분석

참깨 착즙액의 일반성분 함량은 식품공전의 방법(8)에 따라서 분석하였다. 수분 함량은 105°C 상압가열건조법, 조단백질 함량은 자동질소 정량분석기(Kjeltec Auto 2300, Foss, MA, USA)를 이용한 마이크로켈달(Micro-Kjeldahl)법, 조지방 함량은 산분해법, 조회분 함량은 직접회화법으로 각각 분석하였다.

무기질의 분석

무기질 함량은 식품공전의 방법(8)에 따라 참깨 착즙액 1 g과 HNO₃ 용액 10 mL를 혼합하여 마이크로파(Multiwave 3000, Anton Paar GmbH, Graz, Austria)로 190°C에서 35분간 온도를 높이면서 용매를 완전히 없앤 다음 방냉을 시킨 후 분석하였다. 분석은 ICP-OES (Optima 8300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를 이용한 분광분석법으로 분석하였다.

지방산의 분석

지방산 분석은 식품공전의 방법(8)에 따라 추출 및 정제를 하였고, 7% BF₃-methanol 용액(Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA)을 사용하여 메틸화(methylation)시켜 이것을 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, GC-7890, Agilent Co., Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 분석하였다. 트랜스지방산 표준품은 component fatty acid methyl ester (FAME 37종) 혼합 표준물질(Supelco Inc.)과 18:2, 18:3의 시스, 트랜스 이성체 표준물질(Sigma-Aldrich, St Louis, MO, USA)을 사용하였다.

비타민의 분석

비타민 B군의 분석은 Martins-Junior 등의 방법(9), 비타민 E의 분석은 식품공전의 방법(8)에 따라 수행하였으며, 고성능 액체크로마토그래피(High Performance Liquid Chromatography, HPLC, Agilent 1200, Agilent Co.)를 이용하여 분석하였다.

리그난 화합물의 함량분석

리그난 화합물의 함량은 Kikugawa 등의 방법(10)에 따라 분석하였다. 리그난 분석을 위하여 참깨 착즙액에 4배량(w/v)의 메탄올을 첨가한 뒤 실온에서 4시간 동안 추출하였다. 추출된 액은 추가적으로 50배 희석한 뒤, polytetrafluoroethylene 실린지 필터(0.22 µm, Jet Bio-Filtration Co., Guangzhou, China)로 여과한 후 HPLC로 분리하였다. 분석에 사용한 기기는 SunFire C18 column (5 µm, 4.6 mm×150 mm, Waters Co., Wexford, Ireland)을 장착한 HPLC System (Waters e2695, Waters Co., Milford, MA, USA) 이었고, 이동상은 메탄올과 증류수의 혼합 용매(70:30, v/v), 투입량은 10 µL, 유속은 0.8 mL/min이었으며, UV 검출기(Waters 2489, Waters Co.)를 사용하여 290 nm에서 분석하였다.

총 폴리페놀(total flavonoid content, TPC) 및 플라보노이드(total phenolic content, TFC) 함량분석

항산화 활성과 밀접한 관련성을 가지는 총 폴리페놀 및 플라

보노이드 함량 측정은 각각 Folin-Denis법(11) 및 Davis의 방법(12)에 준하여 분석하였다. 갈산(gallic acid, Sigma-Aldrich) 및 나린긴(naringin, Sigma-Aldrich)을 각각 사용하여 표준보정곡선을 작성하였다.

아밀레이스(Amylase) 활성

소화효소 활성 분석을 위하여 참깨 착즙액의 조효소 추출을 실시하였다. 즉, 참깨 착즙액에 2배량(w/v)의 0.1 M 인산소듐완충용액(sodium phosphate buffer, pH 7.0), 5 mM 시스테인(cysteine) 및 2 mM ethylenediaminetetraacetic acid를 첨가하여 25°C에서 2 시간 동안 추출한 후 2,000×g에서 20분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상층액을 이용하여 소화효소 활성을 측정하였다. α-아밀레이스 활성은 Doehler와 Duke의 방법(13)을 변형하여 측정하였다. β-아밀레이스를 포함하는 기타 단백질가수분해효소(protease)의 불활성화를 위하여 Ca²⁺ 존재하에서 70°C에서 20분간 가열 전 처리한 조효소액 0.1 mL와 0.5% 가용성 전분(soluble starch) 기질 용액 0.4 mL를 혼합한 뒤 55°C에서 10분간 반응시켰다. 생성된 환원당의 함량은 3,5-dinitrosalicylic acid 0.25 mL를 첨가하여 100°C에서 15분간 boiling하여 식힌 다음, 증류수로 희석한 후 분광광도계(Spectrophotometer, Multiskan GO, Thermo Scientific, Vantaa, Finland)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소활성의 1 unit은 1분 동안 1 µmol의 맥아당(maltose)을 생산하는 효소량으로 정의하였다.

단백질가수분해효소(Protease) 활성

단백질가수분해효소의 활성은 식품첨가물공전의 식물 단백질가수분해효소(plant protease) 시험법(14)에 따라 측정하였다. 1.0% 카제인(casein) 기질용액(pH 6.0) 5 mL를 40°C에서 15분간 미리 가온한 뒤 조효소액 2 mL와 혼합하였다. 40°C에서 60분간 반응시킨 후 30% 삼염화초산(trichloroacetic acid) 용액 3 mL를 넣어 반응을 중지시켰다. 단백질의 응고를 위하여 40°C에서 30분간 방치한 뒤 여과하여 280 nm에서 흡광도를 측정하였다. 효소활성의 1 papain unit (PU)은 상기의 시험조건 하에서 1시간 동안 1 µg의 tyrosine을 유리시키는 효소의 양으로 환산하여 나타내었다.

자이모그램(Zymogram) 분석

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 소화효소 활성을 Egito 등(15)의 방법에 따른 자이모그래피(zymography)로 분석하였다. 50 µg의 총 단백질을 함유하는 조효소 추출액에 비환원 조건의 7.5% 폴리아크릴아마이드 겔(polyacrylamide gel)을 이용하여 전기영동을 실시하였다. 표준물질의 경우, 아밀레이스는 전분을 기질로, 단백질가수분해효소는 0.5 mg/mL 농도의 카제인을 기질로 사용하였다. 전기영동이 끝난 겔은 각각 0.05% (w/v) coomassie brilliant blue R-250 (in 50% (v/v) 메탄올 및 10% (v/v) 아세트산) 및 lugol solution (in 0.67% I₂ 및 0.33% KI)을 이용하여 염색시켰으며, 반투명한 밴드의 관찰을 통해 전분 및 카제인의 분해 활성을 확인하였다. 밴드의 진하기는 소화효소 활성에 비례하여 나타나며, 이를 ImageJ Software (NIH, Bethesda, MD, USA)를 이용하여 분석하였다.

참깨 착즙액 메탄올 추출 농축액의 제조

항산화 성분 및 항산화 활성 시험을 위한 참깨 착즙액의 메탄올 추출 농축액의 제조를 위하여 참깨 착즙액 100 g과 n-헥산(n-hexane) 100 mL 및 80% 메탄올 200 mL를 혼합하여 1시간 동안 진탕한 후 분액깔때기로 옮겨 2시간 방치하였다. 분리된 두 층은

각각 삼각플라스크에 옮겼으며, 동일한 방법으로 3회 반복 추출하였다. 수집한 80% 메탄올층은 40°C에서 감압농축(Rotary evaporator R-114, Buchi, Flawil, Switzerland)하였고, 농축된 시료를 -20°C에 차광 보관하면서 실험체료로 사용하였다.

항산화 활성

ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzo-thiazolin-6-sulfonic acid) 라디칼 소거활성은 Re 등의 방법(16), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거활성은 Blois의 방법(17), nitric oxide (NO) 소거활성은 Marcocci 등의 방법(18), 아질산염(nitrite) 소거활성은 Gray와 Dugan의 방법(19)으로 각각 측정하였다. 각 시험의 소거활성은 시료 첨가구와 무첨가구의 차이를 백분율로 나타내었다. 초과산화물제거효소(Superoxide dismutase, SOD) 유사활성은 SOD assay Kit-WST (Dojindo Molecular Technologies, Inc., Kumamoto, Japan)를 구입하여 제조사의 방법에 따라 측정하였다. Ferric reducing antioxidant power (FRAP)는 Benzie와 Strain의 방법(20)에 따라 측정하였으며, FeSO₄로 표준검량곡선을 작성하여 sample 1g 당 FeSO₄ μmol (μM FeSO₄/g)로 표현하였다. 환원력(reducing power)은 Oyaizu의 방법(21)으로 측정하였으며, 시료용액 첨가구와 무첨가구의 흡광도의 차이로 환원력을 나타내었다.

관능평가

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 관능평가(22)는 20명의 패널을 대상으로 색상(color), 맛(taste), 향기(aroma) 및 전반적인 기호도(overall acceptance)를 패널들의 주관적인 기호도에 따라 4점 척도(four point hedonic scales)를 사용하여 평가하였다.

통계분석

모든 분석은 3회 이상 수행하였으며, 평균±표준편차(Mean±SD)로 표현하였다. 평균값의 유의한 차이는 SPSS (version 20.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용한 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)의 Duncan's multiple comparisons를 사용하였다. 두 가지 시험군들 간의 활성 평균값은 Turkey's multiple comparison test로 분석하였으며, 유의성 검증은 신뢰구간 $p < 0.001$, $p < 0.01$ 및 $p < 0.05$ 에서 각각 분석하였다.

결과 및 고찰

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 일반성분 및 영양성분 조성 분석

통참깨와 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 일반성분 및 영양성분 조성을 비교 분석하여 Table 1에 나타내었다. 통참깨의 일반성분 조성은 지방이 46.95 g/100 g으로 가장 높은 함량을 나타내었고, 다음으로 탄수화물(21.83 g/100 g)과 단백질(21.45 g/100 g) 순으로 높은 함량을 보였다. 참깨의 볶음 유무 및 온도와는 관계 없이 모든 참깨 착즙액의 지방 함량이 통참깨에 비해 1.48-1.51 배 증가하였다. 이와는 반대로 탄수화물, 단백질, 회분 및 수분 함량은 전반적으로 감소하였으나, 수분함량을 제외한 나머지 일반성분 간에는 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 유의적 함량차이는 보이지 않았다($p < 0.001$).

참깨의 외피층에는 무기질, 비타민 B군 및 리그난 성분 등이 다량 함유하고 있어서 인체에 다양한 생리적 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(3). 통참깨와 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액 간의 무기질 함량을 비교 분석한 결과(Table 1), 6가지 무기질 성분 모두에서 통참깨의 함량이 가장 높게 나타났다. 다량 원소 중 하나인 Ca은 240°C 볶음 참깨 착즙액(726.06 mg/100 g)이 통참깨(1005.51 mg/100 g)에 비해 72.2%로 참깨 착즙액 중 가장 많은 함유량을 보였고, 비가열 참깨 착즙액(527.00 mg/100 g)이 52.4%로 가장 적은 함유량을 보였다. 또한, Fe는 통참깨(6.07 mg/100 g)에 비해 240°C 볶음 참깨 착즙액(4.83 mg/100 g)이 79.6%로 가장 많이 함유하였고, 비가열 참깨 착즙액(3.70 mg/100 g)이 61.0%로 가장 적게 함유하였다. 미량 원소인 Se은 통참깨(0.148 mg/kg)에 비해 비가열 참깨 착즙액(0.074 mg/kg)이 50.0% 수준이었지만, 240°C 볶음 참깨 착즙액(0.098 mg/kg)에서는 66.2%까지 함유하고 있었다. 이를 통해 참깨의 볶음 온도가 증가할수록 참깨 착즙액의 무기질 함량이 적은 것으로 나타났다. 통참깨에 대비하여 참깨 착즙액의 무기질함량이 낮은 이유로 착즙 과정에서 다량의 무기질을 함유한 참깨 외피층이 다수 소실되었기 때문인 것으로 생각된다.

지방산 함량(Table 2)의 경우, 통참깨가 41.121 g/100 g을 함유한 반면, 참깨 착즙액이 45.257-51.937 g/100 g으로써 통참깨보다 지방산 함유량이 많음을 확인하였다. 이러한 결과는 일반성분 중

Table 1. General composition and mineral contents of whole sesame seed and sesame seed juices by roasting conditions¹⁾

Composition	Unit	Whole sesame seed	Sesame seed juice				
			Unroasted	160°C	200°C	240°C	
General composition	Carbohydrate	g/100 g	21.83±0.13 ^a	15.85±0.10 ^b	12.65±0.55 ^c	14.20±0.42 ^{bc}	14.42±0.54 ^{bc}
	Crude Protein	g/100 g	21.45±0.15 ^a	10.60±0.19 ^c	11.88±0.16 ^b	11.08±0.16 ^c	11.24±0.16 ^c
	Crude Lipid	g/100 g	46.95±0.08 ^a	69.29±0.26 ^b	70.76±0.28 ^c	70.63±0.18 ^c	70.23±0.38 ^{bc}
	Crude Ash	%	5.06±0.03 ^a	2.41±0.11 ^b	2.05±0.13 ^b	2.13±0.18 ^b	2.29±0.14 ^b
	Moisture	%	4.72±0.01 ^a	1.84±0.04 ^{cd}	2.66±0.02 ^b	1.96±0.03 ^c	1.83±0.03 ^d
	Calorie	kcal/100 g	595.62±0.43 ^a	729.45±1.76 ^b	734.96±0.95 ^{bc}	736.82±1.14 ^c	734.66±1.63 ^{bc}
	Mineral	Mg	mg/100 g	401.62±8.17 ^a	242.12±7.11 ^b	297.06±2.28 ^c	313.90±3.96 ^c
P		mg/100 g	796.80±5.26 ^a	484.59±14.17 ^b	614.43±1.77 ^c	645.72±4.16 ^{cd}	653.82±7.25 ^d
Ca		mg/100 g	1005.51±41.43 ^a	527.00±14.42 ^b	657.40±0.56 ^c	703.83±7.80 ^c	726.06±1.16 ^c
K		mg/100 g	549.50±6.53 ^a	328.35±11.27 ^b	420.78±20.71 ^c	410.85±33.15 ^c	437.69±4.94 ^c
Fe		mg/100 g	6.07±0.06 ^a	3.70±0.09 ^b	4.64±0.15 ^c	4.68±0.38 ^c	4.83±0.04 ^c
Se		mg/kg	0.148±0.009 ^a	0.074±0.002 ^b	0.094±0.006 ^b	0.099±0.004 ^b	0.098±0.009 ^b

¹⁾Data are mean±SD of at least three replicates of each samples. Significantly different at $p < 0.001$; different letters in the same row indicate significant differences among samples.

지방의 조성에서 통참깨 보다 참깨 착즙액이 더 많이 함유된 것과 일치한다. 한편 통참깨와 참깨 착즙액 모두 포화 지방산(6.928-8.834 g/100 g)에 비해 불포화 지방산(34.194-43.103 g/100 g)을 상대적으로 많이 함유하고 있다. 통참깨와 참깨 착즙액의 주된 지방산으로써 올레산(oleic acid)과 리놀레산(linoleic acid)는 전체 지방산 대비 각각 39.64-39.84, 42.52-42.69%를 차지하였으며, 통참깨와 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액 모두 동일한 지방산 조성비를 보였다. Park 등(23)은 200°C에서 60분간 볶은 참기름의 올레산과 리놀레산이 전체 지방산 대비 각각 43.63, 41.95%를 차지한다고 보고하였으며, Youssef 등(24)은 참기름의 올레산 및 리놀레산 함량을 전체 지방산 대비 각각 12.43, 62.04%로 보고한 바 있어 본 연구와는 차이를 보였다. 참깨의 원산지, 볶음 온도 및 시간 등 복합적인 요인이 이러한 차이를 가져온 것으로 생각된다.

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 착즙률 및 항산화 성분 분석

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 착즙률, 부피 팽창률 및 항산화 성분 함량을 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다. 그 결과, 참깨의 볶음 온도 증가와 착즙률 및 부피 팽창률간에는 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 볶음 온도별 참깨 착즙률은 240°C 볶음 참깨 착즙액이 50.53%로 가장 높았으며, 160, 200°C 및 비가열 참깨 착즙액이 각각 48.40, 48.17, 47.39%순이었다. 특히, 240°C 볶음 참깨는 다른 볶음 조건의 참깨 착즙액에 비하여 유의적으로 높은 착즙률을 보였다($p<0.001$). 이러한 결과는 볶음 온도의 증가로 인한 참깨 외피의 변형으로 참깨의 부피가 증가하게 되고, 이에 따라 기름의 용출이 용이해졌기 때문에 착즙률이 증가되는 것으로 생각된다. Park 등(25)은 저온(160, 180°C), 중온(200°C) 및 고온(220, 240°C)에서 각각 20-30분, 10-20분 및 3-5분간 볶은 참깨의 부피 팽창률, 색도, 착유량 및 관능평가 등을 통해 참기름 제조에 있어 220°C에서 5분의 볶음 처리가 최적의 조건이라고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 저온(160°C)과 중온(200°C) 보다는 고온(240°C)으로 볶은 참깨의 착즙률이 가장 우수하였다는 점에서 Park 등(25)과 유사한 경향을 보였다.

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 비타민 B 함량을 측정된 결과(Table 3), 비가열 참깨착즙액의 비타민 B₁, B₂, B₃ 함량이 각각 0.2937, 0.0961, 0.0365 mg/100 g인 것에 비해 볶음 참깨 착즙액이 각각 0.3021-0.4587, 0.0232-0.0449, 0.2875-0.7229 mg/100 g 범위로 나타나 볶음 처리에 따른 비타민 B군의 파괴는 발생되지 않는 것으로 확인되었다. 비타민 B군의 열안정성에 관한 연구(26)에 의하면 비타민 B₁은 100°C에서 24시간 이상 장시간의 열처리에 의해 완전히 파괴되는 것으로 나타났으며, 수분과 함께 존재하는 경우 수소이온 농도가 증가함에 따라 보다 안정적이라고 보고하였다. 또한 비타민 B₂의 경우 가열 시간이 증가함에 따라 비례적으로 불활성화되며 고온에 노출되는 시간이 비타민 B₂의 안정성에 크게 기여한다고 밝혔다. 이에 본 연구에서 참깨의 볶음 온도는 다소 높으나, 비교적 짧은 볶음 처리로 인하여 비타민 B의 파괴에는 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 한편 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 비타민 E 함량을 측정된 결과(Table 3), 모든 착즙액에서 γ -토코페롤만 검출되었으나(1.71-1.87 mg/100 g), 볶음 처리 유무 및 온도에 따른 유의적인 함량 차이는 보이지 않았다($p<0.001$). 일반적으로 참기름에 존재하는 비타민 E 중 대부분을 차지하는 γ -토코페롤은 리그난 화합물과의 시너지 효과를 통해 강력한 항산화력을 가지는 α -토코페롤에 견줄 수 있을 정도의 효과를 가진다고 보고된 바 있다(27). 비가열 참깨 착즙액의 세사민과 세사몰린 함량이 각각 4.091±0.032, 1.102±0.008 mg/g으로 볶음 처리를 한 참깨의 착즙액에 비하여 유의적으로 가장 높은 함량을 보였다($p<0.001$). 다음으로 함량이 높았던 160°C와 200°C 볶음 참깨 착즙액간에는 유의적인 함량의 차이를 보이지 않았고, 볶음 온도가 가장 높았던 240°C 볶음 참깨 착즙액의 세사민과 세사몰린 함량은 각각 2.951±0.008, 0.796±0.007 mg/g으로 가장 적게 나타났다. Yen(28)에 의하면 참깨를 220°C 이상으로 가열할 경우, 세사몰린이 급격하게 감소하고 가열 온도가 260°C 이상일 때는 완전히 분해되며, 세사민은 부지 않은 참깨가 가장 많이 함유한다는 보고와 본 연구와는 유사한 결과를 보였다. 참깨의 리그난 성분은 볶는 시간과 온도에 따라 함량이 달라지며,

Table 2. Fatty acid compositions (g/100 g) of whole sesame seed and sesame seed juices by roasting conditions¹⁾

Common name	Abbreviation	Whole sesame seed	Sesame seed juice			
			Unroasted	160°C	200°C	240°C
Palmitic acid	C16:0	4.118±0.056 ^a	5.277±0.022 ^b	5.047±0.047 ^c	4.725±0.037 ^d	4.620±0.023 ^d
Stearic acid	C18:0	2.420±0.017 ^a	3.074±0.017 ^b	2.955±0.008 ^c	2.730±0.016 ^d	2.658±0.007 ^e
Oleic acid, <i>trans</i>	C18:1, <i>trans</i>	0.018±0.004 ^a	0.032±0.017 ^a	0.021±0.000 ^a	0.018±0.003 ^a	0.016±0.000 ^a
Oleic acid, <i>cis</i>	C18:1, <i>cis</i>	16.367±0.138 ^a	20.619±0.153 ^b	19.850±0.066 ^c	18.290±0.168 ^d	17.924±0.007 ^d
Linoleic acid, <i>trans</i>	C18:2, <i>trans</i>	0.032±0.003 ^a	0.039±0.003 ^a	0.038±0.001 ^a	0.038±0.000 ^a	0.037±0.003 ^a
Linoleic acid, <i>cis</i>	C18:2, <i>cis</i>	17.492±0.124 ^a	22.046±0.132 ^b	21.226±0.162 ^c	19.583±0.073 ^d	19.284±0.062 ^d
α -Linolenic acid	C18:3n-3	0.167±0.003 ^a	0.216±0.001 ^b	0.207±0.002 ^c	0.191±0.001 ^d	0.188±0.001 ^d
Arachidic acid	C20:0	0.280±0.002 ^a	0.354±0.001 ^b	0.335±0.001 ^c	0.313±0.002 ^d	0.301±0.001 ^e
Gadoleic acid	C20:1	0.082±0.001 ^a	0.101±0.001 ^b	0.096±0.001 ^c	0.089±0.001 ^d	0.086±0.001 ^e
Eicosadienoic acid	C20:2	0.017±0.001 ^a	0.021±0.002 ^a	0.021±0.001 ^a	0.019±0.001 ^a	0.020±0.002 ^a
Behenic acid	C22:0	0.065±0.003 ^a	0.080±0.002 ^b	0.074±0.001 ^{ab}	0.070±0.002 ^a	0.067±0.001 ^a
Lignoceric acid	C24:0	0.045±0.006 ^a	0.049±0.000 ^a	0.046±0.001 ^a	0.043±0.000 ^a	0.041±0.000 ^a
Nervonic acid	C24:1	0.019±0.011 ^a	0.028±0.005 ^a	0.017±0.004 ^a	0.028±0.005 ^a	0.014±0.006 ^a
Saturated fatty acid		6.928±0.042 ^a	8.834±0.008 ^b	8.457±0.055 ^c	7.881±0.029 ^d	7.687±0.027 ^e
Unsaturated fatty acid		34.194±0.173 ^a	43.103±0.260 ^b	41.476±0.231 ^c	38.256±0.233 ^d	37.570±0.066 ^d
Total fatty acid		41.121±0.199 ^a	51.937±0.254 ^b	49.933±0.285 ^c	46.138±0.215 ^d	45.257±0.091 ^d

¹⁾Data are mean±SD of at least three replicates of each samples. Significantly different at $p<0.001$; different letters in the same row indicate significant differences among samples.

Table 3. Yield and nutrient contents of sesame seed juices by roasting conditions¹⁾

Composition	Unit	Sesame seed juices				
		Unroasted	160°C	200°C	240°C	
Yield	%	47.39±0.73 ^a	48.17±0.61 ^{ab}	48.40±0.80 ^{ab}	50.53±1.74 ^b	
Volumetric expansion ratio	%	-	7.7	25.0	40.4	
Vitamin B	B ₁	mg/100 g	0.2937±0.012 ^a	0.4587±0.012 ^b	0.4367±0.012 ^b	0.3021±0.005 ^a
	B ₂	mg/100 g	0.0961±0.006 ^a	0.0321±0.002 ^b	0.0232±0.002 ^b	0.0449±0.005 ^b
	B ₃	mg/100 g	0.0365±0.001 ^a	0.4679±0.006 ^b	0.2875±0.006 ^c	0.7229±0.005 ^d
Vitamin E	mg/100 g	1.71±0.12 ^a	1.83±0.26 ^a	1.87±0.06 ^a	1.84±0.06 ^a	
Lignan	Sesamin	mg/g	4.091±0.032 ^c	3.249±0.021 ^b	3.161±0.028 ^b	2.951±0.008 ^a
	Sesamol	mg/g	1.102±0.008 ^c	0.878±0.005 ^b	0.850±0.008 ^b	0.796±0.007 ^a
	Sesamol	mg/g	0.057±0.001 ^a	0.075±0.001 ^b	0.076±0.001 ^b	0.072±0.001 ^b
	Sesaminol	mg/g	ND ²⁾	ND	ND	ND
Antioxidant	TPC ³⁾	mg GAE/100 g	27.57±1.11 ^a	27.76±0.73 ^a	31.69±1.09 ^b	95.62±3.88 ^c
	TFC ⁴⁾	mg NE/100 g	8.63±0.35 ^a	10.24±0.75 ^a	13.30±1.08 ^b	44.68±1.80 ^c

¹⁾Data are mean±SD of at least three replicates of sesame seed juice samples. Significantly different at $p<0.001$; different letters in the same row indicate significant differences among samples. ²⁾ND=not detected. ³⁾TPC, total phenolic content, expressed in mg of GAE (gallic acid equivalents)/100 g of sample. ⁴⁾TFC, total flavonoid content, expressed in mg of NE (naringin equivalents)/100 g of sample.

Table 4. Benzo[a]pyrene and trans fat compositions of sesame seed juices by roasting conditions¹⁾

Composition	Unit	Sesame seed juices			
		Unroasted	160°C	200°C	240°C
Benzo[a]pyrene	g/kg	ND ²⁾	ND	ND	ND
Trans fat	g/100 g	0.07±0.00 ^a	0.07±0.00 ^a	0.07±0.00 ^a	0.06±0.00 ^a

¹⁾Data are mean±SD of at least three replicates of sesame seed juice samples. Significantly different at $p<0.001$; different letters in the same row indicate significant differences among samples. ²⁾ND=not detected.

산지, 품종 및 수확 시기 등에 의해서도 영향을 받는다고 알려져 있다(29). 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 세사몰린 함량은 비가열 참깨 착즙액이 가장 낮았으며(0.057±0.001 mg/g), 볶음 처리를 한 참깨 착즙액 간에는 유의적인 함량 차이를 보이지 않았다($p<0.001$). Fukuda 등(30)에 따르면 참깨를 볶는 과정에서 세사몰린의 일부가 높은 열에 의해 분해되어 세사몰로 변환된다고 보고하였으며, 이는 본 연구에서도 참깨의 볶음 온도가 증가할수록 세사민과 세사몰린의 함량이 감소되고, 세사몰린의 함량이 증가된 것과 유사한 경향성을 보였다. 볶음 온도별 참깨 착즙액간의 세사몰린 함량이 유의적인 증가를 보이지 않은 것은 참깨의 볶음 시간이 짧아서 세사몰린의 분해가 미미한 결과인 것으로 판단된다.

총 폴리페놀 함량은 240°C 참깨 착즙액이 95.62 mg GAE/100 g으로써 가장 높았고($p<0.001$), 다음으로 200°C (31.69 mg GAE/100 g), 160°C (27.76 mg GAE/100 g) 및 비가열 참깨 착즙액 (27.57 mg GAE/100 g) 순으로 볶음 온도가 높을수록 높은 함량을 보였다. 이는 Jeong 등(2)의 온도 및 시간을 달리한 참깨 탈지박 메탄올 추출물이 볶음 온도 및 시간이 증가함에 따라 총 폴리페놀 함량이 증가된다는 보고와도 일치하였다. 총 플라보노이드 함량 또한 240, 200, 160°C 및 비가열 참깨 착즙액이 각각 44.68, 13.30, 10.24, 8.63 mg NE/100 g으로 볶음 온도가 높을수록 함량이 높았던 점에서 총 폴리페놀 함량과 동일한 경향을 보였다.

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 벤조피렌 및 트랜스지방산 분석

참깨 볶음 온도의 증가에 따른 참깨 착즙액의 벤조피렌 및 트랜스지방산의 함량을 분석한 결과(Table 4), 모든 참깨 착즙액에서 벤조피렌이 검출되지 않았으며, 트랜스지방산의 경우는 0.06-

0.07 g/100 g로 매우 낮은 함량을 보였다. 트랜스지방산 함량의 경우는 참깨의 볶음 온도에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으며($p<0.001$), 이를 통해 짧은 볶음 시간으로 인하여 볶음 온도가 상승하더라도 트랜스지방산의 생성에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. Cheng 등(31)은 참깨의 볶음 온도 및 시간의 경과에 따라 벤조피렌의 함량이 비례적으로 증가하며, 고온의 볶음 조건에서 껍질을 제거한 참깨가 통참깨에 비해 벤조피렌이 더 많이 생성되고 냉압착 참기름(cold-pressed sesame oil)에서도 벤조피렌이 검출되었다고 보고하였다. 한편, Tsuzuki(32)는 180°C에서 4시간 동안 볶은 참기름과 볶지 않은 참기름 간의 트랜스지방산 함량 비교를 통해 볶음 처리에 따라 트랜스지방산의 함량이 증가된다고 보고하였다. 이러한 연구결과와는 대조적으로 본 연구의 참깨 착즙액은 단시간 볶음 처리 및 착유 방식의 차이에 기인하여 벤조피렌이 검출되지 않았으며, 트랜스지방산의 함량도 낮은 수치를 보였던 것으로 판단된다.

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 α-아밀레이스 활성

최근, 본 연구진은 당근과 씨앗 4종을 혼합하여 착즙한 씨앗즙의 α-아밀레이스 활성 측정을 통해 당근에 비해서는 매우 낮은 수준이지만, 참깨의 α-아밀레이스 활성 존재 여부를 확인한 바 있다(33). 이러한 사전 연구를 바탕으로 참깨의 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 α-아밀레이스 활성을 측정된 결과(Fig. 1C), 비가열 참깨 착즙액(13.12±0.42 U/mg)이 볶음 조건의 참깨 착즙액에 비하여 2.3배 이상 높은 α-아밀레이스 활성을 보였다. 반면, 볶음 처리한 참깨 착즙액 간에는 유의적인 활성의 차이를 보이지 않았다($p<0.001$). 비가열 참깨 착즙액의 α-아밀레이스 활성은

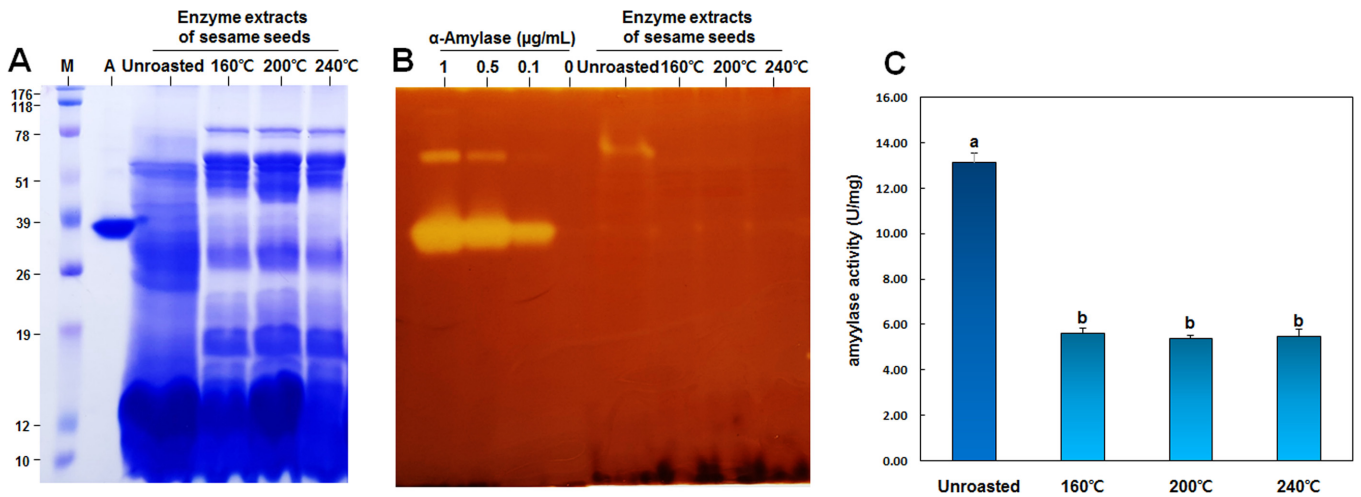


Fig. 1. α -Amylase activity of sesame seed juice by roasting conditions. (A) Sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) stained with Coomassie brilliant blue, M; marker, A; α -amylase from *Aspergillus oryzae*. (B) Starch zymogram analysis performed by SDS-PAGE. (C) α -Amylase activity of sesame seed juice. Data are mean \pm SD of at least three replicates of sesame seed juice samples. Significantly different at $p < 0.001$; different letters indicate significant differences among samples.

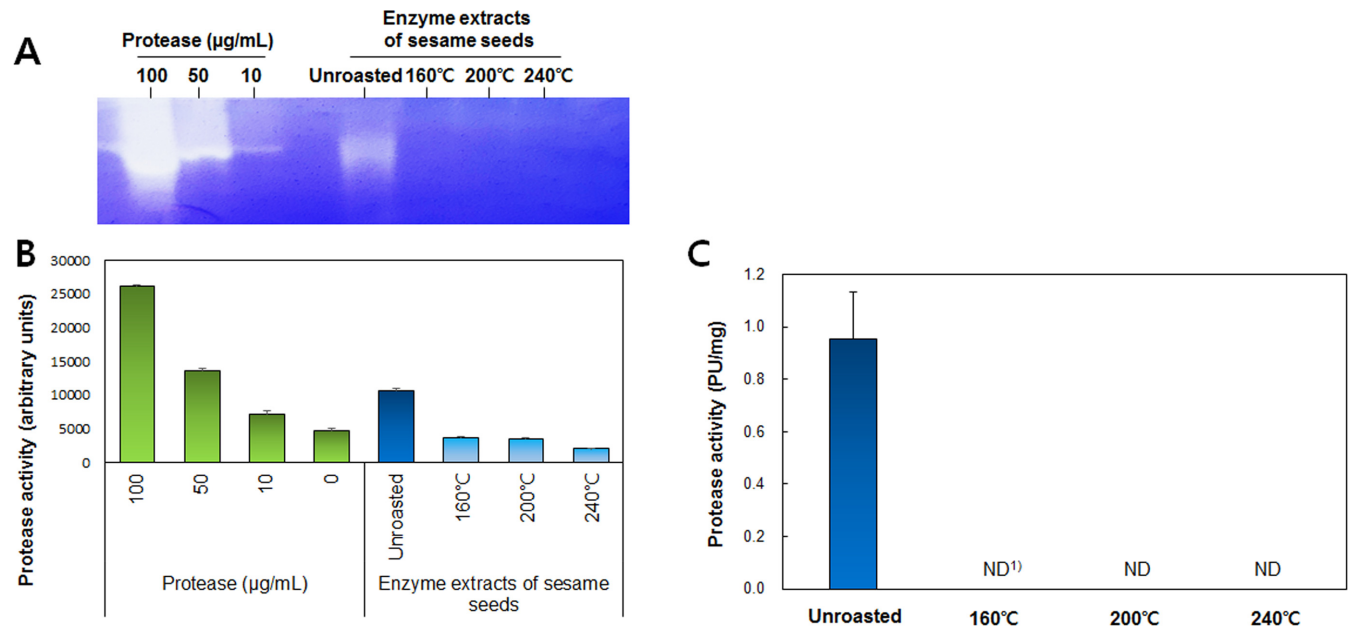


Fig. 2. Protease activity of sesame seed juice samples by roasting conditions. (A) Casein zymogram analysis performed by SDS-PAGE. (B) Relative amounts of protease activity are given in arbitrary units. (C) Protease activity of sesame seed juice. Data are mean \pm SD of at least three replicates of sesame seed juice samples. ¹ND=not detected

전분 자이모그래피 분석에서도 확인되었다(Fig. 1B). 약 78 kDa 위치에서 비가열 참깨 착즙액에 의하여 기질인 전분이 분해되어 밝은 노란색의 활성 밴드가 나타났으며, 볶음 처리한 참깨 착즙액에서는 α -아밀레이스 활성이 확인되지 않았다. 양성대조군으로 사용된 *Aspergillus oryzae* 유래의 α -아밀레이스(Sigma-Aldrich, USA)의 경우 78 kDa 및 39 kDa 위치에 각각 두 개의 활성 밴드가 확인된 반면, 비가열 참깨 착즙액의 경우 단일 밴드로 나타났다. 결과적으로, 두 종류의 시험을 통해 참깨 착즙액의 α -아밀레이스 활성 존재 여부를 확인할 수 있었으며, 이를 통해 비가열 참깨 착즙액이 소화적인 문제를 야기할 수 있는 통참깨의 적절한 대안책이 될 수 있을 것으로 판단된다.

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 단백질가수분해효소 활성

볶음 온도별 참깨 착즙액에 대하여 단백질가수분해효소 활성을 갖는 단백질의 존재 유무를 확인하기 위한 카제인 자이모그래피 분석을 수행하였다. 그 결과, 비가열 참깨 착즙액에서는 카제인이 분해된 투명한 활성 밴드가 확인되었으나, 볶음 처리한 참깨 착즙액에서는 활성 밴드를 확인할 수 없었다(Fig. 2A). 비가열 참깨 착즙액의 카제인 분해 면적을 계산한 결과, 양성대조군인 50 μg/mL 농도의 *Bacillus* sp. 유래 단백질가수분해효소(Sigma-Aldrich, USA)와 유사한 활성을 보이는 것으로 확인되었다(Fig. 2B). 한편, 볶음 처리한 참깨 착즙액에서는 활성 밴드가 보이지 않은 점에서 α -아밀레이스 활성과 유사한 경향성을 나타

Table 5. Antioxidant activities of sesame seed juices at different concentrations by roasting conditions¹⁾

Concentration (mg/mL)	ABTS	DPPH	SOD-like	Nitric oxide (NO)	Nitrite		FRAP	Reducing power	
					pH 1.2	pH 3.0			
Unroasted	100	40.43±1.63 ^c	67.06±1.00 ^f	33.74±2.29 ^b	21.61±0.73 ^d	66.00±1.21 ^{ef}	30.91±2.09 ^b	175.52±8.18 ^f	0.223±0.007 ^e
	50	27.38±2.90 ^c	43.79±2.42 ^d	17.49±1.32 ^a	14.78±0.99 ^c	48.17±1.14 ^e	30.86±1.76 ^b	93.88±3.35 ^d	0.130±0.003 ^c
	10	6.73±0.89 ^a	6.60±0.64 ^a	*NA	8.67±0.87 ^a	31.37±1.05 ^a	30.11±0.87 ^b	5.19±1.32 ^a	0.030±0.002 ^a
160°C	100	44.38±1.69 ^f	79.27±1.71 ^g	55.60±1.81 ^d	32.57±0.96 ^g	64.50±1.15 ^e	31.49±1.65 ^b	172.96±5.23 ^f	0.232±0.007 ^e
	50	27.27±1.21 ^c	49.05±3.07 ^d	37.73±3.57 ^b	23.25±0.79 ^{de}	48.42±2.01 ^e	30.62±1.48 ^b	93.86±2.61 ^d	0.133±0.002 ^c
	10	7.14±1.08 ^a	10.76±2.55 ^a	NA	15.12±1.02 ^c	30.44±0.88 ^a	25.94±3.75 ^a	6.71±1.05 ^{ab}	0.034±0.002 ^a
200°C	100	53.22±2.61 ^g	87.54±1.70 ^h	60.21±1.10 ^d	34.17±0.75 ^h	68.25±1.27 ^f	32.49±1.11 ^b	173.02±3.94 ^f	0.302±0.002 ^f
	50	31.33±1.43 ^d	56.94±3.22 ^e	46.55±3.01 ^c	24.41±1.08 ^e	51.22±1.01 ^d	30.83±1.70 ^b	103.85±3.56 ^e	0.161±0.006 ^d
	10	9.73±1.23 ^a	16.57±1.83 ^b	NA	11.82±1.20 ^b	31.50±1.79 ^a	29.41±1.29 ^b	11.65±0.73 ^a	0.045±0.002 ^a
240°C	100	93.73±0.95 ⁱ	99.97±0.15 ⁱ	77.62±2.06 ^e	61.99±0.50 ⁱ	94.58±1.09 ^h	52.49±1.00 ^d	399.27±6.52 ^h	0.659±0.021 ^h
	50	68.03±2.72 ^h	96.97±0.50 ⁱ	74.16±1.73 ^e	53.69±0.61 ⁱ	78.15±1.86 ^g	44.90±1.65 ^c	236.72±9.94 ^g	0.409±0.020 ^g
	10	19.78±1.03 ^b	36.06±2.68 ^c	NA	30.03±0.44 ^f	38.31±2.28 ^b	32.65±1.67 ^b	52.89±1.91 ^c	0.103±0.004 ^b

¹⁾The units of antioxidant activity are as follows; ABTS, DPPH, SOD-like, NO, and nitrite in %, ferric reducing antioxidant power (FRAP) in $\mu\text{M FeSO}_4/\text{g}$, and reducing power in absorbance. Data are mean±SD of at least three replicates of juice samples. Significantly different at $p<0.001$; different letters in the same row indicate significant differences among samples. *NA=not analyzed.

냈으며, 이를 통해 참깨의 볶음 처리가 단백질가수분해효소 활성을 저해시키는 것으로 판단되었다. 또한, 본 연구진은 당근과 씨앗 4종을 혼합하여 착즙한 씨앗즙의 단백질가수분해효소 활성 측정(33)을 통해 당근에 비해서 높은 씨앗의 단백질가수분해효소 활성을 확인하였으며, 다른 씨앗 중에 비해서는 활성이 낮았으나, 참깨의 단백질가수분해효소 활성 존재 여부도 확인한 바 있다. 이를 바탕으로 참깨의 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 단백질가수분해효소 활성을 조사한 결과, 카제인 자이모그래피의 결과와 동일하게 비가열 참깨 착즙액(0.952±0.183 PU/mg)을 제외한 모든 볶음 참깨 착즙액에서 단백질가수분해효소 활성이 없는 것으로 나타났다(Fig. 2C).

참깨 착즙액 메탄올 추출 농축액의 항산화 활성

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액 추출 농축액의 항산화 활성을 측정하여 Table 5에 나타내었다. ABTS 라디칼 소거활성의 경우, 100 mg/mL 농도에서 240°C 볶음 참깨 착즙액이 93.73%로 가장 높은 활성을 보였으며, 200°C 볶음 참깨 착즙액 53.22%, 160°C 볶음 참깨 착즙액 44.38%, 비가열 참깨 착즙액 40.43% 순으로 활성을 보였다. 특히, 240°C 볶음 참깨 착즙액은 50 mg/mL 농도에서도 100 mg/mL 농도의 다른 참깨 착즙액 비해서 유의적으로 높은 활성을 보였다($p<0.001$).

DPPH 라디칼 소거활성은 100 mg/mL의 농도에서 240°C 볶음 참깨 착즙액(99.97%)이 가장 높은 소거활성을 보인 반면, 비가열 참깨 착즙액(67.06%)이 가장 낮은 소거활성을 보였다. Kim 등(34)은 참기름 메탄올 추출물이 5,000 및 2,500 ppm 농도에서 각각 66.5 및 40.1%의 소거활성을 보인다고 밝혀, 본 연구의 참깨 착즙액보다 높은 소거활성을 보였다. 이를 통해 참깨의 볶음 온도와 시간뿐만 아니라 참기름의 추출 공정이 DPPH 라디칼 소거활성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

SOD 유사활성도 참깨의 볶음 온도가 증가에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 100 mg/mL 농도에서 240°C 볶음 참깨 착즙액이 77.62%로 가장 높은 활성을 보였고, 200, 160°C 및 비가열 참깨 착즙액 순으로 활성을 보였다. 특히, 50 mg/mL 농도의 240°C 볶음 참깨 착즙액(74.16%)은 100 mg/mL 농도의 각 볶음 조건 참깨 착즙액에 비해서도 높은 활성을 보였고, 비가열 참

깨 착즙액에 비해서는 2.2배의 높은 활성을 보였다. Kim 등(34)에 의하면, 참기름 메탄올 추출물이 5,000 및 1,000 ppm 농도에서 각각 0.2 및 0.1%로 본 연구의 활성보다도 낮은 SOD 유사활성을 나타낸다고 보고한 바 있다.

NO 라디칼 소거활성의 경우 100 mg/mL 농도에서 240°C 참깨 착즙액 61.99%, 200°C 참깨 착즙액 34.17%, 160°C 참깨 착즙액 32.57%, 비가열 참깨 착즙액 21.61% 순으로 다른 항산화 활성에 비해 낮은 활성을 보였다($p<0.001$).

아질산염 소거활성은 pH 3.0에 비하여 pH 1.2일 때 높은 활성을 보였으며, pH 1.2에서의 아질산염 소거활성이 착즙액의 농도에 따른 유의한 증가를 보인 반면, pH 3.0에서는 240°C 볶음 참깨 착즙액을 제외한 나머지 볶음 조건의 참깨 착즙액 간의 농도에 따른 유의적인 차이는 없었다($p<0.001$). Kim 등(35)은 팽이버섯 추출물의 폴리페놀 물질이 위장내의 낮은 조건인 pH 1.2가 pH 3.0-6.0에 비해서 아질산염 소거활성이 높은 것으로 보고하여 본 연구의 pH에 따른 결과와 일치하였다. Kim 등(35)은 참기름 메탄올 추출물(10,000 ppm)이 pH 1.2에서 68.3%의 활성을 보여 본 연구와는 차이를 보였으나, 이는 참깨의 볶음 공정 및 추출물 제조공정 등의 차이에 의한 것으로 판단된다.

FRAP의 경우, 100 mg/mL 농도에서 240°C 볶음 참깨 착즙액(399.27±6.52 $\mu\text{M FeSO}_4/\text{g}$)을 제외한 비가열, 160 및 200°C 볶음 참깨 착즙액 간에는 볶음 온도의 증가에 따른 유의적인 FRAP의 차이를 보이지 않았다($p<0.001$). 240°C 볶음 참깨 착즙액의 경우 비가열 참깨 착즙액에 비하여 2.3배 이상의 높은 FRAP 수치를 보였으며 특히, 50 mg/mL 농도에서도 100 mg/mL 농도의 다른 참깨 착즙액에 비해서 높은 FRAP 수치를 보였다.

참깨 착즙액의 환원력(reducing power)은 100 mg/mL 농도의 240°C 볶음 참깨 착즙액이 700 nm의 파장에서 0.659의 흡광도 값으로 참깨 착즙액 중에서 가장 높은 활성을 보인 반면, 비가열 참깨 착즙액은 0.223으로 활성이 가장 낮았다. Jeong 등(2)에 의하면 참깨 탈지박 메탄올 추출물이 볶음 온도와 시간에 따라 환원력이 증가한다고 밝혔으며, 이는 본 연구의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

결과적으로, 참깨의 볶음 온도가 증가함에 따라 항산화 활성이 증가되는 것을 확인하였으며, 이는 참깨의 대표적 항산화 성분인

Table 6. Sensory score of sesame seed juices with different roasting temperatures of seeds

Roasting temperature	Color	Aroma	Taste	Overall preference
Unroasted	3.00 ^a	2.05 ^a	2.02 ^a	2.40 ^b
160°C	2.55 ^a	2.50 ^{ab}	2.30 ^a	2.65 ^b
200°C	2.25 ^a	2.40 ^{ab}	2.20 ^a	2.05 ^b
240°C	2.20 ^a	3.05 ^b	3.30 ^b	2.90 ^b

Significantly different at $p < 0.05$; different letters in the same row indicate significant differences among samples.

세사물 함량과 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 볶음 온도가 증가함에 따라 크게 증가한 것과 일치하는 결과이다. 뿐만 아니라 항산화 활성에 크게 기여하는 비타민 또한 단시간의 볶음 처리에 따른 파괴가 일어나지 않고 일정한 함량을 유지하여서 보다 높은 항산화 활성을 나타낸 것으로 판단된다.

볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 관능 특성

참깨의 볶음 온도에 따른 참깨 착즙액의 색상, 맛, 향기 및 전 반적인 기호도를 4점 척도법으로 평가한 결과를 Table 6에 나타냈다. 240°C 볶음 참깨 착즙액의 향기(3.05)와 맛(3.30) 기호도에서 비가열 참깨 착즙액의 향기(2.05)와 맛(2.02) 기호도에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높았으나, 볶음 처리군 내에서 유의적인 차이는 없었다($p < 0.05$). 이렇듯 비가열 참깨 착즙액에 대한 선호도가 낮게 나타난 원인으로 현재 시판중인 고온으로 볶음 참깨를 이용한 참기름의 맛과 향기에 대한 소비자들의 인식이 정형화되어 있어서 부지 않을 경우 발생하는 참깨 특유의 풀 냄새가 맛과 향기 등의 항목에 낮은 점수를 받도록 한 것으로 판단된다. 또한 본 시험에 사용된 볶음 온도는 다소 높은 온도이지만 3분이라는 아주 짧은 시간의 가열처리로 인해 시료간의 구별이 어려웠던 것으로 판단된다. 이러한 결과는 대부분 고온에서 장시간 볶음 참깨를 이용한 것에 비해서 짧은 볶음 처리로 인하여 비록 관능적인 차이의 구별은 어려우나, 비교적 짧은 볶음 처리 만으로도 높은 항산화 활성을 가지며 인체에 유해한 성분을 포함하지 않는다는 것을 확인하였다.

결론적으로 참깨 착즙액은 참깨 유래의 영양성분을 다량 함유하고 있으며 소화 효소 또한 활성을 잃지 않고 신선한 상태로 보존되는 것을 확인하였다. 하지만 아주 단시간의 볶음 처리만으로도 소화 효소는 불활성화되는 것을 확인했으며, 이와 반대로 비타민의 경우 고온의 볶음 처리에도 불구하고 비교적 열에 노출되는 시간이 짧아 파괴되지 않는 것을 확인하였다. 뿐만 아니라 참깨의 대표적 항산화 물질인 세사물과 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 또한 볶음 온도가 올라감에 따라 증가되었으며, 그에 따른 결과로써 볶음 온도가 가장 높은 240°C 볶음 참깨 착즙액에서 가장 높은 항산화 활성을 보였다. 따라서 단시간 볶음 참깨의 착즙액을 섭취할 경우 가열 처리에 따른 소화효소 활성은 보이지 않지만, 높은 항산화 활성으로 인한 체내 산화적 손상을 예방할 뿐만 아니라, 인체 위생성 측면에서 안전하고, 무기질 등의 영양성이 우수한 식재료로써 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 참깨 착즙액의 볶음 온도가 영양 성분, 소화효소 활성 및 항산화 활성에 미치는 영향을 조사하였다. 참깨를

160, 200, 240°C에서 3분간 볶은 뒤 저속 녹즙기로 착즙하였다. 짧은 시간의 볶음 처리로 인해 모든 참깨 착즙액에서 벤조피렌 및 트랜스지방산은 검출되지 않거나 극소량만 검출되었다. 참깨 착즙액은 무기질, 비타민 및 지방산과 같은 다량의 무기질을 함유하며, 볶음 시간이 증가함에 따라 무기질, 비타민 B1, B3 및 세사물 함량은 증가되는 것을 확인하였다; 하지만 지방산, 비타민 B₂, 세사민 및 세사폴린은 감소되었다. 참깨 착즙액의 항산화 성분 및 항산화 활성은 볶음 온도가 증가함에 따라 증가되었고, 240°C에서 가장 높은 항산화 활성을 나타냈다. 그러므로 본 결과는 항산화 활성이 높은 볶음 참깨 착즙액이 체내 산화적 손상을 예방하는데 도움이 될 것으로 제안한다.

References

1. Abou-Gharbia HA, Shehata AAY, Shahidi F. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Res. Int.* 33: 331-340 (2000)
2. Jeong SM, Kim SY, Kim DR, Nam KC, Ahn DU, Lee SC. Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *J. Food Sci.* 69: C377-C381 (2004)
3. Namiki M. The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Rev. Int.* 11: 281-329 (1995)
4. Park SJ, Kang MH. Functional properties of sesame seed. *Food Ind. Nutr.* 9: 31-40 (2004)
5. Voutsas D, Terzi H, Muller L, Samara C, Kouimtzi TH. Profile analysis of organic micropollutants in the environment of a coal burning area, NW Greece. *Chemosphere* 55: 595-604 (2004)
6. Tilgner DJ, Daun H. Polycyclic aromatic hydrocarbons (polynuclears) in smoked foods. *Residue Rev.* 27: 19-41 (1969)
7. Liu WH, Inbaraj BS, Chen BH. Analysis and formation of *trans* fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. *Food Chem.* 104: 1740-1749 (2007)
8. Korean Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Korean Food Standards Codex. Available from: http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_02.jsp?id=263. Accessed Nov. 11, 2016.
9. Martins-Junior HA, Wang AY, Alabourda J, Pires MA, Vega OB, Lebre DT. A validated method to quantify folic acid in wheat flour samples using liquid chromatography: tandem mass spectrometry. *J. Braz. Chem. Soc.* 19: 971-977 (2008)
10. Kikugawa K, Arai M, Kurechi T. Participation of sesamol in stability of sesame oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 60: 1528-1533 (1983)
11. Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagent. *J. Biol. Chem.* 12: 239-243 (1912)
12. Davis WB. Determination of flavanones in citrus fruits. *Anal. Chem.* 19: 476-478 (1947)
13. Doehlert DC, Duke SH. Specific determination of α -amylase activity in crude plant extracts containing β -amylase. *Plant Physiol.* 71: 229-234 (1983)
14. Korean Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Korean Food Additives Codex. Available from: http://www.mfds.go.kr/fa/index.do?page_gubun=2&serialno=166&gongjeoncategory=2&page=3&nMenuCode=8. Accessed Nov. 22, 2016.
15. Egitto AS, Girardet JM, Laguna LE, Poirson C, Molle D, Miclo L, Humbert G, Gaillard JL. Milk-clotting activity of enzyme extracts from sunflower and albizia seeds and specific hydrolysis of bovine ϵ -casein. *Int. Dairy J.* 17: 816-825 (2007)
16. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1231-1237 (1999)
17. Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 26: 1199-1200 (1958)
18. Marcocci L, Packer L, Droy-Lefaix MT, Sekaki A, Gardes-Albert M. Antioxidant action of *Ginkgo biloba* extract EGB 761. *Meth. Enzymol.* 234: 462-475 (1994)
19. Gray JI, Dugan LR. Inhibition of N-nitrosamine formation in

- model food system. *J. Food Sci.* 40: 981-984 (1975)
20. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76 (1996)
 21. Oyaizu M. Studies on products of browning reaction-antioxidant activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese J. Nutr.* 44: 307-315 (1986)
 22. Iwe MO. Handbook of sensory methods and analysis. Rojoint Communication Services Ltd., Enugu, Nigeria. pp. 7-12 (2002)
 23. Park WP, Shin YM, Choi JS. Physicochemical properties of some seed oil extracted by pressure method. *J. Agr. Life Sci.* 49: 221-231 (2015)
 24. Youssef MKE, Eshak NS, Hana RS. Physicochemical characteristics, nutrient content and fatty acid composition of *Nigella sativa* oil and sesame oil. *Food and Public Health.* 3: 309-314 (2013)
 25. Park CH, Choi KJ, Shim KB, Ha TJ, Lee MH, Hwang JD, Pae SB, Park KY, Baek IY. Studies on the improvement of roasting condition of sesame seeds for producing seed season and oil. *Korean J. Crop Sci.* 56: 205-211 (2011)
 26. Elvehjem. CA. A study of the heat stability of the vitamin B factors required by the chick. *J. Biol. Chem.* 99: 309-319 (1932)
 27. Yamashita K, Nohara Y, Katayama K, Namiki M. Sesame seed lignans and gamma-tocopherol act synergistically to produce vitamin E activity in rats. *J. Nutr.* 122: 2440-2446 (1992)
 28. Yen GC. Influence of seed roasting process on the changes in composition and quality of sesame (*Sesamum indicum*) oil. *J. Sci. Food Agric.* 50: 563-569 (1990)
 29. Kim SU, Oh KW, Lee MH, Lee BK, Pae SB, Hwang CD, Kim MS, Baek IY, Lee JD. Variation of lignan content for sesame seed across origin and growing environments. *Korean J. Crop Sci.* 59: 151-161 (2014)
 30. Fukuda Y, Nagata M, Osawa T, Namiki M. Chemical aspects of the antioxidative activity of roasted sesame seed oil, and the effect of using the oil for frying. *Agric. Biol. Chem.* 50: 812-821 (1986)
 31. Cheng W, Liu G, Wang X, Liu X, Liu B. Formation of benzo[a]pyrene in sesame seeds during the roasting process for production of sesame seed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 92: 1725-1733 (2015)
 32. Tsuzuki W. Study of the formation of *trans* fatty acids in model oils (triacylglycerols) and edible oils during the heating process. *Jpn. Agric. Res. Q.* 46: 215-220 (2012)
 33. Park SH, Park HJ, Kim JY, Lee SH, Jang JS, Lee MH. Mixed seeds juice with high antioxidant capacity and digestive enzyme activity and its application. *Food Sci. Biotechnol.* 26: 237-244 (2017)
 34. Kim EJ, Hwang SY, Son JY. Physiological activities of sesame, black sesame, perilla and olive oil extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 280-286 (2009)
 35. Kim HK, Choi YJ, Kim KH. Functional activities of microwave-assisted extracts from *Flammulina velutipes*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 1013-1017 (2002)