피스타치오 분말 매트릭스가 튀김 도넛의 품질 특성과 산화안정성에 미치는 영향

이지예 · 서정희

강원대학교 식품영양학과

Matrix Effect of Pistachio Powder on the Quality Characteristics and Oxidation Stability of Deep-Fried Doughnuts

Jiyea Lee and Jeonghee Surh

Department of Food and Nutrition, Kangwon National University

ABSTRACT The study sought to investigate the matrix effect of antioxidant food ingredients on the oxidative stability of lipids in food during deep-frying and subsequent storage. Deep-fried doughnuts were prepared by replacing the wheat flour (WF) content with pistachio powder (PP) ranging from 0~32% and the oxidation stability was evaluated by the Schaal oven test. With increasing amount of PP, the moisture content of the doughnuts decreased significantly with no change in their fat content, although PP was lower in water and much higher in fat content compared to WF. The doughnut crumbs increased in yellowness and decreased in lightness, reflecting the color properties of PP. However, their crust increased in redness with much lower lightness compared to the crumbs, presumably due to the browning reaction and the decomposition of chlorophyll under thermal processing. During storage at 63°C for up to 10 days, the hydroperoxide content and *p*-anisidine value tended to be higher in doughnuts with higher PP, despite the much higher total reducing capacity and DPPH radical scavenging activity of PP compared to those of WF. This could be because the doughnuts became enriched with not only antioxidants but also fat as a substrate of oxidation and chlorophyll and lutein as prooxidants, with the addition of PP. Another reason could be that low moisture foods like doughnuts do not easily form association colloids where polar antioxidants could be partitioned. These results demonstrated that the matrix of ingredients should be considered when selecting antioxidative ingredients according to the polar paradox theory to prevent lipid oxidation during cooking and preservation.

Key words: pistachio, matrix, deep-frying, doughnut, polar paradox

서 론

튀김은 기름을 열전달 매체로 하여 170°C 이상의 고온에서 식품을 가열하는 조리법으로, 튀김 중 일어나는 식품의 수분 증발과 기름흡수로 튀김 식품은 원재료와 비교할 때 지방 함량이 높다(Zaghi 등, 2019). 또한 고온에서 식품을 튀기는 동안 유지는 열에 불안정하여 지방산화가 일어나고 (McClements와 Decker, 2007), 이때 생성된 산화물들은 기름과 함께 튀김 식품으로 이행될 수 있다(Seppanen과 Csallany, 2006). 이처럼 튀김은 식품과 기름 사이의 물질 교환(mass transfer) 반응으로 튀김 식품과 튀김 유지의 매트릭스에 영향을 줄 수 있다. 일례로, Dobarganes 등(2000)

은 감자튀김에서 추출한 지방과 튀김 시 사용했던 유지에서 극성 화합물과 토크페롤 함량이 각각 동일한 농도로 존재하는 것을 확인함으로써 물질 이동을 시사하였다. 또한 식품 속 수분은 페놀성 물질, 이온 형태의 금속 등 친수성 물질의 운반체 역할을, 지방은 지용성 비타민, 색소 등 소수성 물질의 운반체 역할을 하므로 튀김 중 일어나는 물과 기름의 교환반응은 이들 미량성분의 이동을 도와 튀김 식품과 튀김 유지의 품질 특성에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 실제로 Lee와 Surh(2021)는 튀김 횟수가 증가할수록 크로켓의 수분이 기름으로 이행되어 튀김 유지 속 수분을 증가시킨 현상을 확인하였다. 또한 극성 항산화제를 상당량 함유한 당근 분말을 크로켓 표면에 도포하여 튀김으로써 튀김 유지

Received 17 August 2021; Revised 7 October 2021; Accepted 7 October 2021

Corresponding author: Jeonghee Surh, Department of Food and Nutrition, College of Health Science, Kangwon National University, 346, Hwangio-gil, Dogye-eup, Samcheok-si, Gangwon 25949, Korea, E-mail: jsurh@kangwon.ac.kr

Author information: Jiyea Lee (Graduate student), Jeonghee Surh (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

속 과산화물 함량을 감소시켜 품질 손상을 줄일 수 있었다고 보고하였다. 동시에 이 결과는 ‘bulk oil에서 소수성이 낮은 극성 항산화제가 오히려 지방 산화를 저해하는 데 효과적이다’라는 polar paradox 가설을 튀김 조리에서 실험적으로 확인해주었다.

식물성 기름에 미량으로 존재하는 수분은 기름 고유로 존재하는 인지질, 스테롤 및 지방 산화로 생성된 모노글리세라이드, 다이글리세라이드 등 다양한 양친매성 물질들에 의해 둘러싸인 역마이크로 형태의 association colloids를 형성할 수 있다(Laguerre 등, 2015). Polar paradox는 기름 속 산화가 물과 기름의 경계면 즉 association colloids의 인터페이스에서 일어나므로 기름에 대한 용해도가 큰 비극성 항산화제보다 오히려 수분을 함유한 association colloids로 근접할 수 있는 극성 항산화제가 지방 산화를 억제하는 데 효과적이라는 역설 이론이다(Frankel 등, 1994; Shahidi와 Zhong, 2011). Lee와 Surh(2021)는 크로켓 표면의 당근 분말로부터 수분이 튀김 유지로 이동할 때 친수성 성분인 극성 항산화제도 함께 기름으로 이행되어 association colloids의 계면에 탑재됨으로써 튀김 유지의 산화를 억제할 수 있었다고 해석하였다. 튀김 유지 속 산화물이 튀김 식품으로 다시 이행된다는 사실을 고려할 때, 선행연구는 튀김 식품의 산화 억제에 극성 항산화제를 함유한 식품소재가 효과적일 수 있음을 시사해주었다.

식물은 성장 중 외부환경에 대한 고유의 방어시스템으로 다양한 페놀성 극성 환원 물질을 생성하므로(Ho 등, 2007), 본 연구에서는 튀김 식품에 산화안정성을 부여할 밀가루 대체재로 ‘식물성 식품 원료’에 주목하였다. 특히 polar paradox 역설 이론과 튀김 조리의 적용 가능성에 근거하여 식물유래 원료를 선정하고자 하였으며, 극성 항산화제를 상당량 함유한 원료가 최종 튀김 식품의 산화안정성을 개선할 수 있을지를 평가하고자 하였다. 구체적으로는 식품 매트릭스 중 극성 항산화 물질에 초점을 둔 원료선정이 산화방지를 목적으로 한 제품 개발에 적용될 수 있을지를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

본 연구에서 사용한 피스타치오 분말(100%, 미국산)은 제품 유형상 견과류 가공품으로 웰베이킹(Seoul, Korea)에서 구입하였다. 호박 분말은 한우리약초(Seoul, Korea), 당근 분말은 맑은들(Hongcheon, Korea), 고구마 분말은 주식회사 푸른산(Seoul, Korea), 자색고구마 분말은 인차(Seoul, Korea)에서 각각 구매하였다. 밀가루와 설탕은 제일제당(Seoul, Korea) 제품으로 밀가루는 미국, 호주산 밀 100%로 제조된 중력분이었으며 폴리에틸렌에 포장되어 있었다. 베이킹파우더는 주식회사 브레드가든(Seongnam, Korea), 버터는 주식회사 롯데푸드(Cheonan, Korea), 천일염은 주

식회사 대상(Seoul, Korea), 콩기름은 사조대림(Seoul, Korea) 제품을 사용하였다. 계란(특란)은 농협하나로유통(Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다.

분석 시약인 Folin-Ciocalteu's phenol reagent, 갈산(gallic acid monohydrate), 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), barium chloride dihydrate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, *p*-anisidine, acetic acid, isooctane, ammonium thiocyanate는 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였다. Cumene hydroperoxide(80%)는 Thermo Fisher Scientific(Chicago, IL, USA)에서 구매하였다. NaOH, H_2SO_4 , methanol, ethanol, ethyl ether, chloroform, *n*-hexane은 Daejung Chemical & Metals. Co., Ltd.(Siheung, Korea)에서 구매하였다. Boric acid, Na_2CO_3 , HCl은 특급시약으로 Showa Chemical Industry Co.(Tokyo, Japan)에서 구매하였다. 모든 시약 제조에는 탈염·탈이온수를 사용하였다.

식물유래 분말의 항산화 활성

도넛 제조 시 밀가루를 대체할 식물유래 분말 후보물질로 당근, 호박, 피스타치오, 고구마, 적색고구마 분말을 선정하여 총 환원력(total reducing capacity)으로 항산화 활성을 평가하였다. 먼저 분말의 총 환원력을 넓은 범위의 극성에서 확인하고자 극성지수(polarity index, PI)가 다양한 증류수(PI=9.0), 에탄올(PI=5.1), *n*-헥산(PI=0)을 용매로 하여 추출물을 얻었다. 분말 1 g에 추출용매 9 mL를 첨가한 후 25 °C, 150 rpm으로 4시간 동안 진탕수조(BS-21, Jeio Tech, Gimpo, Korea)에서 추출한 후 4 °C, $3,091 \times g$ 에서 30분 동안 원심분리하여(5810R, Eppendorf, Hamburg, Germany) 상층액을 얻었다. 남은 침전물을 동일한 과정으로 1회 더 추출하여 상층액을 합한 후 시린지 필터(Syringe Filter Unit, 13HP045AN, Advantec, Tokyo, Japan)로 여과하였다. 총 환원력은 Folin-Ciocalteu's reagent 법에 따라(Singleton 등, 1999) 각 추출물 1 mL에 10% Folin-Ciocalteu's reagent 1 mL를 넣어 5분 동안 교반하여 반응시킨 후 10% Na_2CO_3 를 1 mL씩 넣어 진탕시키고 실온에서 1시간 동안 암반응 시켰다. 그 후 200 μL 씩 96 well plate에 분주하여 700 nm에서 흡광도(EON microplate spectrophotometer, Biotek Instruments, Winooski, VT, USA)를 측정하였다. 총 환원력은 갈산 당량(gallic acid equivalents, GAE)으로 나타내었다.

도넛 제조에 사용할 밀가루 대체재 선정 실험

5종 식물유래 분말 후보물질 중 도넛 제조 시 밀가루를 대체할 최종 소재를 선정하기 위해 밀가루의 0, 8, 16, 24%를 후보 분말로 대체하여 도넛을 제조하고 반죽과 도넛의 물성을 확인하였다. 대체량 결정은 다음의 과정을 따랐다. 호박 분말을 첨가한 도넛의 품질 특성을 탐색한 Choi(2012)의 연구에서 8% 첨가군이 종합적 기호도가 가장 높았던 결

과를 고려하여 식물유래 분말 첨가량을 밀가루 대비 8%로 설정하였다. 또한 첨가량 증가에 따른 도넛의 품질 특성 변화를 관찰하고자 16%, 24%, 32% 대체군을 추가하였으며, 이 중 32% 첨가군은 일부 시료에서 재료의 혼합이 용이하지 않아 선정단계에서는 제외하였다. Choi(2012)의 배합 비율을 참고하여 제조한 도넛의 레시피는 Table 1과 같았다. 잘 풀어진 계란물 40 g에 동량의 설탕을 넣어 혼합하고 소금 1 g과 중탕한 버터 15 g을 넣고 잘 섞어주었다. 여기에 대체 분말을 포함한 밀가루 100 g과 4 g의 베이킹파우더를 체로 내리면서 섞어 반죽한 후 냉장고에서 1시간 동안 숙성시키고 실온에서 10분간 휴지시켰다. 이후 지름 9 cm, 두께 0.5 cm로 성형하고 중간에 지름 3 cm의 구멍을 내어 표면적을 넓힘으로써 튀김 시 열전달이 용이하도록 하였다. 콩기름 2.5 L를 넣어 170°C로 예열한 튀김기(Kitchen-Art, Incheon, Korea)에 성형한 반죽을 넣은 후 45초 후에 뒤집어 앞·뒤 총 90초 동안 튀겼다.

반죽과 도넛의 물성은 텍스처 분석기(Instron 5542, Instron, Norwood, MA, USA)로 측정하였다. 측정 전 속력(pre-test speed) 0.33 mm/sec, 측정 속력(test speed) 3.3 mm/sec, 측정 후 속력(post-test speed) 0.33 mm/sec의 조건에서 직경 50 mm 원형 프로브로 표면으로부터 10 mm 깊이까지 2회 반복 압착하였다. TPA(texture profile analysis) 결과는 경도(hardness) 또는 힘-시간 그래프로 나타내었다.

피스타치오 분말과 밀가루의 일반성분과 색도 분석

AOAC(1990) 방법에 따라 분말의 수분은 105°C 건조기(OF-12, Jeio Tech)에서 상압가열건조법으로 조회분은 600°C 회화로(MF31G, Jeio Tech)에서 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 디에틸에테르(diethyl ether)를 추출용매로 하여 속슬렛 장치(E-816, Buchi, Flawil, Switzerland)로 조단백질은 켈달(Kjeldahl)법으로 분해장치(Digestion unit K-424, Buchi), 증류장치(Kjelflex K-360, Buchi), 적정장치(702 SM Titrino Metrohm, Buchi)를 사용하여 측정하였다. 탄수화물 함량은 차감법으로 산출하였다. 색도는 색차계(CR400, Konica Minolta Sensing, Osaka,

Japan)로 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)를 측정하였다.

피스타치오 분말과 밀가루의 라디칼 소거 활성

밀가루와 이를 대체할 소재로 최종 선정된 피스타치오 분말의 항산화 활성은 총 환원력에 더해 DPPH 라디칼 소거 활성으로도 평가하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 시료의 전자공여능과 수소공여능에 의해 DPPH 라디칼이 소거될 때 일어나는 보라색에서 노란색으로 색 변화를 525 nm에서 흡광도를 측정함으로써 확인하는 방법이다(Brand-Williams 등, 1995; Liang과 Kitts, 2014). 먼저 위와 동일한 방법으로 물, 에탄올, n-헥산 추출물을 준비하였다. 추출액 100 µL에 0.2 mM DPPH(in ethanol) 1 mL를 첨가하여 교반한 후 200 µL씩 셀에 분주하여 525 nm에서 5분 간격으로 5시간 동안 흡광도(EON microplate spectrophotometer, Biotek Instruments)를 측정하였다. 흡광도의 유의적 변화가 관찰되지 않았던 30분에서의 흡광도를 라디칼 소거 활성 평가에 사용하였다. 추출물 대신 추출용매를 사용하여 동일하게 반응시킨 군을 blank로 사용하였으며 양성대조군으로는 0.2 mM 갈산을 사용하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 blank 대비 추출물에 의해 감소된 흡광도의 %로 계산하였다.

피스타치오 분말을 첨가한 도넛 제조와 저장 조건

밀가루의 0%, 8%, 16%, 24%, 32%를 피스타치오 분말로 대체한 후 Table 1의 배합 비율로 Choi(2012)의 방법을 일부 변형하여 위와 동일하게 도넛을 제조하였다. 완성된 도넛은 지퍼백(Cleanwrap, Seoul, Korea)에 넣어 밀봉한 후 신속산패 측정법(Schaal oven test)에 따라 63°C 오븐(OF-12, Jeio Tech)에서 10일까지 저장하여 산패를 유도하였다. 1, 3, 5, 10일째에 각각 도넛 시료를 꺼내 산화안정성 평가에 사용하였다.

피스타치오 분말 첨가 도넛의 수분 및 지방 함량

도넛 제조 후 막자사발과 막자를 이용하여 도넛을 분말화한 후 수분은 105°C 오븐(OF-12, Jeio Tech)에서 상압가열건조법으로, 지방은 디에틸에테르를 추출용매로 하여 속슬렛 장치(E-816, Buchi)로 정량하였다.

피스타치오 분말 첨가 도넛의 색 특성

도넛 반죽과 완성된 도넛의 외관은 카메라(iphone 11, Apple, Cupertino, CA, USA)로 촬영하였다. 또한 도넛의 경우에는 색차계(CR400, Konica Minolta Sensing)를 사용하여 겉과 속의 명도, 적색도, 황색도를 측정함으로써 피스타치오 분말 첨가에 따른 색 변화를 비교하였다.

피스타치오 분말 첨가 도넛의 저장 중 산화안정성 평가

도넛의 산화안정성은 지방 산화 과정을 고려하여 1차 산

Table 1. Preparation formula for the doughnut added with different levels of pistachio powder

Ingredient (g)	Pistachio powder (%) ¹⁾				
	0	8	16	24	32
Wheat flour	100	92	84	76	68
Pistachio powder	0	8	16	24	32
Egg	40	40	40	40	40
Sugar	40	40	40	40	40
Butter	15	15	15	15	15
Baking powder	4	4	4	4	4
Salt	1	1	1	1	1

¹⁾The relative percentage of pistachio powder to the amount of wheat flour used for a control doughnut that has no pistachio powder.

화물 지표로 과산화물, 2차 산화물 지표로 *p*-anisidine value(*p*-AV)를 평가하였다. 저장 1, 3, 5, 10일에 도넛을 꺼내어 막자사발과 막자로 분쇄하여 시료로 사용하였다. 도넛 시료 3 g에 클로로포름 : 메탄올(2:1, v/v) 혼합 용액 5 mL를 넣은 후 30초 동안 vortexing한 후 4°C, 3,091×*g*에서 15분 동안 원심분리(5810R, Eppendorf)하였다. 이후 상층액을 여과(Qualitative Filter Paper No.2, Whatman, Maidstone, England)하여 지방 산화물 분석에 추출물로 사용하였다.

과산화물은 ferric thiocyanate법에 따라 분석하였다(Chapman과 Mackay, 1949). 이 방법은 과산화물이 2가 철을 3가 철로 산화시키고 이때 생성된 3가 철이온이 무색의 ammonium thiocyanate를 자홍색으로 변색시키는 원리에 기초하고 있다. 반응물의 흡광도가 0.2~0.8 범위에 오도록 추출물을 희석한 후 메탄올 : 부탄올(2:1, v/v) 혼합 용액을 첨가하여 3 mL로 정용하고 ammonium thiocyanate(7.5 g/25 mL in water) 15 µL를 넣어 교반하였다. 여기에 0.0360 M FeSO₄·7H₂O 25 mL와 0.0328 M BaCl₂ 25 mL를 반응시켜 준비한 FeCl₂ 용액 15 µL를 첨가하여 다시 5초 동안 vortexing하였다. 실온의 암소에서 20분 동안 정치 후 510 nm에서 흡광도(EON microplate spectrophotometer, Biotek Instruments)를 측정하였다. Cumene hydroperoxide를 표준물질로 사용하여 과산화물을 정량하였다.

지방 산화의 대표적 2차 산화물인 α,β-unsaturated aldehydes 생성량을 시사하는 *p*-AV는 Tompkins와 Perkins(1999) 방법에 따라 분석하였다. 추출물 5 mL에 acetic acid 1 mL를 넣고 2초간 vortexing한 후 350 nm에서 흡광도를 측정하여(A₀) 시료용액의 색과 용매의 영향을 확인하였다. 추출물 5 mL에 *p*-anisidine 용액(0.25 g *p*-anisidine/100 mL glacial acetic acid) 1 mL를 넣어 10분간 반응 후 350 nm에서 흡광도를 측정하였다(A₁). 추출용매로 사용된 클로로포름 : 메탄올 혼합용액 5 mL와 *p*-anisidine 용액 1 mL를 교반하여 350 nm에서 흡광도를 측정함으로써(A₂) 추출용매와 시약과의 반응성을 확인하였다. *p*-AV는

문헌에 따라 $1.2 \times (A_1 - A_2) - A_0$ 식으로 산출하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복하였으며, IBM SPSS Statistics (ver. 24.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)로 통계처리하여 평균과 표준편차로 나타내었다. Frying frequency 및 군 사이의 유의적 차이를 알아보기 위해 일원분산분석(one way-ANOVA)으로 분석하여 유의수준 5%에서 Duncan법으로 사후검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

도넛 제조 시 밀가루를 대체할 식물유래 항산화 분말 소재 선정

도넛 조리 중 밀가루를 대체할 항산화 분말 소재를 선정하기 위해 5종 분말의 항산화력과 첨가량에 따른 도넛 반죽 및 도넛의 물성을 측정하였다(Fig. 1, 2). 먼저 총 환원력으로 평가한 분말의 항산화력은 Fig. 1과 같다. 밀가루를 제외한 5종 분말의 총 환원력은 갈산 당량으로 물 추출물 911~3,154 µg/g, 에탄올 추출물 282~809 µg/g, 헥산 추출물 5.8~58.4 µg/g으로 물 추출물에서 가장 높은 활성을 나타내어 분말 속 항산화 성분의 상당량은 극성 성분임을 시사해주었다. 이는 식물에 고유로 존재하는 대표적 이차 대사 산물인 플라보노이드가 대부분 구조적으로 수소공여능이 탁월한 폴리 페놀성 물질이라는 사실과 연관될 수 있다(Schwartz 등, 2007). 특히 자색고구마 물 추출물의 높은 총 환원력은 자색고구마에 존재하는 수용성 색소인 peonidin 및 cyanidin 계열의 안토시아닌에 의한 것으로 해석하였다(Hu 등, 2016). 비극성 추출용매로 얻어진 헥산 추출물의 경우 총 환원력은 호박, 피스타치오, 당근, 밀가루, 자색고구마, 고구마 분말 순서로 활성이 높았으나 모두 물 추출물 대비 0.3~6.7% 수준으로 낮았다. 이 결과는 대부분의 식품에서 항산화 활성은 지용성 추출물이 수용성 추출물보다 훨씬 낮았으며, 식품에서 확인된 총 항산화 활성의 90% 이상이 수용성

Fig. 1. The total reducing capacity of various powders depending on the extraction solvent.

Fig. 2. Preliminary tests on the hardness of doughnut dough added with various plant powders at a concentration of 0 to 24% (A) and on the texture profile analysis of the resulting doughnuts made with 24% (B). A dotted line in A indicates the hardness of a control doughnut dough prepared only with wheat flour.

성분에서 기인했다고 보고한 선행 연구들과 일치하였다 (Gentile 등, 2007; Wu 등, 2004). 한편 밀가루의 일정량 (0~24%)을 5종 분말로 대체하여 제조한 도넛의 경도 특성은 Fig. 2와 같았다. 피스타치오 군을 제외한 모든 실험군에서 분말 대체 후 도넛 반죽은 단단해지는 특성을 나타내었다 (Fig. 2A). 특히 TPA 분석 결과 피스타치오군은 튀김으로 완성된 후에도 대조군(밀가루)과 가장 유사한 텍스처 특성을 나타내었다(Fig. 2B). 도넛 반죽 단계에서 경도 차이는 수분 및 지방 함량, 수분 흡착력 등 글루텐 형성과 관련된 이화학적 조성이 분말마다 달랐기 때문으로 해석하였다 (Goesaert 등, 2005). 일반적으로 채소류와 견과류 분말은 밀가루보다 식이섬유가 많고(Rural Development Administration, 2016), 이러한 섬유소는 물 결합력이 높아 반죽 과정에서 전분 수화 및 글루텐 형성에 필요한 물을 흡착함으로써 반죽의 신장성과 점탄성을 방해할 수 있다(Goesaert

등, 2005). 그러나 피스타치오 분말의 경우에는 다른 5종 분말과 달리 지방 함량이 높아 식이섬유에 의해 감소한 반죽의 점탄성을 지방의 가소성이 상쇄시켜 대조군인 밀가루와 유사한 반죽 물성을 보인 것으로 해석하였다.

도넛 부재료로서 5종 분말의 가능성을 검토한 결과, 도넛 물성에 부정적 영향 없이 향산화성을 부여할 수 있는 피스타치오 분말을 도넛 제조용 밀가루 대체재로 선정하였다. 또한 피스타치오 분말은 극성 추출물의 향산화력이 탁월하였으므로 튀김 식품에서 polar paradox 가설이 성립할지를 평가하는데 적합할 것으로 판단하였다.

피스타치오 분말과 밀가루의 이화학적 특성 및 향산화 활성 비교

피스타치오 분말의 일반성분은 밀가루와 유의적으로 달랐다(Table 2). 수분과 탄수화물은 유의적으로($P<0.001$)

Table 2. Proximate composition, color properties, and antioxidant activities of pistachio powder compared with wheat flour¹⁾

Composition/ Property		Pistachio powder	Wheat flour	Significance ²⁾
Proximate composition (%) ³⁾	Moisture	4.2±0.0	10.2±0.1	***
	Crude ash	2.8±0.0	0.5±0.0	***
	Crude fat	45.2±0.7	0.7±0.6	***
	Crude protein	25.3±0.2	10.6±0.1	***
	Carbohydrate	22.5	78.0	
Color property	Lightness (L)	60.48±0.56	93.46±0.12	***
	Redness (a)	-3.95±0.37	-0.72±0.05	***
	Yellowness (b)	30.34±0.63	8.73±0.04	***
Total reducing capacity (µg/g as gallic acid equivalents)	Water extract	1,470±10	206±16	***
	Ethanol extract	282±46	157±12	*
	Hexane extract	25±4	14±1	**
DPPH radical scavenging activity (% inhibition) ⁴⁾	Water extract	23.1±5.5	2.5±0.9	**
	Ethanol extract	12.7±0.4	8.9±0.9	**
	Hexane extract	11.5±0.9	6.5±1.7	*

¹⁾The value was expressed as the mean±standard deviation of triplicate.

²⁾*, **, and *** mean that the values within the same row are significantly different at $P<0.05$, $P<0.01$, and $P<0.001$, respectively.

³⁾Carbohydrate content was calculated by the following equation: $100 - (\text{moisture} + \text{protein} + \text{ash} + \text{fat})$.

⁴⁾The activity of 0.2 mM gallic acid used for comparison was 81.4%.

낮았고 조회분, 지방, 단백질은 유의적으로($P<0.001$) 높았다. 특히 밀가루는 탄수화물이 78%로 화학적 조성 대부분을 차지하였지만 피스타치오 분말은 탄수화물 22.5%, 지방 45.2%, 단백질 25.3%로 뚜렷한 차이를 나타내었다. 따라서 밀가루를 피스타치오 분말로 대체하면 양적 측면에서 탄수화물 감소량의 80%는 지방, 20%는 단백질이 대체할 수 있다. 피스타치오 분말은 외관상 연한 녹색을 띠고 있어 적색도(-3.95)는 음의 값으로 절댓값이 밀가루(-0.72)보다 유의적으로($P<0.001$) 높았으며 황색도 역시 유의적으로($P<0.001$) 높은 값을 나타내었다. 피스타치오 분말의 색 특성은 피스타치오에 함유된 주요 색소인 녹색소 ‘클로로필’과 카로티노이드인 잔토필 계열의 황색소 ‘루테인’에서 기인한 것으로 볼 수 있다(Bellomo와 Fallico, 2007; Pumilia 등, 2014). 실제로 Dini 등(2019)은 피스타치오 속 클로로필 함량과 a 값 사이에서 강한 음의 상관성, 잔토필 함량과 b 값 사이에서 강한 양의 상관성을 보고한 바 있다. 한편 극성 지수가 다른 3종 용매로 얻은 추출물의 항산화 활성 평가에서 피스타치오 분말과 밀가루의 총 환원력은 갈산 당량으로 물 추출물(1,470 $\mu\text{g/g}$ vs. 206 $\mu\text{g/g}$), 에탄올 추출물(282 $\mu\text{g/g}$ vs. 157 $\mu\text{g/g}$), 헥산 추출물(25 $\mu\text{g/g}$ vs. 14 $\mu\text{g/g}$) 순서로 높았으며, 피스타치오 분말이 밀가루보다 각각 7.1배($P<0.001$), 1.8배($P<0.05$), 1.8배($P<0.01$) 유의적으로 높게 나타났다. 이는 피스타치오 분말에 상당량 존재하는 레스베라트롤(resveratrol), 프로안토시아니딘, 다이드제인(daidzein), 제니스테인(genistein) 등 폴리페놀 계열의 친수성 환원 물질과 토코페롤과 같은 지용성 환원 물질에 의한 것으로 해석하였다(Arranz 등, 2008; Gentile 등, 2007). 특히 이 성분들이 구조적으로 포함하고 있는 페놀성 수산기(-OH)는 수소($\text{H}\cdot$)를 공여하고도 공명구조로 안정할 수 있어 탁월한 라디칼 소거제로 알려져 있다. 이에 따라 3종 용매 추출물 모두에서 피스타치오 분말은 밀가루보다 유의적으로 높은 DPPH 라디칼 소거 활성을 나타내었다. 실제로 두 분말에서 관찰된 총 환원력과 DPPH 라디칼 소거 활성 사이에서는 강한 양의 상관성($p=0.806$)이 확인되었다.

피스타치오 분말 첨가 도넛의 수분과 지방 함량

밀가루의 0~32%를 피스타치오 분말로 대체하여 제조한 도넛은(Table 3) 피스타치오 함량이 증가할수록 도넛의 수분함량은 무첨가군 5.4%에서 첨가군 1.3~5.0%로 유의적으로($P<0.001$) 감소하였다. 이 현상은 밀가루와 비교해 피스타치오 분말의 낮은 수분함량(10.2% vs. 4.2%) 때문으로 해석될 수 있다(Table 2). 한편 도넛 레시피(Table 1)를 사용하여 계산한 튀김 전 도넛의 지방 함량은(Table 2) 무첨가군 8.0%, 첨가군 10.9~15.1%로 피스타치오 분말은 지방 함량이 높아 첨가량이 많을수록 도넛의 지방 함량도 증가할 것으로 예상되었다. 그러나 실제로 튀김 조리 후 완성된 도넛의 지방 함량은 무첨가군 29.4%, 피스타치오 분말 첨가군 26.7~31.0%로 유의적으로 다르지 않았다. 이는 고온의 기

Table 3. Moisture and fat contents of the doughnuts added with pistachio powder

Pistachio powder (%)	Moisture (%)	Fat from recipe (%) ¹⁾	Fat (%)
0	5.4±0.0 ^a	8.0	29.4±1.4
8	5.0±0.1 ^b	10.9	26.7±4.2
16	4.7±0.0 ^c	11.5	27.8±5.6
24	3.7±0.0 ^d	13.3	31.0±2.8
32	1.3±0.1 ^e	15.1	30.1±2.0
Significance ²⁾	***	—	NS

¹⁾The value was calculated from the recipe in Table 1. The fat content of each ingredient was referred to Table 2 for wheat flour and pistachio powder, and product information for egg and butter.

²⁾*** means that the values within the same column are significantly different at $P<0.001$.

NS means ‘not significant’.

름을 열전달 매체로 하는 튀김 조리 중 도넛 반죽과 기름 사이에서 일어난 물과 기름의 교환반응에 원료의 조성이 영향을 주었기 때문으로 해석할 수 있다(Dobarganes 등, 2000). Fillion과 Henry(1998)는 튀기려는 식품의 수분함량이 높고 지방 함량이 낮을수록 튀김 후 흡유되는 기름의 양은 많다고 보고하였다. 이는 튀김 조리 중 기름의 흡유가 식품 속 수분이 증발하여 생성된 기공을 통해서 이루어지기 때문으로, 식품 내부에 지방이 많으면 수분 증발이 방해되어 기공 생성이 적어 튀김 식품 내부로 흡유되는 기름의 양도 줄어들기 때문이다. 본 연구에서도 이와 동일하게 피스타치오 분말 첨가군 (i)튀김 중 기공을 형성할 수분함량 자체도 감소하였고, (ii)그 수분마저도 높아진 지방 함량으로 증발이 지연되어 전체적으로 흡유량이 감소하여 대조군과 첨가군 사이에 유의적 차이가 없었던 것으로 해석하였다.

피스타치오 분말 첨가 도넛의 색 특성

피스타치오 분말 첨가에 따른 도넛의 색 변화는 Fig. 3, Table 4와 같다. 피스타치오 분말은 밀가루보다 황색도가 높았고 명도는 낮았다(Table 2). 이러한 분말의 특성은 완성된 도넛의 내부(crumb)에 그대로 반영되어 피스타치오 분말 첨가군이 대조군보다 유의적으로 황색도($P<0.01$)가 높고 명도($P<0.001$)는 낮았다. 반면 도넛 표면(crust)은 황색도의 경우 유의적 차이를 나타내지 않았고, 명도 값은 도넛 내부보다 낮았으나 8% 첨가군을 제외하고는 외관상 짙은 갈색을 나타내며 첨가량에 따른 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 적색도는 도넛 내부가 음의 값(녹색도)을 나타낸 것과 달리 표면은 양의 값을 나타내어 튀김 조리 후 표면 갈색화가 진행되었음을 시사하였다. 고온에서 도넛을 튀기는 동안 표면에서 메일라드 반응과 카라멜화 반응이 가속화되고, 지방 갈변까지 추가되어 피스타치오 분말 첨가로 인한 색 변화 효과를 상쇄시킨 것으로 해석하였다. 또한 피스타치오 분말 속 클로로필의 열분해도 갈변화를 일부 설명할 수 있다. 클로로필 색소는 열처리 하에서 C10에 위치한 카르보메톡시

Fig. 3. The appearance of the dough and the resulting doughnut added with different levels of pistachio powder.

Table 4. Color properties of the crust and crumb of doughnut added with different levels of pistachio powder

Pistachio powder (%)	Crust			Crumb		
	L	a	b	L	a	b
0	54.88±1.46 ^b	8.64±0.29 ^c	35.28±0.62	79.25±1.63 ^a	-4.57±1.05 ^b	29.03±2.61 ^c
8	63.91±2.42 ^a	3.16±1.52 ^d	35.11±1.54	70.83±0.37 ^c	-4.34±0.47 ^{ab}	32.93±0.32 ^b
16	55.09±4.21 ^b	13.03±1.09 ^a	35.86±1.97	74.82±1.30 ^b	-4.58±0.39 ^b	36.93±2.17 ^a
24	58.02±2.67 ^b	11.07±0.89 ^b	37.58±1.47	64.98±0.40 ^d	-3.17±0.57 ^a	34.86±0.99 ^{ab}
32	57.73±3.51 ^b	10.08±0.96 ^{bc}	36.82±1.18	59.26±2.57 ^c	-3.31±0.33 ^a	33.78±1.26 ^{ab}
Significance ¹⁾	*	***	NS	***	*	**

¹⁾*, **, and *** mean that the values within the same column are significantly different at $P<0.05$, $P<0.01$, and $P<0.001$, respectively. NS means 'not significant'.

(carbomethoxy) 그룹이 떨어져 나가면서 갈색의 피로클로로필(pyrochlorophyll)로 전환되기 때문이다(Pumilia 등, 2014). 한편 8% 첨가군은 다른 첨가군들과 다른 색 특성을 나타내었다. 대조군보다 적색도가 감소하였고 이에 따라 명도는 증가하였다. 즉 8% 첨가군에서는 분말의 녹색이 대조군 도넛의 적색도를 감소시키는 효과를 보였으나 $\geq 16\%$ 첨가군에서는 갈변 현상 심화로 적색도가 오히려 증가하였다. 8% 첨가군과 $\geq 16\%$ 첨가군 사이에서 관찰된 색 특성 차이는 피스타치오 분말 속 색소인 클로로필과 지방의 영향으로 일부 설명할 수 있다. 피스타치오 분말 첨가량이 많은 군에서는 산화 기질인 지방과 광산화 촉진제인 클로로필이 함께 증가하였으므로 동일한 가열 조건 아래에서 도넛 표면의 지

방 산화가 더 가속화될 수 있다. 즉 상대적으로 더 많은 갈색 중합체 형성으로 녹색 분말 첨가 효과가 일부 상쇄된 것으로 해석하였다.

피스타치오 분말 첨가 도넛의 저장 중 산화안정성 평가

신속 산패 측정법으로 평가한 도넛의 산화 정도는 Fig. 4와 같다. 63°C에서 도넛을 최대 10일까지 저장하는 동안 대조군 도넛의 지방산화물은 저장기간이 길어질수록 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). 도넛의 산화안정성을 개선하기 위해 첨가한 피스타치오 분말은 높은 총 환원력과 라디칼 소거 활성에도 불구하고(Table 2), 저장 1일째 측정된 과산화물 함량은 피스타치오 분말 첨가량에 비례하여 오히려 유

Fig. 4. Hydroperoxide content (A) and relative percentage of *p*-anisidine value (B) of doughnut added with different levels of pistachio powder during storage at 63°C. Different small letters and capital letters on symbols indicate significant differences at $P<0.05$ depending on the storage period (along the x-axis) of the doughnuts and the concentration (along the y-axis) of the pistachio powder, respectively.

의적으로($P < 0.001$) 증가하였다. 이 경향은 저장 3일째까지 동일하였다($P < 0.001$). 그러나 저장 5일째 이르러서 $\geq 16\%$ 첨가균들 사이에서는 과산화물 함량이 크게 다르지 않았으며, 저장 10일째에는 모든 군에서 과산화물 함량의 유의적 차이가 관찰되지 않았다. 반면 과산화물 분해로 생성된 2차 산화물인 α, β -unsaturated aldehydes를 반영하는 p -AV 값은 저장 10일째 피스타치오 분말 첨가균들이 대조군보다 높은 경향을 나타내어 피스타치오 분말 첨가로 산화가 촉진되었음을 보여주었다($P < 0.05$). 그러나 첨가량에 따른 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 항산화 원료로 도넛에 첨가한 피스타치오 분말이 오히려 도넛의 산화안정성을 낮춘 이유는 피스타치오 분말의 매트릭스(matrix) 영향으로 설명할 수 있다. 첫째, 피스타치오 분말은 밀가루(0.7%)보다 지방 함량이 65배(45.2%) 높았다(Table 2). 또한 피스타치오에는 올레산을 포함한 불포화지방산이 총 지방산 함량의 70% 이상을 차지하는 것으로 알려져 있다(Satit 등, 2001). 따라서 피스타치오 분말 첨가로 도넛에 항산화 성분뿐만 아니라 지방 산화에 민감한 상당량의 불포화지방산도 함께 부가되어 산화가 촉진된 것으로 해석하였다. 둘째, 피스타치오 분말이 함유한 색소의 산화 촉진 작용도 관여했을 것으로 보인다. 튀김 조리 중 피스타치오 분말 첨가량이 많은 도넛일수록 흡유량은 낮아 최종 완성된 도넛들은 지방 함량이 서로 유의적으로 다르지 않았다(Table 3). 튀김 유지로 사용된 콩기름 역시 불포화지방산 함량이 $\geq 80\%$ 으로 높기 때문에(Surh와 Kwon, 2002), 사실상 산화기질인 지방의 조성은 대조군과 실험군 도넛 사이에 크게 다르지 않을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 63°C에서 저장한 도넛들은 피스타치오 첨가군이 대조군보다 더 많은 양의 지방 산화 생성물을 함유하고 있었다(Fig. 4). 이 현상은 피스타치오의 주요 색소 중 클로로필보다는 ‘루테인’에 의한 영향으로 해석될 수 있다. 클로로필은 빛 아래에서는 일중항산소를 생성하여 광산화를 촉진하지만, 빛이 차단된 곳에서는 클로로필 고유의 이온 킬레이팅 능력과 포피린 구조의 전자공여능으로 오히려 산화를 억제할 수 있기 때문이다(Pérez-Gálvez 등, 2020). 본 연구에서 도넛은 제조 이후 빛이 차단된 곳에 저장되었고, 실제로 Lee 등(2002) 역시 시금치 분말을 원료로 한 튀김에서 클로로필이 저장 중 지방 산화를 지연시켰다고 보고하였다. 따라서 피스타치오 도넛의 낮은 산화안정성에 클로로필의 광산화 기전은 거의 영향이 없을 것으로 판단하였다. 반면 루테인은 항산화 성분으로 알려진 다른 카로티노이드 색소들과 달리 상대적으로 열 안정성이 낮고 빛 하에서뿐만 아니라 빛이 차단된 곳에서도 산화를 촉진하는 것으로 알려져 있다. 구체적으로 Subagio와 Morita(2003), Haila 등(1996)은 각각 빛이 차단된 상태에서 루테인 첨가량이 많을수록 지방 산화물 생성이 증가한 현상을 확인하였으며, 이를 루테인이 구조적으로 불안정하여 저장 중 형성된 산화적 분해 산물이 지방과 직접 반응하여 산화를 가속화한 것으로 해석하였다(Subagio와 Morita, 2001). 따라서 피스타치오

첨가에 따라 함께 증가한 루테인이 저장 중 도넛의 산화안정성을 악화시키는데 일부 기여한 것으로 해석할 수 있다. 셋째, 도넛의 낮은 수분함량으로 설명할 수 있다. Polar paradox에 따르면 지방산화는 물과 기름의 경계면에서 일어나므로 이곳에 위치할 수 있는 극성 항산화제가 많을 경우 산화방지에 효과적이다(Frankel 등, 1994; Shahidi와 Zhong, 2011). 그러나 피스타치오 분말은 극성 추출물의 항산화력이 탁월하게 높았지만(Table 2) 도넛의 산화안정성을 개선하지 못하였다. 이는 저수분 식품에서 관찰될 수 있는 현상으로 저수분 식품($Aw < 0.85$, 수분함량 $< 6\%$)에서는 수분 대부분이 분산상으로 존재하지 않고 식품 속 전분이나 단백질 수화를 위해 결합되어 있기 때문이다. 극성 항산화제가 물 분자에 탑재되어 지방 산화를 지연하기 위해서는 물/기름의 계면이 형성되어야 하는데, 저수분 식품에서는 이 계면을 형성할 수 있는 association colloids 즉 분산상 형태의 수분이 거의 없기 때문으로 해석되고 있다(Barden 등, 2015). 따라서 피스타치오 속 극성 항산화 성분들은 도넛 내부에서 실질적으로 항산화 활성을 발휘하지 못한 것으로 해석하였다.

요 약

튀김 조리로 제조되는 도넛의 산화안정성을 개선하기 위해 식물유래 5종 후보물질 중 도넛 물성에 부정적 영향이 없고 극성 추출물의 항산화 활성이 높았던 피스타치오 분말을 선정하였다. 밀가루의 0~32%를 피스타치오 분말로 대체한 도넛은 피스타치오 분말 첨가량이 증가할수록 수분함량은 감소하고 지방 함량은 서로 유의적으로 다르지 않았다. 이는 피스타치오 분말의 낮은 수분함량과 높은 지방 함량이 반죽에 그대로 반영되어 첨가량이 많은 도넛일수록 흡유량이 낮았기 때문으로 해석하였다. 피스타치오 분말의 높은 황색도와 낮은 명도는 도넛 내부에 그대로 반영되었으나, 도넛 표면은 적색도가 높았으며 이에 따라 명도는 낮은 특성을 보였다. 이는 고온가열 중 도넛 표면에서 일어난 비효소적 갈변반응과 기름의 산화반응 및 클로로필 분해로 해석하였다. 피스타치오 분말이 밀가루보다 총 환원력과 라디칼 소거 활성이 유의적으로 높았음에도 불구하고 가속화된 산화 조건에서 피스타치오 분말 첨가 도넛은 무첨가 대조군보다 더 많은 양의 1, 2차 지방 산화물을 생성하였다. 이는 ‘bulk oil’에서 극성 항산화제는 비극성 항산화제보다 산화방지에 효과적이다’라는 polar paradox 가설과는 상반된 결과였다. 이는 첫째 밀가루를 대체하여 첨가한 피스타치오 분말의 매트릭스 영향과 둘째, 도넛의 품질 특성으로 해석하였다. 피스타치오 분말에 상당량 포함된 불포화지방산은 산화기질로, 주요색소인 클로로필과 루테인은 각각 가열과 저장 중 산화촉진제로 작용했기 때문이다. 또한 도넛은 수분함량이 낮아 polar paradox 성립에 중요한 association colloids를 충분히 생성하지 못했기 때문으로 해석하였다. 이 결과는 산화방지를 목적으로 조리에서 직접 적용할 원료를 선정할 때

원재료가 가진 매트릭스는 조리 및 저장 중 원료의 항산화 활성 발회에 큰 영향을 줄 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2020R1F1A1073688).

REFERENCES

- AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. 1990. Method 984.13.
- Arranz S, Cert R, Pérez-Jiménez J, Cert A, Saura-Calixto F. Comparison between free radical scavenging capacity and oxidative stability of nut oils. *Food Chem.* 2008. 110:985-990.
- Barden L, Barouh N, Villeneuve P, Decker E. Impact of hydrophobicity on antioxidant efficacy in low-moisture food. *J Agric Food Chem.* 2015. 63:5821-5827.
- Bellomo MG, Fallico B. Anthocyanins, chlorophylls and xanthophylls in pistachio nuts (*Pistacia vera*) of different geographic origin. *J Food Compos Anal.* 2007. 20:352-359.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm Wiss Technol.* 1995. 28:25-30.
- Chapman R, Mackay K. The estimation of peroxides in fats and oils by the ferric thiocyanate method. *J Am Oil Chem Soc.* 1949. 26:360-363.
- Choi JH. Processing optimization and quality characteristics of doughnut prepared with pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne) powder. Master's thesis. Sookmyung Women's University, Seoul, Korea. 2012.
- Dini A, Falahati-pour SK, Behmaram K, Sedaghat N. The kinetics of colour degradation, chlorophylls and xanthophylls loss in pistachio nuts during roasting process. *Food Qual Saf.* 2019. 3:251-263.
- Dobarganes C, Márquez-Ruiz G, Velasco J. Interactions between fat and food during deep-frying. *Eur J Lipid Sci Technol.* 2000. 102:521-528.
- Fillion L, Henry CJK. Nutrient losses and gains during frying: a review. *Int J Food Sci Nutr.* 1998. 49:157-168.
- Frankel EN, Huang SW, Kanner J, German JB. Interfacial phenomena in the evaluation of antioxidants: bulk oils vs emulsion. *J Agric Food Chem.* 1994. 42:1054-1059.
- Gentile C, Tesoriere L, Butera D, Fazzari M, Monastero M, Allegra M, et al. Antioxidant activity of Sicilian pistachio (*Pistacia vera* L. var. Bronte) nut extract and its bioactive components. *J Agric Food Chem.* 2007. 55:643-648.
- Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke WS, Courtin CM, Gebruers K, Delcour JA. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends Food Sci Technol.* 2005. 16:12-30.
- Haila KM, Lievonon SM, Heinonen MI. Effects of lutein, lycopene, annatto, and γ -tocopherol on autooxidation of triglycerides. *J Agric Food Chem.* 1996. 44:2096-2100.
- Ho CT, Rafi MM, Ghai G. Bioactive substances: nutraceuticals and toxicants. In: Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR, editors. *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2007. p 751-779.
- Hu Y, Deng L, Chen J, Zhou S, Liu S, Fu Y, et al. An analytical pipeline to compare and characteristics the anthocyanin antioxidant activities of purple sweet potato cultivars. *Food Chem.* 2016. 194:46-54.
- Laguette M, Bayrasy C, Panya A, Weiss J, McClements DJ, Lecomte J, et al. What makes good antioxidants in lipid-based systems? the next theories beyond the polar paradox. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2015. 55:183-201.
- Lee J, Lee S, Lee H, Park K, Choe E. Spinach (*Spinacia oleracea*) powder as a natural food-grade antioxidant in deep-fried products. *J Agric Food Chem.* 2002. 50:5664-5669.
- Lee J, Surh J. Effect of carrot powder coating on the oxidative stability of the oils used in deep-frying croquette. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2021. 50:732-741.
- Liang N, Kitts DD. Antioxidant property of coffee components: assessment of methods that define mechanisms of action. *Molecules.* 2014. 19:19180-19208.
- McClements DJ, Decker EA. Lipids. In: Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR, editors. *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2007. p 155-216.
- Pérez-Gálvez A, Viera I, Roca M. Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants.* 2020. 9:505. <https://doi.org/10.3390/antiox9060505>
- Pumilia G, Cichon MJ, Cooperstone JL, Giuffrida D, Dugo G, Schwartz SJ. Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) during roasting. *Food Res Int.* 2014. 65:193-198.
- Rural Development Administration. Korean food composition table 9th revision. Rural Development Administration, Wanju, Korea. 2016.
- Satil F, Azcan N, Baser KHC. Fatty acid composition of pistachio nuts in Turkey. CAOS 16th Annual Meeting of the Canadian Section of AOCS. 2001 Sept 29-Oct 1. Toronto, Canada.
- Schwartz SJ, von Elbe JH, Giusti MM. Colorants. In: Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR, editors. *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2007. p 571-638.
- Seppanen CM, Csallany AS. The effect of intermittent and continuous heating of soybean oil at frying temperature on the formation of 4-hydroxy-2-trans-nonenal and other α -, β -unsaturated hydroxyaldehydes. *J Am Oil Chem Soc.* 2006. 83:121-127.
- Shahidi F, Zhong Y. Revisiting the polar paradox theory: a critical overview. *J Agric Food Chem.* 2011. 59:3499-3504.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 1999. 299:152-178.
- Subagio A, Morita N. Instability of carotenoids is a reason for their promotion on lipid oxidation. *Food Res Int.* 2001. 34: 183-188.
- Subagio A, Morita N. Prooxidant activity of lutein and its dimyristate esters in corn triacylglyceride. *Food Chem.* 2003. 81:97-102.
- Surh J, Kwon H. Quantification of 4-hydroxyalkenals in oils consumed in Korea. *Korean J Food Sci Technol.* 2002. 5: 905-910.
- Tompkins C, Perkins EG. The evaluation of frying oils with the *p*-anisidine value. *J Am Oil Chem Soc.* 1999. 76:945-947.
- Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior RL. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem.* 2004. 52:4026-4037.
- Zaghi AN, Barbalho SM, Guiguer EL, Otoboni AM. Frying process: from conventional to air frying technology. *Food Rev Int.* 2019. 35:763-777.