## 크로켓 튀김 조리 중 당근분말 도포가 튀김 기름의 산화안정성에 미치는 영향

이지예·서정희

강원대학교 식품영양학과

# Effect of Carrot Powder Coating on the Oxidative Stability of the Oils Used in Deep-Frying Croquette

Jiyea Lee and Jeonghee Surh

Department of Food and Nutrition, Kangwon National University

ABSTRACT To investigate the properties of antioxidant food ingredients that are effective in preventing oil oxidation during deep-frying, this study prepared deep-fried croquettes coated with either wheat flour (WF) or carrot powder (CP) and evaluated the oxidation of the resulting frying oils. As to the antioxidant characteristics of WF and CP, polar extracts from CP were appreciably higher in total reducing capacity and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging activity than those from WF, whereas there was no significant difference between them in the radical scavenging activity of non-polar extracts. With an increasing number of frying repetitions, the moisture content of the oils increased significantly, indicating the possible formation of association colloids in the oils. The hydroperoxide content was appreciably lower in the oils used for the CP-croquette, compared to those for the WF-croquette. This could be attributed to the higher antioxidant activity of the polar extracts from the CP. Due to the affinity of the polar antioxidants to the water inside the association colloids, the lipid radicals generated originally at the interface between association colloids and oil may have been rapidly scavenged. However, the *p*-anisidine value was not significantly different, presumably due to the higher amounts of transition metals in the CP. Thus, iron and copper present inside the association colloids may have facilitated the breakdown of the hydroperoxides into secondary oxidation products. These results demonstrated that polar antioxidants in food ingredients could play an important role in preventing the oxidation of non-polar oils during deep-frying, which is consistent with the 'polar paradox' theory.

Key words: carrot, deep-frying, oil oxidation, association colloid, polar paradox

#### 서 론

튀김(deep-frying)은 170~180°C로 예열된 고온의 기름에 식품을 넣어 튀겨내는 조리법이다. 튀김에서 열전달 매체로 사용되는 기름은 비열이 낮고 열전도율이 높아 조리시간을 단축하므로(Lee 등, 2019), 튀김 조리는 신속성이 강조되는 현대사회에서 빈번히 사용되고 있다. 특히 고온 가열이특징인 튀김 조리는 열처리로 인해 효소 불활성화, 수분활성도 감소, 미생물 안전성을 확보할 뿐만 아니라, 갈변반응과향미성분 생성, 바삭한 질감으로 관능적 선호도가 매우 높다(Zaghi 등, 2019). 그러나 튀김에 사용되는 기름에는 상당량의 불포화지방산이 함유되어 있고, 고온의 환경은 이들 지방산을 산화시키는 대표적 산화 촉진인자이다(McClements

와 Decker, 2008). 실제로 Jo와 Surh(2020)는 튀김 횟수가 많고 기름 재사용 빈도가 증가할수록 기름 내부에 상당량의 일·이차 지방산화물이 생성되어 축적되는 현상을 보고하였다. 또한 Seppanen과 Csallany(2006)는 이러한 지방산화물이 튀김 기름에서 확인된 농도와 같은 농도로 튀김 음식 내부로 흡수되는 현상을 실험적으로 확인하였다. 튀김 중진행되는 물과 기름의 교환반응으로 튀김 식품의 지방 함량이 증가하고, 이때 식품으로 함께 흡수된 지방산화물이 심혈관계 질환, 암 등 만성질환과의 상관성이 보고됨에 따라(Zaghi 등, 2019) 조리 중 지방산화를 지연하기 위한 시도는계속되고 있다. 특히 가열시간, 온도, 빛, 산소 등 지방산화촉진인자를 통제하는 것 외에도(McClements와 Decker, 2008; Seppanen과 Csallany, 2006) 식물유래 천연물을 활

Received 19 February 2021; Revised 3 March 2021; Accepted 10 March 2021

Corresponding author: Jeonghee Surh, Department of Food and Nutrition, College of Health Science, Kangwon National University, 346, Hwangjo-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.

용한 지방산화 방지 연구가 활발히 진행되고 있다(Jo와 Surh, 2020). 이는 첫째, 합성물질에 대한 소비자의 우려를 불식시킬 수 있고 둘째, 식물은 성장 중 외부 환경에 대한 방어로 다양한 페놀성 및 비페놀성 환원물질을 합성할 수 있기 때문이다(Ho 등, 2008). 셋째, 식물 소재의 1, 2차 가공물(분말, 추출물 등)은 단일성분이 아닌 다양한 스펙트럼의 항산화 물질을 포함하므로(Chatatikun과 Chiabchalard, 2013), 개시단계, 전파단계, 종결단계로 복잡하게 얽혀 진행되는 지방산화를 다양한 기전으로 통제할 수 있을 것으로기대되기 때문이다(McClements와 Decker, 2008).

이와 유사하게 본 연구에서는 튀김 조리 중 기름 산화를 지연시켜 줄 식물유래 천연물로 당근분말을 선정하였다. 당 근의 경우 식물이 세포 내부에 공통으로 함유한 수용성 항산 화 물질인 플라보노이드 이외에도 지용성 항산화 물질로 알 려진 카로티노이드를 함유하고 있기 때문이다(Chatatikun 과 Chiabchalard, 2013). 일반적으로 지방 시스템에서 항산 화제의 효력은 용해도가 중요한 결정인자로 알려져 있다 (Barden 등, 2015). 기름은 비극성 물질이고 따라서 여기에 용해될 수 있는 지용성 항산화제가 수용성 항산화제보다 기 름 산화를 실질적으로 억제할 수 있을 것으로 기대하였다. 그러나 polar paradox에 따르면, 지방산화 방지에는 비극성 항산화제가 아니라 오히려 상대적으로 소수성이 낮은 극성 항산화제가 더 효과적일 수 있다(Laguerre 등, 2015). 이는 지방산화가 물과 기름의 경계면에서 일어나므로 이 지점에 위치할 수 있는 물질(즉, 어느 정도의 극성을 보유한 물질)이 실질적으로 항산화력을 발휘할 수 있다는 역설 이론이다. 기름에 존재하는 소량의 수분은 기름이 산화될 때 생성된 모노글리세라이드(monoglyceride), 다이글리세라이드(diglyceride) 등의 양친매성 물질로 둘러싸여 구형의 역 마이 셀(reverse micelle)인 'association colloids'를 형성할 수 있다. 이로써 물과 기름의 경계면이 만들어져 기름 산화가 일어나게 되며, 튀김 기름과 같은 bulk oil 시스템에서는 물 과 친화력이 없는 비극성 항산화제보다는 경계면으로 이동 하여 분포할 수 있는 적절한 극성의 항산화제가 효과적이라 고 설명하고 있다(Laguerre 등, 2015; Frankel 등, 1994; Shahidi와 Zhong, 2011).

본 연구에서는 크로켓 튀김 조리 중 표면에 코팅된 당근분 말이 튀김 기름의 산화에 미치는 영향을 polar paradox에 근거하여 탐색하고자 하였다. 크로켓 표면에 코팅된 분말이튀김 중 기름으로 이행되는 현상을 관찰한 선행연구를 토대로(Jo와 Surh, 2020) 당근분말과 밀가루(대조군)로 코팅된 크로켓 튀김에 사용된 기름의 산화안정성을 비교하였다. 튀김 기름 속 일·이차 지방산화물의 분포를 각 분말의 이화학적 특성과 관련하여 해석함으로써 polar paradox를 실제튀김 조리에서 검증해보고자 하였다.

## 재료 및 방법

#### 실험재료 및 시약

본 연구에 사용한 당근분말은 주식회사 맑은들(Hong-cheon, Korea)에서 구입하였다(Fig. 1A). 제조사에 따르면 당근분말은 국산 당근 100%로 제조되었으며 폴리에틸렌에 포장된 제품 유형상 과채 가공식품이었다. 밀가루는 제일제당(Seoul, Korea) 제품으로 미국, 호주산 밀 100%로 제조된 중력분이었으며 폴리에틸렌에 포장되어 있었다. 그 외감자 크로켓 제조에 사용한 감자와 계란(특란)은 농협하나로유통(Seoul, Korea)에서 구입하였으며 콩기름은 사조대림(Seoul, Korea) 제품을 사용하였다.

분석 시약으로 Folin-Ciocalteu's phenol reagent, 갈산 (gallic acid monohydrate), 2,2'-diphenyl-1-picrylhy-drazyl(DPPH), trimethylpentane, cumene hydroperoxide (80%), hexane, ferrous chloride(FeCl₂), p-anisidine (4-methoxyaniline), ammonium thiocyanate, 1-butanol 은 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였다. Butylated hydroxy toluene(BHT)은 Junsei Chemical Co., Ltd.(Tokyo, Japan)에서, 수분 정량에 사용한 Karl-Fisher 적정시약(Hydranal<sup>™</sup> Composite 2)은 Honeywell International Inc.(Charlotte, NC, USA)에서 구입하였다.

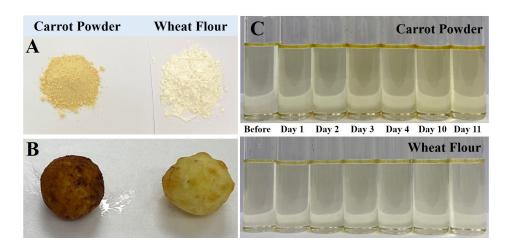


Fig. 1. Deep-fried croquettes (B) coated with either wheat flour and carrot powder (A). Frying oils (C) were collected not only immediately after deep-frying croquette at day 1, 3, and 10, but also after filtering them at the next day of each frying.

734 이지예·서정희

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ethanol, chloroform, methanol은 특급시약으로 Showa Chemical Industry Co.(Tokyo, Japan)에서 구매하 였다. 모든 시약 제조에는 탈염·탈이온수를 사용하였다.

#### 당근분말과 밀가루의 일반성분, 전이금속, 색도 분석

일반성분은 AOAC(1990) 방법에 따라 분석하였다. 수분 은 105°C로 예열된 건조기(OF-12, Jeio Tech, Gimpo, Korea)에서 상압가열건조법으로, 조회분은 600°C 회화로 (MF31G, Jeio Tech)에서 직접회화법으로 분석하였다. 조 단백질 함량은 분해장치(Digestion unit K-424, Buchi, Flawil, Switzerland), 증류장치(Kjelflex K-360, Buchi), 적정장치(702 SM Titrino Metrohm, Buchi)를 차례로 사용 하여 마이크로 켈달법(micro-Kjeldahl)으로 분석하였으며, 정량된 총 질소 함량에 질소계수(6.25)를 곱하여 산출하였 다. 조지방은 디에틸에테르를 추출용매로 하여 속슬렛 장치 (E-816, Buchi)로 정량하였다. 탄수화물 함량은 차감법 [100-(수분+조회분+조단백질+조지방)]으로 산출하였다. 한편, 전이금속 철과 구리는 다음의 과정으로 분석하였다. 0.2~0.3 g의 분말에 질산 7 mL와 과산화수소 2 mL를 가한 후 마이크로웨이브 시료용해장치(microwave digestion system, ETHOS Touch Control, Milestone Inc., Sorisole, Italy)로 시료를 분해하였다. 이후 증류수를 첨가하여 20 mL로 정용한 후 ICP-OES(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, 5110VDV, Agilent, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. RF power 1.2 kW, plasma flow 12 L/min, nebulizer gas flow rate 0.7 L/ min, auxiliary gas flow rate 1.0 L/min, viewing mode는 radial, viewing height 4 mm 조건으로 분석하였다. 색도는 색차계(CR400, Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan) 로 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)를 측정하였다.

#### 당근분말과 밀가루의 카로티노이드 함량

두 분말의 카로티노이드 함량은 Li 등(2017)의 연구 결과에 따라  $\beta$ -카로틴 추출효율이 가장 높았던 추출용매(에탄올)와 추출시간(30분)으로 분석하였다. 분말 1 g에 에탄을 15 mL를 가하여 25°C 진탕수조(Shaking & Heating Bath BS-21, Jeio Tech)에서 150 rpm으로 30분 동안 2회 추출하였다. 그 후 원심분리기(5810R, Eppendorf, Hamburg, Germany)로 4°C, 3,091×g에서 30분 동안 원심분리하였다. 상층액을 분리한 후 감압농축기(CH/R-100, Buchi)로 45°C, 200 mbar의 조건으로 농축하였다. 시린지 필터(syringe filter unit, 13HP045AN, Advantec, Tokyo, Japan)로 여과하여 최종 5 mL로 정용한 후 spectrophotometer (UV-1650, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 453 nm에서 흡광도를 측정하였다. 카로티노이드 함량은  $\beta$ -카로틴(in ethanol, at 453 nm)의 몰 흡광계수(141,000 L/mol·cm)로 산출하였다.

#### 추출용매에 따른 당근분말과 밀가루의 항산화 활성

당근분말과 밀가루의 항산화 활성은 용매의 극성지수 (Snyder's polarity index, PI)를 고려하여(Snyder, 1974), 물(PI=9.0), 에탄올(PI=5.1), n-헥산(PI=0)을 각각 추출용 매로 사용하여 넓은 극성분포에서 총 환원력과 라디칼 소거 활성으로 평가하였다. 당근분말과 밀가루 각 1 g에 증류수, 에탄올, n-헥산을 각 9 mL씩 분주한 후 25°C 진탕수조 (BS-21, Jeio Tech)에서 150 rpm으로 4시간 동안 총 2회 추출하였다. 그 후 원심분리기(5810R, Eppendorf)로 4°C, 3,091×g에서 30분 동안 원심분리하였다. 상층액을 분리하여 시린지 필터(syringe filter unit, 13HP045AN, Advantec)로 여과하고 최종 15 mL로 정용하였다. 이를 물 추출물, 에탄올 추출물, n-헥산 추출물로 사용하였다.

총 환원력은 Folin-Ciocalteu's reagent 법(Singleton 등, 1999)에 따라 각 추출물 1 mL에 10% Folin-Ciocalteu's reagent 1 mL를 넣어 5분 동안 교반하여 반응시킨후 10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 1 mL씩 넣어 진탕시킨 다음 실온에서 1시간 동안 암반응 시켰다. 그 후 200 μL씩 cell에 분주하여 700 nm에서 흡광도(EON microplate spectrophotometer, Biotek Instruments, Winooski, VT, USA)를 측정하였다. 총 환원력은 갈산 당량(gallic acid equivalents, GAE)으로 나타내었다.

라디칼 소거 활성은 전자공여능과 수소공여능을 포괄하여 측정하는 DPPH 라디칼 소거 활성(Brand-Williams 등, 1995; Liang과 Kitts, 2014)으로 평가하였다. 추출액 100 μL에 0.2 mM DPPH(in ethanol) 1 mL를 첨가하여 교반한후 200 μL씩 cell에 분주하였다. 이를 525 nm에서 5분 간격으로 24시간 동안 흡광도(EON microplate spectrophotometer, Biotek Instruments)를 측정함으로써 반응시간에 따른 각 추출물의 라디칼 소거 활성을 모니터링하였다. 추출물 대신 증류수를 사용하여 동일하게 반응시킨 군을 blank로 사용하였으며, 양성대조군으로는 0.2 mM 갈산을 사용하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 blank 대비 추출물에 의해 감소한 흡광도의 %로 계산하였다.

## 크로켓 조리 및 시료 채취

크로켓은 Jo와 Surh(2020)의 방법에 따라 제조하였다 (Fig. 1B). 세척한 감자를 1시간 동안 찐 후 실온에서 식혀 껍질을 제거하고 으깨었다. 으깬 감자(30 g)를 구형으로 성형하고 계란물(4 g)과 밀가루(1.5 g)를 순차적으로 표면에고르게 도포하였다(밀가루 첨가군). 밀가루 1.5 g을 동량의당근분말로 대체하여 당근분말 첨가군을 제조하였다. 크로켓을 튀기기 전, 새 콩기름 40 mL를 첫 번째 분석 시료(Before)로 채취하였다(Fig. 1C). 콩기름 2.5 L를 넣고 180℃로 예열한 튀김기(Kitchen-Art, Incheon, Korea)에 크로켓5개를 동시에 넣어 1분 동안 가열하였다. 조리가 완료된 크로켓을 튀김 기름으로부터 건져내고 1시간 동안 식힌 후 약40 mL 튀김 기름을 시료로 채취하였다(Day 1 Frying). 튀

김기에 남아있는 기름은 재사용 전 다음의 과정을 거쳤다. 스테인리스 재질의 뚜껑으로 튀김기를 덮고 그 위를 알루미 늄 포일로 감싸 암소에서 24시간 동안 정치시켰다. 이후 필 터(ECO430(43C), Winners, Seoul, Korea)를 사용하여 부 유물을 걸러주고, 이 상태에서 다시 40 mL의 튀김 기름을 시료로 채취하였다(Day 2 Resting). 시료 채취 다음 날 기름 보충 없이 튀김기 속 기름을 재사용하여 동일한 과정으로 새 크로켓을 튀겼다. 1시간 냉각 후(Day 3 Frying), 그리고 24시간 지나 필터한 후(Day 4 Resting)에 각각 40 mL의 튀김 기름을 시료로 채취하였다. 크로켓 조리를 처음 시작한 날을 Day 1로 하여 10일째 되는 날 튀김 기름을 3회째 재사 용하여 새 크로켓을 튀겼다. 동일한 방식으로 'Day 10 Frying', 'Day 11 Resting' 튀김 기름을 각각 40 mL씩 채취 하였다. 모든 과정은 군별로 3회 반복하였다. 모든 기름 시 료(Fig. 1C)는 채취 직후 색도를 측정하였고, 이후의 보관과 정에서 산화가 진행되지 않도록 BHT(0.1 g)를 첨가하였다. 시료는 갈색 바이알에 담겨 Teflon-lined cap으로 밀봉된 채 분석 전까지 4°C에서 냉장 보관되었다.

#### 튀김유지의 색도 측정

기름 시료 40 mL를 5.25-inch 유리 cell(13.8×1.9×3.9 cm³)에 담아 Lovibond 색채계(Lovibond PFX880/L, The Tintometer Ltd., Amesbury, UK)로 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)를 측정하였다. 또한 기름 시료를 모두 채취한 이후에는 각 시료의 일정량을 test tube에 담아 외관을 카메라(iPhone 11, Apple, Cupertino, CA, USA)로 촬영하였다.

#### 튀김유지의 수분함량

유지의 수분함량은 극소량의 수분을 화학적 방법으로 정량하는 Karl Fisher 적정법을 따랐다(Ruiz, 2004). Karl Fisher 적정장치(702 SM Titrino Metrohm, Buchi)의 vessel에 methanol: isopropyl alcohol(2:1, v/v) 50 mL를 넣고 기름 시료 1 g을 넣어준 후 KF 적정시약(Hydranal<sup>TM</sup> Composite 2)을 적가하여 소모된 KF 시약의 용량으로부터 수분함량을 산출하였다.

## 튀김유지 속 conjugated diene(CD)과 conjugated triene (CT) 분석

기름 시료 0.03 g을 25 mL 부피 플라스크에 담고 10 mL isooctane으로 용해시켰다. 이후 isooctane을 추가하여 25 mL로 정용한 후 spectrophotometer(UV-1650, Shimadzu)로 CD와 CT에 대해 각각 233 nm와 268 nm에서 흡광도를 측정하였다.  $E=A/(C_L\times I)$ 에 대입하여 CD와 CT 값을 extinction value(E)로 나타내었다(Pegg, 2004). 이 식에서 A는 흡광도,  $C_L$ 은 시료 농도(g/100 mL), I은 cuvette의 경로 길이(path length, cm)였다.

#### 튀김유지 속 과산화물 분석

과산화물 분석은 과산화물이 ferrous 이온(Fe<sup>2+</sup>)을 ferric 이온(Fe<sup>3+</sup>)으로 산화시키고, 생성된 Fe<sup>3+</sup>이 무색의 ammonium thiocyanate를 자홍색으로 변색시키는 특성에 기 초한 ferric thiocyanate법을 사용하였다(Chapman과 Mackey, 1949). 먼저 FeCl<sub>2</sub> 용액을 제조하기 위해 0.0360 M FeSO<sub>4</sub>-7H<sub>2</sub>O 25 mL를 교반하면서 여기에 0.0328 M BaCl<sub>2</sub> 25 mL를 천천히 첨가하였다. 10 N HCl 1 mL를 첨가 하고 과량의 BaSO4가 가라앉을 때까지 충분히 기다린 후 여과(qualitative filter paper No.2, Whatman, Maidstone, England)하여 상층액을 FeCl<sub>2</sub> 용액으로 사용하였다. 기름 시료 0.01 g에 methanol: butanol(2:1, v/v) 3 mL 넣어 시 료를 용해시켰다. 여기에 15 µL의 ammonium thiocyanate (7.5 g/25 mL in water)를 넣고 5초간 vortexing 한 후 15 μL의 FeCl<sub>2</sub>를 넣고 다시 5초간 vortexing 하였다. 실온의 어두운 곳에서 20분 동안 정치시킨 후 510 nm에서 흡광도 (UV-1650, Shimadzu)를 측정하였다. Cumene hydroperoxide를 표준물질로 한 정량곡선( $R^2$ =0.9934)으로부터 기름 속 과산화물 함량을 산출하였다.

#### p-Anisidine value(p-AV) 측정

기름 산화의 2차 분해생성물인 α,β-unsaturated aldehydes 함량은 AOCS 공인 방법인 p-anisidine test로 확인 하였다(Tompkins와 Perkins, 1999). 기름 1 g에 isooctane 25 mL를 첨가하여 용해시키고 이를 시료용액으로 하였다. 이 시료용액 5 mL에 glacial acetic acid 1 mL를 넣어 교반 시킨 후 350 nm에서 흡광도(A<sub>0</sub>)를 측정하였다(UV-1650, Shimadzu). 또한 시료용액 5 mL(실험군)와 isooctane 5 mL를 각각의 시험관에 따로 취하고 암소에서 제조한 panisidine 용액(0.25 g p-anisidine/100 mL glacial acetic acid) 1 mL를 두 시험관에 똑같이 첨가하여 혼합하였다. 이 2개의 혼합용액을 23°C 진탕수조(BS-21, Jeio Tech)에 서 10분 동안 암반응 시킨 후 350 nm에서 흡광도(각각 A<sub>1</sub>, A2)를 측정하였다. Isooctane을 blank로 사용하였다. p-Anisidine value(p-AV)는 p-AV=25[1.2( $A_1$ - $A_2$ )- $A_0$ ]/m 으로 결정하였다. 이때 m은 실험군에 사용된 시료용액의 질 량(mass)이다.

## 자료의 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. 튀김 기름의 수분 및 산화 지표 사이의 상관성은 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

#### 당근분말과 밀가루 이화학적 특성 비교

일반성분 분석 결과(Table 1), 당근분말의 수분함량은 14.3%로 밀가루(13.0%)의 1.1배였다. 무기질의 총량인 조회분은 4.4%로 밀가루(0.4%)의 11배 수준이었으며(P0.001), 특히 지방산화와 관련하여 분석한 전이금속인 구리(Cu)와 철(Fe) 함량은 당근분말이 각각 6.1 mg/kg, 134.9 mg/kg으로 밀가루 속 구리(2.1 mg/kg), 철(34.7 mg/kg)보다 유의적(P<</td>
(0.01)으로 높았다. 튀김(deep-frying) 중 분 말로부터 기름으로 물질 이동이 일어날 가능성을 고려하면 두 분말은 수분함량이 유사해 튀김유지 속에서 형성될 association colloids 생성량은 비슷하겠지만, 두 전이금속이 수용성이므로 association colloids 내부의 물 입자에 탑재될 전이금속의 함량은 차이가 있을 것으로 예상되었다.

당근분말의 총 환원력은 추출용매의 극성지수에 따라 차이를 나타내었다(Table 1). 극성지수가 상대적으로 가장 높았던 물(PI=9.0) 추출물에서 총 환원력은 갈산당량으로 1,514 μg/g으로 밀가루 (355 μg/g)보다 4.3배 유의적(P<0.01)으로 높았다. 극성지수가 5.1인 에탄올을 추출용매로 하였을 때 당근의 총 환원력은 705 μg/g으로 물 추출물의 47% 수준이었으나 여전히 밀가루(275 μg/g)보다 유의적(P<0.001)으로 높았다. 반면 극성지수가 0인 대표적 비극성용매인 핵산으로 추출했을 때 당근의 총 환원력(2 μg/g)은물 추출물의 0.1% 수준으로 매우 낮았으며, 심지어 밀가루추물물(60 μg/g)보다도 유의적(P<0.05)으로 낮았다. 이 결과는 당근분말에 우수한 총 환원력을 부여하는 항산화 물질

대부분이 극성을 띠고 있으며, 비극성 항산화 물질에 의한 총 환원력 기여도는 무시할 수준으로 낮음을 보여주었다. 한편 DPPH 라디칼 소거 활성에서(Fig. 2), 당근분말의 극성 추출물은 탁월한 라디칼 소거 활성을 보여주었으며 총 환원 력과 높은 상관성(p=0.9171)을 보여주었다. 그러나 헥산 추 출물의 라디칼 소거 활성은 낮은 수준(~20%)으로 두 분말 사이에 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 본 연구에서 당근분 말은 4.5 μg/g의 β-카로틴을 함유하고 있었고(Table 1), β-카로틴은 에탄올뿐 아니라 헥산에 대한 용해도가 높으며 (Wikipedia, 2021) 공액이중결합을 지녀 수소공여능과 전 자공여능이 탁월하다(Choe와 Min, 2009). 그럼에도 불구 하고 당근분말의 헥산 추출물은 총 환원력과 라디칼 소거 활성이 미미한 수준이었다. 이는 당근분말의 항산화 활성이 β-카로틴 이외에 상당 부분 극성 항산화제에 의존하고 있음 을 보여주고 있다. 실제로 Chatatikun과 Chiabchalard (2013)가 수행한 선행연구에서도 당근은 극성 추출물이 비 극성 추출물보다 총 페놀 및 플라보노이드 함량, 라디칼 소 거 활성 등 항산화 활성이 뚜렷이 높은 것으로 확인되었다. Bulk oil 상태에서는 association colloids 내부에 탑재될 수 있는 극성 항산화제가 산화 지연에 더 효과적이라는 polar paradox 이론을 고려하면(Shahidi와 Zhong, 2011), 물 및 에탄올과 같은 극성 추출물에서 높은 항산화력이 확인된 당근분말은 고온의 가열 산화가 진행되는 튀김에서 효과적 인 항산화 원료로 사용될 가능성을 시사해주었다.

한편 색차계로 측정한 두 분말의 색 특성은 당근분말이 밀가루보다 명도(L)가 유의적(P<0.001)으로 낮았으며 적색 도(a)와 황색도(b)는 유의적(P<0.001)으로 높았다. 이러한

**Table 1.** Proximate composition, transition metals, antioxidants, and color properties of carrot powder compared with those of wheat flour<sup>1)</sup>

Composition / Property	Carrot powder	Wheat flour	Significance <sup>2)</sup>
Proximate composition (%)			
Moisture	$14.3 \pm 0.2$	$13.0\pm0.0$	***
Crude ash	$4.4\pm0.6$	$0.4 \pm 0.0$	***
Crude fat	1.5±0.5	$0.9 \pm 0.0$	NS
Crude protein	5.1±0.0	$8.4 \pm 0.1$	***
Carbohydrate <sup>3)</sup>	74.7	77.3	_
Transition metal (mg/kg)			
Cu	$6.1 \pm 0.4$	2.1±0.4	***
Fe	134.9±16.1	34.7±13.3	**
Total reducing capacity (µg/g as gallic acid	d equivalents)		
Water extract	1,514±223	355±32	**
Ethanol extract	705±24	275±3	***
Hexane extract	2±0	60±27	*
β-Carotene ( $μg/g$ )	4.5±0.3	$1.2 \pm 0.0$	***
Color property			
Lightness (L)	80.56±0.07	93.55±0.01	***
Redness (a)	$5.18\pm0.05$	$-0.73\pm0.00$	***
Yellowness (b)	$21.81\pm0.03$	$8.50\pm0.00$	***

<sup>1)</sup>Values are expressed as the mean±standard deviation of triplicate.

 $<sup>^{2)*}</sup>$ , \*\*, and \*\*\* mean that the values within a same row are significantly different at P < 0.05, P < 0.01, and P < 0.001, respectively. NS means 'not significant'.

<sup>&</sup>lt;sup>3)</sup>Carbohydrate content was calculated by a following equation; 100 - (moisture + protein + ash + fat).

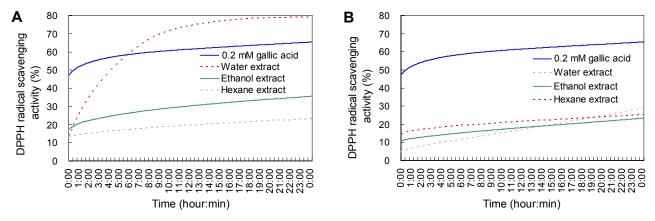


Fig. 2. DPPH radical scavenging activity of carrot powder (A) and wheat flour (B) as a function of reaction time. The activity was tested for the water, ethanol, and hexane extracts from each powder. 0.2 mM gallic acid was used as a positive control.

분말의 색 특성은 색소의 용해도와 안정성에 따라 튀김 중 유지의 색 변화에 영향을 끼칠 것으로 예상하였다.

#### 당근분말 도포에 따른 튀김 기름의 색과 수분함량 변화

당근분말을 도포한 크로켓 튀김에 3회까지 반복 사용한 기름의 외관은 Fig. 1C와 같았다. 밀가루로 도포한 대조군 크로켓을 튀긴 기름과 비교할 때, 사용횟수가 증가함에 따라 육안으로 관찰된 기름의 색은 황색도가 뚜렷이 증가하는 경 향을 나타내었다. 이는 Lovibond 색차계로 측정한 결과와 도 일치하였다(Fig. 3A). 튀김 전 기름의 황색도는 43.24에 서 대조군은 65.25까지, 당근분말군은 73.83까지 증가하였 으며, 특히 동일시점 모두에서 당근분말군은 대조군보다 황 색도가 유의적(P<0.001)으로 높았다. 명도(L)와 적색도(a) 의 경우(Fig. 3B) 대조군은 변화가 뚜렷하지 않았지만, 당근 분말군은 튀김 전과 비교할 때 명도는 94.70에서 55.79로 유의적(P<0.001)으로 감소하였고 적색도는 -10.30에서 9.89로 유의적(P<0.001)으로 증가하였다. 기름 재사용 전 필터링한 후(Resting 시료들) 색을 측정하였을 때, 당근분말 군은 명도와 적색도의 변화가 상쇄되는 특성을 보였다. 이는 크로켓 표면에 도포된 당근분말이 튀김 중 기름으로 일부

이행되고, 필터링으로 걸러지면서 색 변화폭이 완화된 것으 로 해석할 수 있다. 그럼에도 불구하고 필터링 처리된 기름 역시 사용횟수가 증가함에 따라 명도는 감소하고 적색도는 증가하는 동일한 경향을 나타내었다. 이러한 튀김 기름의 색 변화는 (i) 고온의 튀김 중 기름의 가열 산화로 중합체가 형성 되었거나, (ii) 당근분말 고유의 색 특성에서 기인할 수 있다. 지방은 고온 가열 중 퍼옥시(ROO·) 라디칼이 일시에 다량 생성될 수 있고, 이때 인접한 라디칼 사이의 반응으로 갈색 의 중합체가 형성되어 기름의 색에 영향을 주는 것으로 보고 되었다(Koh 등, 2015). 한편, 당근분말이 밀가루보다 명도 (P<0.001)가 낮고, 적색도(P<0.001)와 황색도(P<0.001) 가 유의적으로 높았던 사실을 고려하면(Table 1), 튀김 중 당근분말의 색소 성분이 기름으로 용출되어 기름 색을 변화 시켰을 가능성이 있다. 실제로 Jo와 Surh(2020)는 동량의 카레가루를 튀김의 내부와 외부에 각각 처리했을 때, 외부에 도포한 경우에만 사용횟수에 비례하여 황색도와 적색도가 증가하는 현상을 보고함으로써 튀김 중 도포된 분말에서 기 름으로 물질 이동이 실질적으로 일어나고 있음을 확인해주 었다.

튀김 전 신선한 콩기름은 수분함량이 20.0 mg%(200

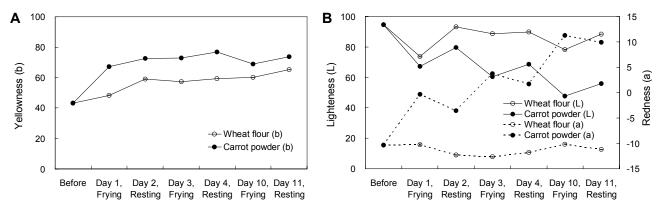


Fig. 3. Yellowness (A) and lightness and redness (B) of frying oils used for the preparation of potato croquette coated either wheat flour or carrot powder depending on frying frequency.

738 이지예·서정희

**Table 2.** Moisture contents of frying oils used for the preparation of the croquette coated with either wheat flour or carrot powder depending on frying frequency<sup>1)</sup>

Frying frequency	Carrot powder (mg%)	Wheat flour (mg%)	Significance <sup>2)</sup>	
Before	$20.0 \pm 1.0^{d}$	$20.0 \pm 1.0^{e}$	NS	
Day 1 Frying	$39.0\pm5.2^{c}$	45.3±2.1°	NS	
Day 2 Resting	$48.3 \pm 1.5^{b}$	54.3±2.1 <sup>b</sup>	*	
Day 3 Frying	$47.0 \pm 1.0^{b}$	$42.0\pm1.7^{c}$	*	
Day 4 Resting	$59.0\pm2.0^{a}$	56.0±3.5 <sup>b</sup>	NS	
Day 10 Frying	$34.3\pm2.1^{\circ}$	$33.7 \pm 1.5^{d}$	NS	
Day 11 Resting	$58.7\pm3.5^{a}$	$73.7 \pm 7.0^{a}$	*	
Significance <sup>3)</sup>	***	***		

<sup>1)</sup> Values are expressed as the mean±standard deviation of triplicate.

ppm)였다(Table 2). 크로켓을 튀긴 후 채취한 기름은 수분 함량이 대조군 33.7~73.7 mg%, 당근분말군 34.3~59.0 mg%로 기름 재사용 횟수에 비례하지는 않았지만 튀김 전보 다 유의적(P<0.001)으로 증가하였다(Table 2). 이 현상은 튀김 중 일어나는 물과 기름의 교환반응 결과이며, 튀김 온 도(180°C)는 물의 끓는점보다 높아 튀김 과정 중 물 증발도 함께 일어나므로 튀김 횟수와 기름의 수분함량 사이에는 상 관성이 낮은 것으로 알려져 있다(Koh와 Surh, 2015). 한편 Laguerre 등(2011)은 시판 식물성 기름은 수분함량이 20.0 ~40.0 mg% 정도이며, 모노글리세라이드, 다이글리세라이 드, 인지질, 지방산 등 표면활성이 큰 물질을 소량이라도 함 유하고 있으므로 이 조건에서는 기름 내부에 association colloids가 충분히 형성된다고 보고한 바 있다. 또한 Rossell(1988)는 튀김재료 속 전이금속이 기름으로 용출되는 데 수분이 중요하게 작용하고 있음을 보고하였다. 두 선행연 구를 고려하면 본 연구 결과는 (i) 대조군과 당근분말군에서 채취한 기름 시료 내부에 association colloids가 형성되었 으며, (ii) 각 분말에서 용출된 극성물질이나 전이금속 등 친 수성 물질은 association colloids 내부의 물 입자에 탑재되 었을 가능성을 보여주었다.

#### 당근분말 도포가 튀김 기름의 일차산화물 생성에 미친 영향

기름의 일차산화물로는 지방산화 과정에 근거하여 생성 순서에 따라 CD, CT와 과산화물을 정량하였다. 채취한 튀김 기름의 CD와 CT 함량은 Table 3과 같았다. 기름의 사용 횟수가 증가함에 따라 CD의 경우 튀김 전 3.11에서 당근분 말군은 4.11까지, 대조군은 4.28 수준까지 증가하였다(PK 0.001). CT 역시 당근분말군이 1.10~1.41, 밀가루군이 1.10~1.45로 CD와 유사하게 증가하는 경향을 보였으며(PK 0.001), 다만 튀김 기름으로 사용한 콩기름의 주요 지방산이리놀레산이므로(Surh와 Kwon, 2002) CD 생성 수준이 CT 보다 높은 특성을 나타내었다. 한편 동일시점에서 당근분말군의 CD와 CT 값은 대조군보다 전반적으로 낮은 수준을나타내었으나 유의적 차이는 아니었다.

반면 다음 단계의 일차산화물인 과산화물에서는 당근분말군과 대조군 사이에 뚜렷한 차이가 관찰되었다(Table 4). 당근분말군의 과산화물 함량은 튀김 전 55.2 μg/g에서 1회튀김 후 ~70 μg/g으로 유의적(P<0.001)으로 증가하였다. 이후 2회, 3회 기름을 재사용하는 동안에는 이보다 낮은 ~60 μg/g 수준을 유지하였다. 이와 비교해 대조군에서는 동일시점 모두에서 당근분말군보다 유의적(P<0.001)으로 많은 함량의 과산화물이 생성되었으며, 특히 3회 재사용 시에는 과산화물 함량이 188.4 μg/g으로 튀김 전 및 당근분말

**Table 3.** Levels of conjugated diene and triene in frying oils used for the preparation of the croquette coated with either wheat flour or carrot powder depending on frying frequency<sup>1)</sup>

F	Conjugated diene			Conjugated triene		
Frying frequency	Carrot powder	Wheat flour	Significance <sup>2)</sup>	Carrot powder	Wheat flour	Significance <sup>2)</sup>
Before	3.11±0.12°	3.11±0.12 <sup>d</sup>	NS	1.10±0.03°	1.10±0.03 <sup>d</sup>	NS
Day 1 Frying	$3.24\pm0.18^{bc}$	$3.66\pm0.07^{c}$	*	$1.16\pm0.08^{bc}$	$1.28\pm0.04^{bc}$	NS
Day 2 Resting	$3.09\pm0.09^{c}$	$3.58\pm0.34^{c}$	NS	$1.11\pm0.06^{c}$	$1.25\pm0.11^{c}$	NS
Day 3 Frying	$2.97\pm0.23^{c}$	$3.83\pm0.09^{bc}$	NS	$1.07\pm0.16^{c}$	$1.33\pm0.02^{bc}$	NS
Day 4 Resting	$3.38\pm0.26^{bc}$	$3.65\pm0.33^{c}$	NS	$1.20\pm0.09^{bc}$	$1.24\pm0.10^{c}$	NS
Day 10 Frying	$3.72\pm0.06^{ab}$	$4.14\pm0.14^{ab}$	NS	$1.29\pm0.14^{ab}$	$1.38\pm0.05^{ab}$	NS
Day 11 Resting	$4.11\pm0.19^{a}$	$4.28\pm0.05^{a}$	*	$1.41\pm0.02^{a}$	$1.45\pm0.01^{a}$	NS
Significance <sup>3)</sup>	***	***		***	***	

<sup>1)</sup> Values are expressed as the mean±standard deviation of triplicate.

 $<sup>^{2)*}</sup>$  means that the values within a same row are significantly different at P<0.05. NS means 'not significant'.

 $<sup>^{3)****}</sup>$  means that the values within a same column are significantly different at P<0.001.

<sup>2)\*</sup> means that the values within a same row are significantly different at P<0.05. NS means 'not significant'. means that the values within a same column are significantly different at P<0.001.

**Table 4.** Hydroperoxides contents of frying oils used for the preparation of the croquette coated with either wheat flour or carrot powder depending on frying frequency<sup>1)</sup>

		<u> </u>	
Frying frequency	Carrot powder $(\mu g/g)$	Wheat flour $(\mu g/g)$	Significance <sup>2)</sup>
Before	$55.2\pm3.0^{c}$	$55.2\pm3.0^{g}$	NS
Day 1 Frying	$70.1\pm2.3^{a}$	127.8±10.1 <sup>d</sup>	**
Day 2 Resting	71.6±3.1°	$116.2\pm0.7^{e}$	***
Day 3 Frying	$60.6\pm3.3^{b}$	$87.0\pm2.5^{\rm f}$	***
Day 4 Resting	$64.4\pm1.6^{b}$	161.8±10.5 <sup>b</sup>	***
Day 10 Frying	$60.8\pm2.9^{b}$	$188.4\pm3.9^{a}$	***
Day 11 Resting	$61.7\pm3.3^{b}$	$154.0\pm2.5^{c}$	***
Significance <sup>3)</sup>	***	***	

<sup>1)</sup> Values are expressed as the mean±standard deviation of triplicate.

군보다 3배 이상 높았다. 지방산화 과정을 과산화물을 기준 으로 하여 (i) 과산화물 생성단계와 (ii) 과산화물 분해단계로 구분할 때(McClements와 Decker, 2008), 이 결과는 당근 분말이 과산화물 생성단계를 지연 혹은 억제하는 데 효과가 있었음을 시사해주었다. 라디칼 생성을 경유하여 과산화물 이 형성되는 기전을 고려하면, 당근분말에서 관찰된 과산화 물 생성 저해 효과는 당근분말의 우수한 라디칼 소거 활성으 로 해석할 수 있다. 특히 두 분말의 비극성 추출물은 라디칼 소거 활성이 낮고 또한 서로 유의적으로 다르지 않았지만, 극성 추출물은 당근분말의 라디칼 소거 활성이 밀가루보다 뚜렷이 높았으므로(Fig. 2) 관찰된 효과는 당근분말의 극성 추출물에서 기인한 것으로 해석할 수 있다. 실제 크로켓 튀 김 과정과 관련지어 단계별로 해석하면, 첫째 180°C 고온에 서 가열된 기름은 가열 산화로 인해 트리글리세라이드로 (triglyceride)부터 유리지방산이 생성되면서 모노글리세라 이드, 다이글리세라이드와 같은 표면활성이 큰(surfaceactive) 물질을 함께 생성하였다(Laguerre 등, 2015). 둘째, 당근분말로 도포한 크로켓을 가열된 기름에서 튀기는 동안 분말로부터 수분과 극성 항산화 성분들이 함께 기름으로 빠 져나오고, 이 주변을 다이글리세라이드와 모노글리세라이 드가 둘러싸 역 마이셀 구조의 association colloids를 형성 하였다. Polar paradox 이론에 따르면 기름 내부에서 산화 가 일어나는 지점은 물과 기름의 경계면, 즉 association colloids의 계면이므로 항산화제 역시 이 지점에 위치해야 산화를 지연할 수 있다(Frankel 등, 1994; Shahidi와 Zhong, 2011). 따라서 association colloids 내부에 탑재할 극성 항 산화 성분이 많았던 당근분말이 기름 산화의 개시단계에서 생성된 지방 라디칼에 수소를 직접 공여해줌으로써 과산화 물 생성을 억제한 것으로 해석하였다.

**Table 5.** *p*-Anisidine value (*p*-AV) of frying oils used for the preparation of potato croquette coated with either wheat flour or carrot powder depending on frying frequency<sup>1)</sup>

Frying frequency	Carrot powder	Wheat flour	Significance <sup>2)</sup>
Before	$0.0\pm0.0^{d}$	0.0±0.0 <sup>e</sup>	NS
Day 1 Frying	$5.4\pm0.5^{c}$	$6.0\pm0.3^{d}$	NS
Day 2 Resting	$5.7\pm0.2^{c}$	$6.3\pm0.5^{d}$	NS
Day 3 Frying	$6.7\pm0.5^{b}$	$10.1\pm0.1^{c}$	***
Day 4 Resting	12.3±0.3 <sup>a</sup>	$14.2\pm0.9^{a}$	*
Day 10 Frying	$12.6\pm0.1^{a}$	$14.3\pm1.0^{a}$	NS
Day 11 Resting	$11.9\pm0.6^{a}$	$11.2\pm0.3^{b}$	NS
Significance <sup>3)</sup>	***	***	

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup>Values are expressed as the mean±standard deviation of triplicate.

#### 당근분말 도포가 튀김 기름의 이차산화물 생성에 미친 영향

지방산화 중 과산화물이 분해되어 생성되는 대표적 이차 산화물인 α,β-unsaturated aldehydes를 총체적으로 반영 한 p-AV 값은 Table 5와 같다. 두 분말군 모두 기름 사용횟 수가 증가할수록 p-AV 값이 유의적(P<0.001)으로 증가하 여 산화가 지속하고 있음을 보여주었다. 그러나 과산화물 생성단계에서 당근분말군이 보여준 산화 억제 효과와 달리 과산화물 분해단계를 시사하는 p-AV 값은 두 분말군 사이 에 뚜렷한 차이가 없었다. 이는 철과 구리 등의 전이금속이 과산화물 분해단계의 촉진인자임을 고려할 때(McClements와 Decker, 2008), 당근분말에서 확인된 높은 수준 의 철 함량과 연관될 수 있다(Table 1). 당근분말군은 대조 군보다 과산화물 생성량이 낮은 수준이었지만, association colloids의 내부에 위치할 수 있는 철과 구리 함량은 대조군 보다 높았다. 따라서 대조군과 비교할 때 당근분말군에서는 association colloids 내부의 물 입자에 상당량의 철이 탑재 되고(Rossell, 1988), 이 철은 함께 탑재된 극성 항산화제에 의해 산화(Fe<sup>3+</sup>), 환원(Fe<sup>2+</sup>)을 반복하면서 계면에 형성된 과산화물(ROOH)을 퍼옥시 라디칼(ROO·) 또는 알콕시 라 디칼(RO·)로 활발하게 분해함으로써 이차산화물 생성을 촉 진한 것으로 해석하였다.

피어슨 상관분석 결과(Table 6), p-AV 값은 일차산화물인 CD(p=0.530, P<0.01), CT(p=0.474, P<0.01), 과산화물(p=0.403, P<0.05) 생성량과 모두 유의적인 양의 상관성을 나타내었다. 일반적으로 기름은 산화될수록 고분자 중합반응과 함께 갈변되므로 명도는 낮아지고 적색도는 증가하는 특성을 보인다(Koh 등, 2015). 그러나 본 연구에서는 과산화물 생성량이 명도와는 양의 상관성(p=0.632, P<0.001), 적색도(p=-0.750, P<0.001), 황색도(p=-0.638, P<0.001) 와는 음의 상관성을 보여 기름이 어둡고 적황색을 떨수록 과산화물 생성량이 낮은 것으로 나타났다. 이 결과는 당근분

cate.  $^{2)**}$  and  $^{***}$  mean that the values within a same row are significantly different at P<0.01 and P<0.001, respectively. NS means 'not significant'.

<sup>&</sup>lt;sup>3)\*\*\*</sup> means that the values within a same column are significantly different at *P*<0.001.

cate.  $^{2)*}$  and  $^{***}$  mean that the values within a same row are significantly different at P<0.05 and P<0.001, respectively. NS means 'not significant'.

<sup>&</sup>lt;sup>3)\*\*\*</sup> means that the values within a same column are significantly different at *P*<0.001.

740 이지예·서정희

**Table 6.** Pearson correlation coefficient between levels of the lipid oxidation products and moisture measured for frying oils used in this study<sup>1)</sup>

till stady							
	Redness	Yellowness	Moisture	CD	CT	ROOH	p-AV
Lightness	-0.942***	-0.538**	0.336*	0.165	0.121	0.632***	-0.003
Redness		$0.744^{***}$	-0.158	-0.211	-0.165	$-0.750^{***}$	0.023
Yellowness			0.207	-0.288	-0.265	$-0.638^{***}$	0.081
Moisture				0.228	0.229	0.124	0.143
CD					$0.992^{***}$	$0.493^{**}$	$0.530^{**}$
CT						$0.414^{*}$	$0.474^{**}$
ROOH							$0.403^{*}$

<sup>1)</sup>CD, CT, ROOH, and *p*-AV stand for conjugated diene, conjugated triene, hydroperoxides, and *p*-anisidine value, respectively.

\*, \*\*, and \*\*\* mean that there are significant correlations between two variables at *P*<0.05, *P*<0.01, and *P*<0.001, respectively.

말군의 기름 색 변화에는 기름 산화에 의한 갈변현상보다 당근분말로부터 용출된 성분들이 더 주요하게 관여했음을 시사해주었다.

## 요 약

튀김 기름의 산화 방지에 효과적인 항산화 식품소재의 특성 을 규명하기 위해 크로켓 튀김 레시피 중 밀가루(대조군)를 당근분말로 대체한 조리 실험을 설계하였다. 극성지수가 각 각 0, 5.1, 9.0인 n-헥산, 에탄올, 물을 용매로 한 비극성에 서 극성까지의 범위를 포괄하여 분말 추출물을 준비하였다. 밀가루와 비교해 당근분말의 특징은 다음과 같았다. (i) 물 및 에탄올로 얻은 극성 추출물의 총 환원력과 DPPH 라디칼 소거 활성은 밀가루보다 유의적으로 높았다. 반면 (ii) 비극 성 추출물의 라디칼 소거 활성은 밀가루와 유의적으로 다르 지 않았다. (iii) 수분함량은 밀가루와 유사했으나(1.1배), 전 이금속인 철과 구리 함량은 3~4배 유의적으로 높았다. 크로 켓 튀김 중 기름 사용 횟수가 증가함에 따라 기름 속 수분함 량은 20.0 mg%에서 58.7~73.7 mg%까지 유의적으로 증가 하여 대조군과 당근분말군 모두 튀김 기름으로 수분이 용출 되어 내부에 association colloids가 생성되었을 가능성을 시사하였다. 크로켓 표면을 밀가루(대조군) 대신 당근분말 로 도포한 경우 튀김 기름 속 과산화물 함량은 유의적으로 감소하였다. 반면 이차산화물 생성 지표인 *p*-AV 값은 뚜렷 한 차이를 나타내지 않았다. 이 결과는 첫째, 튀김 중 당근분 말의 수분이 기름으로 용출될 때 물에 용해될 수 있는 극성 항산화제와 전이금속이 함께 용출되었으며, 따라서 둘째, 기 름 속에 형성된 association colloids 내부 물 입자에는 극성 항산화제와 함께 전이금속이 탑재될 수 있다. 셋째, 당근분 말의 극성 추출물에서 확인된 탁월한 라디칼 소거 활성과, 기름 산화는 association colloids 계면에서 일어난다는 사 실을 고려할 때, association colloids 속에 탑재된 극성 항 산화 성분은 기름 산화 단계 중 라디칼을 경유하여 생성된 과산화물을 효과적으로 저해할 수 있었다. 반면 당근분말은 철과 구리 등 전이금속 함량이 높아 과산화물의 분해과정을 촉진함으로써 이차산화물 생성단계는 저해할 수 없었다. 본 연구 결과는 극성 항산화 성분을 상당량 보유한 식품소재가 비극성 물질인 기름의 산화를 효과적으로 지연할 수 있다는 'polar paradox' 이론을, 기름을 열전달 매체로 한 튀김 조리에서 실험적으로 확인해주었다. 또한 실제 조리하에서는 식품소재 속 항산화 성분뿐 아니라 수분, 전이금속 등 산화에 영향을 줄 수 있는 다른 성분의 분포에 따라 기름 산화과정 각 단계의 억제 여부가 결정될 수 있음을 보여주었다.

## 감사의 글

이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2020R1F1A1073 688).

#### **REFERENCES**

AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. 1990. Method 984.13.

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.

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci Technol. 1995. 28:25-30.

Chapman RA, Mackay K. The estimation of peroxides in fats and oils by the ferric thiocyanate method. J Am Oil Chem Soc. 1949. 26:360-363.

Chatatikun M, Chiabchalard A. Phytochemical screening and free radical scavenging activities of orange baby carrot and carrot (*Daucus carota* Linn.) root crude extracts. J Chem Pharm Res. 2013. 5:97-102.

Choe E, Min DB. Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2009. 8:345-358.
Frankel EN, Huang SW, Kanner J, German JB. Interfacial phenomena in the evaluation of antioxidants: bulk oils vs emulsions. J Agric Food Chem. 1994. 42:1054-1059.

Ho CT, Rafi MM, Ghai G. Bioactive substances: nutraceuticals and toxicants. In: Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR, editors. Fennema's Food Chemistry. 4th ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2008. p 751-779.

Jo H, Surh J. Effects of curry powder addition and frying oil reuse on the oxidative stability of deep-fried oils used in croquette preparation. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2020. 49: 493-510.

Koh E, Ryu D, Surh J. Ratio of malondialdehyde to hydro-

- peroxides and color change as an index of thermal oxidation of linoleic acid and linolenic acid. J Food Process Preserv. 2015. 39:318-326.
- Koh E, Surh J. Food types and frying frequency affect the lipid oxidation of deep frying oil for the preparation of school meals in Korea. Food Chem. 2015. 174:467-472.
- Laguerre 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.
- Laguerre M, Chen B, Lecomte J, Villeneuve P, McClements DJ, Decker EA. Antioxidant properties of chlorogenic acid and its alkyl esters in stripped corn oil in combination with phospholipids and/or water. J Agric Food Chem. 2011. 59:10361-10366.
- Lee JH, Kim MR, Min HS, Lee YE, Song ES, Kwon SJ, et al. The food & principle of cookery, a scientific approach. 4th ed. Gyomoon Publishers, Paju, Korea. 2019. p 17-49.
- Li M, Jang GY, Lee SH, Hwang SG, Sin HM, Kim HS, et al. Lutein, β-carotene, and polyphenol contents of sweet potato leaves under different extraction conditions. J Korean Soc Food Sci Nutr. 2017. 46:1343-1349.
- 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. 4th ed. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2008. p 155-216.
- Pegg RB. Lipid oxidation/stability. In: Wrolstad RE, Acree TE, Decker EA, Penner MH, Reid DS, Schwartz SJ, et al., editors. Handbook of Food Analytical Chemistry. John Wiley & Sons,

- Inc., Hoboken, NJ, USA. 2004. p 513-564.
- Rossell JB. Industrial frying process. Grasas Aceites. 1988. 49: 282-295.
- Ruiz RP. Karl Fischer titration. In: Wrolstad RE, Acree TE, Decker EA, Penner MH, Reid DS, Schwartz SJ, et al., editors. Handbook of Food Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. 2004. p 13-16.
- 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. Method Enzymol. 1999. 299:152-178.
- Snyder LR. Classification of the solvent properties of common liquids. J Chromatogr A. 1974. 92:223-230.
- Surh J, Kwon H. Quantification of 4-hydroxyalkenals in oils consumed in Korea. Korean J Food Sci Technol. 2002. 34: 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.
- Wikipedia. *beta*-Carotene. 2021 [cited 2021 Jan 31]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Beta-Carotene
- Zaghi AN, Barbalho SM, Guiguer EL, Otoboni AM. Frying process: from conventional to air frying technology. Food Rev Int. 2019. 35:763-777.