

조리방법이 고구마 칩의 품질특성과 항산화 활성에 미치는 영향

정중석 · 이유나 · 문보경¹ · 이조원^{2†}

중앙대학교 식품영양학과 대학원생, ¹중앙대학교 식품영양학과 교수, ²중앙대학교 식품영양학과 연구전담교수

Effects of cooking methods and conditions on the quality characteristics and antioxidant activity of sweet potato chips

Jongseok Jung · Yoon Lee · BoKyung Moon¹ · Jo-Won Lee^{2†}

Master Student, Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong, 17546, Korea

¹Professor, Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong, 17546, Korea

²Research Professor, Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong, 17546, Korea

Abstract

Purpose: This study examined the effects of different cooking methods on the quality characteristics of sweet potato chips. **Methods:** Sweet potatoes were sliced into 2 mm-thick pieces and cooked either by deep frying at 180 °C for 90 s or by air-frying under various temperature and time conditions. The resulting chips were evaluated for moisture content, color, texture, and antioxidant activity. **Results:** The moisture content of the sweet potato chips was highest in the control group at 66.04%, whereas all cooked samples had moisture contents of 0.29%~3.08%. In both deep-frying (DF) and air-frying (AF), the L* and b* values of the sweet potato chips decreased significantly as the cooking temperature and time increased ($p<0.05$). In addition, the total polyphenol content (TPC) and DPPH radical scavenging activity increased with higher temperatures and longer cooking times ($p<0.05$). **Conclusion:** The quality and antioxidant properties of sweet potato chips are substantially affected by cooking methods and conditions. Air-fryer cooking has been identified as a suitable method for manufacturing sweet potato chips. Nevertheless, it is necessary to establish appropriate heating temperature and time conditions that account for the quality characteristics, bioactive compound contents, and antioxidant activity.

Key words: sweet potato chips, cooking method, air-frying, quality characteristics, antioxidant activities

I. 서론

고구마(*Ipomoea batatas*)는 쌀, 보리 등과 함께 우리나라의 주요 식량 작물 중 하나로, 환경의 영향을 적게 받아 재배가 용이하며 단위 면적당 수확량이 많아 경제성이 높은 작물로 알려져 있다(Lee YM 등 2012, Park SJ 등 2011). 또한,식이섬유, 단백질, 비타민 등 다양한 영양소를 포함하고 있으며, 품종에 따라 폴리페놀 화합물, 플라보노이드, 안토시아닌, β -carotene 등의 파이토케미컬(phytochemical) 성분을 함유하여 기능적 가치가 높다(Akpanunam MA & Abiante D 1991). 2022년 기준으로 한국에서는 약 15,000 ha에서 33만 톤의 고구마가 생산되었으며(KOSIS 2025), 굽기, 튀기기, 찌기 등의 간단한 조

리법을 통해 다양한 식품 원료로 활용되고 있다(Kim DC 등 2015).

조리에 사용되는 열전달 매체와 방법은 식품의 품질 특성에 영향을 미치며, 이러한 조리 방법의 차이는 최종 식품의 맛, 식감, 영양 성분에 중요한 변화를 가져온다(Chalil George J 등 2022, Yu X 등 2020). 전통적인 튀김 조리법(deep frying)은 180°C 고온에서 식품을 단시간 내에 조리하는 방법으로, 기름과 식품이 직접 접촉하여 열전도가 이루어지고 갈변 반응을 통해 바삭한 식감과 풍부한 맛을 만든다(Zaghi AN 등 2019). 그러나 조리 과정에서 식품의 수분이 증발되고 기름이 흡수되어 지방 함량이 증가하며, 이로 인해 높은 열량과 기름 사용에 따른 건강상의 우려가 제기되고 있다(Zaghi AN 등 2019). 최

[†]Corresponding author: Jo-Won Lee, Department of Food and Nutrition, Chung-Ang University, Anseong, 17546, Korea, Korea

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0561-1559>

E-mail: JOWon1217@cau.ac.kr



근 건강한 식품 소비 트렌드가 확산됨에 따라 저열량 및 저지방 식품에 대한 수요가 증가하고 있으며, 이에 전통적인 튀김 조리법의 대안으로 에어프라이어(air-fryer)와 같은 건강을 고려한 조리 방법이 주목받고 있다(Caetano PK 등 2017). 에어프라이어는 뜨거운 기름 대신 가열된 공기를 이용해 식품을 익히기 때문에 칼로리를 줄이면서도 바삭한 식감을 유지하는 장점이 있다(Chen X 등 2024). 이로 인해, 에어프라이어는 건강과 맛을 동시에 추구하는 현대 소비자들에게 인기를 얻고 있다(Lee J & Surh J 2024).

고구마에 관한 연구는 주로 과육의 색상에 따른 기능성 및 이화학적 특성에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며(Kim DC 등 2015, Kim KE 등 2010), 조리 전후에 따른 영양소, 당 함량, 생리활성 물질의 변화에 관한 연구도 보고되었다(Seo BY 등 2018, Kim S 등 2017, Jung JK 등 2013, Hwang IG 등 2014, Lee YM 등 2012). 그러나 이러한 연구들은 주로 조리 방법에 따른 영양소와 기능성 물질의 변화에 초점을 맞추고 있어, 조리 방법에 따른 고구마의 품질특성 변화에 대한 연구는 제한적이다. 따라서, 본 연구에서는 국내에서 생산되는 대표적인 고구마 품종인 노란색 과육의 베니하루카(Beni-Haruka)를 활용하여 고구마 칩으로 제조하고, 에어프라이어와 전통적인 튀김 조리법에 따른 고구마 칩의 이화학적 품질 특성을 비교하고자 한다. 이를 위해 수분 함량, 텍스처, 색 및 환원당 함량을 측정하였으며, 고구마가 함유한 항산화 물질의 특성을 평가하기 위해 총 폴리페놀 함량과 DPPH 활성을 분석하였다. 본 연구를 통해 조리 방법에 따른 고구마 칩의 품질 특성 및 항산화 활성 변화를 탐색하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

국내에서 생산되는 대표적인 고구마 품종인 베니하루카를 실험에 사용하였다. 고구마는 해남고구마영농조합법인(Haenam, Jeollanam-do, Korea)에서 구입하였으며, 튀김 기름은 대두유(Beksul, CJ cheiljedang, Seoul, Korea)를 사용하였다.

2. 고구마 칩의 제조

고구마 칩을 제조하기 위해, 고구마를 깨끗이 씻고 껍질을 제거한 후, 변색을 방지하기 위해 슬라이스하기 직전까지 차가운 물에 담가 두었다. 이후 슬라이서를(LX-03, FOSHAN DALLE TECHNOLOGY CO., LTD, Guangdong, Chian) 이용하여 고구마를 2 mm 두께로 균일하게 절단하였다. 조리 시간은 두 조리 방법에 따른 고

구마 칩의 품질특성을 비교하기 위해, 예비실험을 통해 설정된 조리 완료 상태(endpoint)를 기준으로 결정하였다. 조리 완료 상태는 시료의 색도 변화 및 수분 함량을 종합적으로 고려하여 정의하였으며, 특히 표면의 황갈색 형성에 따른 a^* 값 증가 및 L^* 값 감소, 수분 함량의 감소를 주요 판단 기준으로 설정하였다. 이러한 지표가 유사한 수준에 도달하는 조건을 기준으로 시료의 조리 조건을 선정하였다. 이에 따라, 슬라이스된 고구마 50 g을 170°C 및 180°C에서 각각 7, 8, 9분 동안 에어프라이(HD9280/90, Royal Philips Electronics N.V., Amsterdam, Netherlands)한 후, 상온에서 5분간 냉각하여 시료로 사용하였다. 튀김기(DK-201, Deliki, Goyang, Korea)에 대두유 500 g을 넣은 후 가열하여 180°C로 맞춘 후, 슬라이스 된 고구마 100 g을 한번에 넣고 90초간 조리한 후 상온에서 5분간 냉각하여 실험에 사용하였다.

3. 고구마 칩의 품질 특성

1) 수분 함량 측정

고구마 칩은 조리 후 상온에서 5분간 냉각한 뒤, 동일 배치 내 시료를 고르게 혼합하고 분쇄기를 이용하여 균질화하였다. 이후 균질화된 시료로부터 일정량을 취하여 분석에 사용하였다. 수분 함량은 균질화된 시료 1 g을 취하여 105°C 오븐에서 항량에 도달할 때까지 건조하는 방법으로 측정하였다. 측정은 AACC 방법 44-15.02 (AACC 2000)에 따라 수행하였다.

2) 색도 측정

고구마 칩의 색도는 색도계(Color reader, Konica Minolta CR-20, Tokyo, Japan)를 사용하여 각 시료의 명도(L^*), 적색도(a^*), 황색도(b^*) 값을 3회 반복 측정하였다. 표준 백색판의 L , a 및 b 값은 각각 95.1, 0.1 및 3.5 이었다(Hwang EN & Lee HK 2021).

3) 텍스처 측정

고구마 칩의 텍스처 특성을 평가하기 위해, Texture Analyzer (TAHDI/500, TAHD plusC, Stable Micro Systems, UK)를 활용하여 바삭거림(Crispiness)을 측정하였다. 이를 위해 실린더 모양의 36R probe를 사용하였다. 측정 조건은 다음과 같다. Pre-test speed 1.0 mm/s, test speed는 0.5 mm/s, return speed는 10.0 mm/s로 설정하였으며, trigger force는 5.0 g, test cycle은 1회로 하여 측정하였다(Yi H 등 2015).

4. 고구마 칩의 유리당 함량 측정

유리당 함량 측정은 Kocadağlı T & Gökmen V(2016)의

방법을 변형하여 수행하였다. 분쇄한 고구마 칩 5 g에 증류수 50 mL를 첨가한 후, 1시간 동안 초음파 추출하였다. 추출된 혼합물은 $7,500 \times g$ 에서 3분간 원심분리(LaboGene 2236R, Labogene Aps, Lillerød, Denmark)하여 상층액을 수집하고, 0.45 μm PVDF Syringe filter(Hyundai Micro, Seoul, Korea)를 사용해 여과하였다. 여과된 시료는 HPLC(Waters alliance 2414, Waters, Milford, MA, USA)로 분석하였다. 분석에는 Shodex NH2P-50 column(4.6×150 mm, Showa Denko, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 검출기로는 ELSD(Waters 2420 ELSD, Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였다. 이동상은 75% acetonitrile을 사용하였으며, 유속은 1.0 ml/min, 시료주입량은 10 μl 이었다. 분석에 사용된 표준물질로는 glucose, fructose, sucrose 및 maltose (Sigma Chemical Co, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

5. 고구마 칩의 항산화 활성 측정

고구마 칩의 항산화 활성은 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성을 통해 평가하였다. 항산화 활성 측정을 위해 고구마 칩 0.25 g을 80% 에탄올 10 mL와 혼합하여 30분 동안 초음파 추출을 실시하였다. 이후, $3,000 \times g$ 에서 30분간 원심분리(LaboGene 2236R, Labogene Aps)하여 상층액을 항산화 활성 평가에 사용하였다(Vaitkevičienė N 등 2022). 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu법을 변형하여 측정하였다(Vaitkevičienė N 등 2022). 추출물 0.2 mL에 7% Na_2CO_3 0.8 mL를 첨가한 후, Folin-Ciocalteu 시약 1 mL와 증류수 5 mL를 넣고 vortex로 혼합하였다. 혼합물을 60분 동안 어두운 곳에 방치한 후 반응액의 흡광도를 760 nm에서 측정하였다(Mecasys, Optizen, CA, USA). Gallic acid(Sigma Chemical Co)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 총 폴리페놀 함량은 건조 시료 중량당 mg gallic acid equivalent(GAE/g dry weight, dw)로 나타내

었다. DPPH 라디칼 소거능을 측정하기 위해, 추출물 0.1 mL와 0.1 mM DPPH 용액 3.0 mL를 혼합한 후, 30°C의 인큐베이터에서 30분 동안 반응시켰다. 이후, 분광광도계를 사용해 517 nm에서 흡광도를 측정하였다(Leong LP & Shui G 2002). 각 시료의 항산화활성은 시료를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우의 흡광도 차이를 백분율(%)로 나타내었다.

Radical scavenging activity(%)=

$$\{1-(\text{시료의 흡광도}/\text{대조구의 흡광도})\} \times 100$$

6. 통계처리

모든 실험은 최소 3회 이상 반복하여 수행하였으며, 결과는 평균 $\pm$ 표준편차로 나타냈다. 통계분석은 SPSS 26.0(IBM Corp., SPSS Statistics, Chicago, IL, USA)를 사용하였다. 시료 간의 차이는 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 통해 확인하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 고구마 칩의 수분 함량

높은 수분 함량은 칩의 관능적 품질에 영향을 미치고, 미생물 성장으로 인한 부패 위험을 증가시키므로 칩 제조 시 반드시 고려해야 할 중요한 요소이다(Nawaz A 등 2021). 조리 전 고구마 슬라이스의 수분 함량은 조리 후 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$)(Table 1). 고구마 칩의 수분 함량은 0.29~3.08% 범위로 나타났으며, 이는 기존 연구에서 보고된 칩류 제품의 수분 함량 약 2~6%(Kaur A 등 2008, Salvador A 등 2009) 보다 상대적으로 낮은 수준으로, 바삭한 식감 형성에 적합한 수준으로 판단된다.

Table 1. Moisture and color of sweet potato chips under different cooking conditions.

Cooking method	Temperature(°C)	Cooking time (min)	Moisture (%)	L*	a*	b*
Raw	-		66.04 $\pm$ 0.27 ¹⁾	79.22 $\pm$ 0.27 ^a	2.34 $\pm$ 0.11 ^b	30.88 $\pm$ 0.65 ^b
DF	180	1.5	2.91 $\pm$ 0.42 ^b	56.36 $\pm$ 1.21 ^d	-0.34 $\pm$ 1.32 ^d	33.74 $\pm$ 2.38 ^a
		7	3.08 $\pm$ 0.58 ^b	80.32 $\pm$ 0.41 ^a	0.94 $\pm$ 0.15 ^c	28.04 $\pm$ 0.94 ^c
		8	2.55 $\pm$ 0.59 ^b	77.24 $\pm$ 0.59 ^b	-0.64 $\pm$ 0.22 ^d	25.60 $\pm$ 0.35 ^d
	170	9	0.41 $\pm$ 0.16 ^c	57.64 $\pm$ 0.19 ^d	7.94 $\pm$ 0.79 ^a	25.10 $\pm$ 0.98 ^d
		7	2.73 $\pm$ 0.49 ^b	79.94 $\pm$ 0.36 ^a	0.34 $\pm$ 0.23 ^{cd}	29.04 $\pm$ 0.30 ^{bc}
		8	2.41 $\pm$ 0.82 ^b	63.68 $\pm$ 1.11 ^c	7.80 $\pm$ 0.51 ^a	27.86 $\pm$ 0.40 ^c
AF	180	9	0.29 $\pm$ 0.12 ^c	51.78 $\pm$ 1.21 ^e	8.82 $\pm$ 0.41 ^a	24.52 $\pm$ 1.57 ^d

¹⁾ Values are presented as mean $\pm$ standard deviation.

^{a-c}Different superscript letters in the same column indicate significant difference($p < 0.05$).

Raw: Fresh sweet potato, DF: Deep fat frying method, AF: Air frying method.

또한, 고구마 칩의 수분 함량은 조리 방법뿐 아니라 조리 시간에 따라 유의적으로 변화하였다($p < 0.05$). AF의 경우 조리 시간이 증가함에 따라 수분 함량이 감소하는 경향을 보였으며, 특히 9분 처리 시 0.29~0.41%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 반면, DF(180°C, 90초)의 수분 함량은 2.91%로 나타나, AF의 단시간 처리 조건(7~8분)과는 유사한 수준이었으나, 장시간 처리 조건(9분)보다는 높은 값을 보였다. Moradi Y 등 (2009)는 DF는 높은 온도의 기름에 식품을 직접 담그는 방법으로, 조리 과정 중 바삭한 외층이 먼저 형성되어 내부의 수분이 방출되기 전에 갇히게 되므로 오븐구이, 건조, Air-fryer(AF) 조리방법보다 높은 수분 함량을 나타낸다고 보고하였다. AF로 조리한 고구마 칩의 경우, 조리시간과 온도가 증가함에 따라 수분 함량이 감소하였다. 특히, 170°C, 180°C에서 9분 동안 AF로 조리한 고구마 칩의 수분 함량이 유의적으로 낮게 측정되었다($p < 0.05$). Giovanelli G 등(2017)은 에어프라이어 조리는 열전달 매체로 공기를 사용하기 때문에 조리 시간이 길어질수록 식품의 수분손실을 증가시킬 가능성이 있다고 보고하였다. Caetano PK 등 (2017)은 수분 함량이 칩의 바삭함과 직접적으로 관련이 있으며, 수분 함량이 높을수록 칩의 바삭함이 감소한다고 하였으며, 본 연구에서는 DF 보다 AF 조리한 고구마 칩의 수분 함량이 낮게 측정되었다.

2. 고구마 칩의 색도

조리 방법이 고구마 칩의 색도에 미치는 영향을 측정한 결과는 Table 1과 같다. 고구마 칩의 색도 변화는 L^* (light; black=0, white=100), a^* (red=positive values, green=negative values), b^* (yellow=positive values, blue=negative values) 값으로 평가하였다. 생고구마 슬라이스의 L^* 값은 79.22로 높게 나타났으며, AF로 조리한 고구마 칩의 L^* 값은 조리 온도와 시간이 증가함에 따라 유의적으로 감소했다($p < 0.05$). b^* 값은 생고구마 슬라이스가 30.88로 측정되었으며, 고구마 칩을 AF로 조리했을 때보다 DF로 조리했을 때 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). AF로 조리한 칩은 조리 시간이 길어질수록 L^* 값과 b^* 값이 감소하는 경향을 보였으며 a^* 값은 증가하였다($p < 0.05$). Lund MN & Ray CA(2017)는 가열온도가 높아질수록 마이야르 반응이 가속화되어 식품 표면의 갈색화를 촉진하고, 그 결과, 갈색 색소 함량이 증가하면서 L^* 값과 b^* 은 감소하고 a^* 은 증가한다고 보고하였다. 식품의 색상은 가공방법과 온도에 영향을 받으며, L^* 값은 식품 품질 관리에 중요한 지표로 활용된다 (Mariscal M & Bouchon P 2008). 또한, Sugumaran K(2019)는 튀김 과정에서 산소의 존재, 아스코르브산의 산화 및 마이야르 반응이 색상 변화에 영향을 미친다고 보고하였다.

3. 고구마 칩의 텍스처

고구마 칩의 crispiness는 수분 함량이 낮은 튀긴 음식의 주요 조직 특성으로, 소비자 만족도에 중요한 영향을 미친다(Jaworska D & Hoffmann M 2008, Salvador A 등 2009). Crispiness 측정은 칩의 바삭함을 나타내는 지표로서 깨지는 힘(breaking force)을 사용하며, 깨지는 힘이 낮을수록 바삭함이 높아진다. 본 연구에서 고구마 칩의 crispiness 측정 결과는 Fig. 1과 같다. 모든 조리 조건에서의 고구마 칩의 breaking force는 478.8 ± 21.37 에서 630.35 ± 106.46 g 범위였으며, 특히, AF 180°C에서 9분 동안 조리한(AF9) 고구마 칩이 가장 낮은 breaking force를 나타내어($p < 0.05$) 가장 높은 바삭함을 보였다. 이러한 결과는 낮은 수분 함량과 일치하는 결과로, 수분 함량 감소가 조직의 바삭함을 증가시키는 데 영향을 미치는 것을 나타낸다. 또한, 높은 온도와 긴 조리 시간이 수분 제거를 극대화하여 조직이 더욱 단단하고 바삭해진 것으로 판단되었다.

4. 고구마 칩의 유리당

고구마 슬라이스의 glucose, fructose 및 sucrose의 함량은 각각 12.20 mg/kg, 11.27 mg/kg, 118.37 mg/kg로 나타났다(Table 2). DF로 조리된 고구마 칩의 경우 glucose, fructose 및 sucrose 함량은 8.03 mg/kg, 6.78 mg/kg 및 76.29 mg/kg로 측정되었다. AF로 170°C와 180°C에서 조리한 고구마 칩의 유리당 함량은 glucose는 3.96~8.54 mg/kg, fructose는 3.38~6.30 mg/kg 및 sucrose는 60.96~81.86 mg/kg로 측정되었다. 두 가지 조리 방법 모두에서 조리 전보다 유리당 함량이 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 고구마를 가열하면 전분이 호화되며, 일반적으로 이 호화 전분은 α -amylase 및 β -amylase의 작용을 통

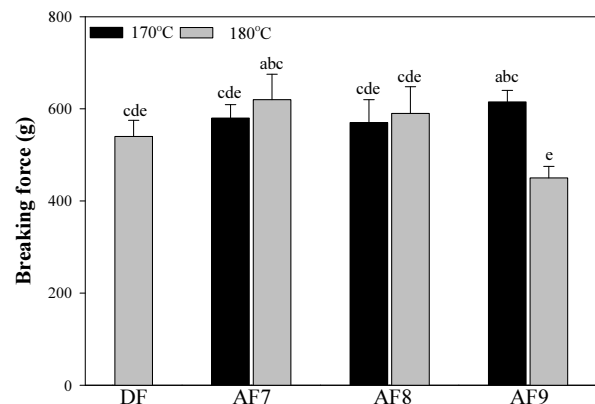


Fig. 1. Crispiness of sweet potato chips under different cooking conditions. DF: Deep fat frying for 1.5 min; AF7: Air frying for 7 min; AF8: Air frying for 8 min; AF9: Air frying for 9 min. ^{a-e} Different superscript letters in the cooking condition indicate significant difference($p < 0.05$).

Table 2. Free sugar content of sweet potato chips under different cooking conditions.

Cooking method	Temperature (°C)	Cooking time (min)	Glucose (mg/kg)	Fructose (mg/kg)	Sucrose (mg/kg)	Total reducing sugar (Glucose + Fructose) (mg/kg)
Raw	-	-	12.20 ± 0.11 ^{a1)}	11.27 ± 0.41 ^a	118.37 ± 0.21 ^a	23.47 ± 0.28 ^a
DF	180	1.5	8.03 ± 0.20 ^b	6.78 ± 0.18 ^b	76.29 ± 1.78 ^d	14.81 ± 0.29 ^b
AF	170	7	6.25 ± .011 ^c	5.86 ± 0.21 ^c	81.86 ± 0.43 ^b	12.11 ± 0.16 ^c
		8	6.07 ± 0.02 ^{cd}	5.18 ± 0.01 ^d	67.42 ± 0.23 ^f	11.25 ± 0.01 ^d
		9	5.80 ± 0.49 ^{cd}	4.54 ± 0.25 ^e	75.80 ± 0.20 ^d	10.34 ± 0.37 ^d
	180	7	3.96 ± 0.14 ^e	3.38 ± 0.08 ^f	60.96 ± 0.55 ^g	7.32 ± 0.11 ^e
		8	8.54 ± 0.78 ^b	6.30 ± 0.46 ^c	79.23 ± 0.47 ^c	14.84 ± 0.62 ^b
		9	5.53 ± 0.17 ^d	4.84 ± 0.13 ^{de}	72.73 ± 0.05 ^e	10.37 ± 0.15 ^d

¹⁾ Values are presented as mean±standard deviation.

^{a-g} Different superscript letters in the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

Raw: Fresh sweet potato, DF: Deep fat frying method, AF: Air frying method.

해 덱스트린과 말토스로 분해되어 단맛 형성에 기여하는 것으로 알려져 있다(Jang GY 2013). 그러나 본 연구에서 적용된 170°C 이상의 고온의 조리 조건에서는 시료 내부 온도가 급격히 상승하여 효소의 활성 범위를 빠르게 초과하므로, 효소의 작용으로 인한 전분 분해가 일어날 수 있는 시간은 매우 제한적이다. 이러한 특성은 특히, 열전달 속도가 빠른 deep-frying 조건에서 더욱 뚜렷하게 나타난 것으로 판단되었다. 이에 따라 본 연구에서 maltose가 검출되지 않은 결과는 고온에서의 열분해보다는 β -amylase 활성의 제한으로 인해 maltose 생성 자체가 충분히 일어나지 않았기 때문으로 해석되었다. 또한, 일부 생성된 당이 존재하더라도, 고온 조건에서 Maillard 반응 등 비효소적 반응을 통해 함량이 감소했을 가능성이 있으며, 본 실험 결과에서도 DF와 AF로 조리된 고구마 칩의 총 환원당 함량은 조리 후 감소하였다($p < 0.05$). 이러한 결과는 조리 과정에서의 효소 반응의 제한과 고온 가열에 따른 비효소적 반응의 영향에 기인한 것으로 판단되었다. Grizotto RK 등(2005)은 칩의 색은 육안으로 볼 때 밝은 금색을 띠어야 하며, 칩의 표면의 갈색 점이나 어두운 흔적이 없는 것은 환원당 함량과 관계가 있다고 보고하였다. Caetano PK 등 (2017)은 일반적으로 환원당은 색상 저하에 영향을 미치는 요인으로 작용한다고 하였으며, 고온 및 습도가 낮은 조건에서 식품에 함유된 당분은 비효소적 변색을 유발한다고 하였다(Kumar D 등 2004). 본 연구에서 수행한 색도 측정 결과 DF와 AF 170°C에서 9분, 180°C에서 9분 동안 조리된 고구마 칩의 L^* 값이 가장 낮게 측정되었다($p < 0.05$). 이러한 결과는 고온 조리 조건이 고구마 칩의 색상 변화에 중요한 영향을 미치는 것을 나타낸다.

5. 고구마 칩의 항산화 활성

채소의 항산화 효과는 주로 페놀 화합물에 의해 나타나며, 총 폴리페놀 함량(total polyphenol contents, TPC)은 항산화제의 주요 지표로 활용된다(Chu YH 등 2000, Philpott M 등 2003). 다양한 조리 조건으로 만든 고구마 칩의 TPC와 DPPH 라디칼 소거 활성을 측정한 결과(Table 3), DF와 AF로 조리한 고구마 칩이 생고구마 슬라이스보다 높은 항산화 활성을 보였다($p < 0.05$). 생고구마 슬라이스의 TPC는 3.21 ± 0.03 GAE mg/g이었으며, DF로 조리한 칩은 4.01 ± 0.14 GAE mg/g으로 나타났다. AF로 조리한 칩의 TPC는 조리 시간과 온도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 고구마에는 폴리페놀 화합물들이 중심부보다 외부에 더 많이 존재하며(Im YR 등 2021), 이 화합물들은 열처리와 같은 가공 과정을 통해 세포벽에서 분리될 수 있으며(Navarre DA 등 2010, Ruiz-Rodriguez A 등 2008, Tian J 등 2016), Takenaka M 등(2006)은 폴리페놀함량이 고구마의 품종, 조리 및 저장 방법과 기간 등에 영향을 받는다고 보고하였다. 본 연구에서 측정된 TPC는 Folin-Ciocalteu 시약과의 산화-환원 반응을 기반으로 한 지표로 시료 내 폴리페놀뿐만 아니라 다양한 환원성 물질의 총 환원력을 반영하는 것으로 알려져 있다(Sánchez-Rangel JC 등 2013). 고구마 칩의 TPC 증가는 열처리에 의해 결합형 폴리페놀이 유리되어 추출성이 증가한 효과와 가열 과정에서 생성된 Maillard 반응 생성물 등 환원성 물질이 Folin-Ciocalteu 시약과 반응한 영향이 복합적으로 반영된 것으로 판단되었다(Morales FJ & Jiménez-Pérez S 2001). Hwang EN & Lee KL (2021)은 오븐에서 굽는 온도가 증가할수록 TPC가 증가한다고 보고하였다. AF로 170°C와 180°C에서 7분

Table 3. Antioxidant activity of sweet potato chips under different cooking conditions.

Cooking method	Temperature (°C)	Cooking time (min)	TPC (mg GAE/g dw)	DPPH radical scavenging (%)
Raw	-	-	3.21 ± 0.03 ^{fl}	14.73 ± 0.54 ^c
DF	180	1.5	4.10 ± 0.14 ^d	18.16 ± 0.50 ^d
		7	3.62 ± 0.09 ^e	20.73 ± 2.08 ^c
		8	4.11 ± 0.18 ^d	22.96 ± 1.14 ^{ab}
AF	170	9	4.38 ± 0.03 ^c	24.18 ± 0.37 ^a
		7	3.57 ± 0.16 ^e	21.70 ± 0.50 ^{bc}
		8	4.70 ± 0.27 ^b	22.48 ± 0.35 ^b
		9	5.69 ± 0.09 ^a	24.47 ± 0.31 ^a

^{l)} Values are presented as mean±standard deviation.

^{a-f} Different superscript letters in the same column indicate significant difference($p<0.05$).

Raw: Fresh sweet potato, DF: Deep fat frying method, AF: Air frying method.

동안 조리한 고구마 칩의 TPC는 각각 3.62 ± 0.09 GAE mg/g와 3.57 ± 0.16 GAE mg/g으로 가장 낮았지만, 조리 시간이 길어짐에 따라 TPC 함량이 증가하였다($p<0.05$). Lee YM 등(2012)은 식품의 항산화 활성은 폴리페놀과 플라보노이드와 같은 성분이 잘 용출되어야 하며, 최적 용출 온도는 성분과 식품의 종류에 따라 차이를 나타낸다고 보고하였다. 고구마 칩의 DPPH 라디칼 소거 활성은 생고구마 슬라이스보다 DF 및 AF로 조리한 칩에서 유의적으로 높게 측정되었다($p<0.05$). 생고구마 슬라이스의 DPPH 라디칼 소거 활성은 $14.73 \pm 0.54\%$ 였고, DF 칩은 $18.16 \pm 0.50\%$ 이었다. 고구마 칩의 DPPH 라디칼 소거 활성은 생고구마 슬라이스보다 DF 및 AF 처리 후 유의적으로 증가하였으며($p<0.05$), 특히 AF의 경우 조리 온도와 조리 시간이 증가할수록 활성이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 열처리에 의해 폴리페놀 화합물이 유리되어 증가한 것에 기인할 수 있다. 또한, 조리 온도와 조리 시간이 증가함에 따라 L^* 값이 감소하고 a^* 값이 증가하는 경향이 나타나 갈변 반응이 진행되었음을 확인하였다(Table 1). 이는 고온 가열 과정에서 Maillard 반응이 촉진되어 그 생성물인 melanoidin과 같은 갈변 생성물이 항산화 활성에 기여했을 가능성을 나타낸다(Morales FJ & Jiménez-Pérez S 2001). Melanoidin은 퍼옥시 라디칼과 같은 지용성 라디칼에 대한 소거 활성을 가지는 것으로 보고되어 있다(Morales FJ & Jiménez-Pérez S 2001, Rufian-Henares JA & Morales FJ 2007). 따라서 본 연구에서 관찰된 항산화 활성 증가는 폴리페놀 함량의 증가뿐 아니라, 열처리 과정에서 생성된 Maillard 반응 생성물의 기여가 복합적으로 작용한 결과로 해석되었다. 170°C에서 7분, 8분, 9분 동안 조리한 칩은 각각 $20.73 \pm 0.50\%$, $22.96 \pm 1.14\%$, $24.18 \pm 0.37\%$ 의 활성을 보였고, 180°C에서 조리한 경우 $21.70 \pm 0.50\%$, $22.48 \pm 0.35\%$, $24.47 \pm 0.31\%$ 의 활성을 나타냈다. Cho KM & Joo

OS(2012)의 연구에서도 자색고구마를 160°C보다 200°C에서 조리했을 때 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가한다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 베니하루카 품종 고구마를 대상으로 다양한 조리 조건에서 제조한 고구마 칩의 품질 특성과 항산화 활성을 평가하였다. 대조군으로 생고구마 슬라이스를 사용하였으며, 180°C에서 90초 동안 deep frying(DF)한 칩과 Air-fryer(AF)를 이용하여 170°C 및 180°C에서 각각 7분, 8분, 9분 동안 조리한 칩의 특성을 분석하였다. 그 결과, 모든 조리 조건에서 고구마 칩의 수분 함량은 0.29~3.08%로 나타났으며, DF 처리구가 AF 처리구보다 상대적으로 높은 수분 함량을 보였다. 색도는 조리 온도와 시간이 증가함에 따라 L^* 값이 감소하는 경향을 나타냈고, 유리당 함량은 두 조리 방법 모두에서 조리 전보다 조리 후 유의하게 감소하였다($p<0.05$). 항산화 활성 분석 결과, 조리 온도와 시간이 증가할수록 총 폴리페놀 함량(TPC)과 DPPH 라디칼 소거 능력이 증가하는 경향이 나타나($p<0.05$), 조리 조건이 고구마 칩의 항산화 활성에 긍정적인 영향을 미침을 확인하였다. 그러나 색도 분석결과 조리 온도와 시간이 증가할수록 갈변이 뚜렷하게 진행되었다. 이러한 결과를 종합할 때, 항산화 활성 증가와 색 품질 유지 간의 균형을 고려할 필요가 있으며, AF 170°C에서 8분 또는 180°C에서 7~8분 조리 조건이 과도한 갈변을 억제하면서도 비교적 높은 항산화 활성을 나타내는 적절한 조건으로 판단되었다. 따라서 고구마 칩의 품질 특성과 항산화 활성은 조리 방법 및 조리 조건(온도, 시간)에 의해 영향을 받으며, 본 연구 결과는 고구마 칩 제조 과정에서 적절한 조리 조건과 품질 관리를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Conflict of Interest

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

References

- AACC. 2000. Approved methods of the AACC. AACC, St. Paul, MN, USA.
- Akpapunam MA, Abiante D. 1991. Processing and quality evaluation of sweet potato chips. *Plant Foods Hum Nutr* 41(4):291-297.
- Caetano PK, Mariano-Nasser FAK, Mendonça VZ, Furlaneto KA, Daiuto ER, Vieites RL. 2017. Physicochemical and sensory characteristics of sweet potato chips undergoing different cooking methods. *Food Sci. Technol. (Campinas)* 38(3):434-440.
- Chalil George J, Antony S, Ninan G, Kumar KA, Ravishankar CN. 2022. Artificial neural network models for predicting and optimizing the effect of air-frying time and temperature on physical, textural, sensory, and nutritional quality parameters of fish ball. *J Aquat Food Prod Technol* 31(1):35-46.
- Chen X, Liao Y, Lin B, He X, Li S, Zhong C, Li S, Zhou Y, Fan L. 2024. The concentration of benzo[a]pyrene in food cooked by air fryer and oven: a comparison study. *Toxics* 12(6):416.
- Cho KM, Joo OS. 2012. Enhanced antioxidant effect of purple sweet potato by roasting. *Food Sci Preserv* 19(5):735-743.
- Chu YH, Chang CL, Hsu HF. 2000. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *J Sci Food Agric* 80(5):561-566.
- Giovanelli G, Torri L, Sinelli N. 2017. Comparative study of physico-chemical and sensory characteristics of French fries prepared from frozen potatoes using different cooking systems. *Eur Food Res Technol* 243(9):1619-1631.
- Grizotto RK. 2005. Processamento e rendimento industrial da batata chips e palha. Itapetininga: ABBA. Retrieved from <http://www.abbabatabrasileira.com.br/minas2005/19%20-%20Processamento%20da%20batata%20chips%20e%20palha%2001.pdf>
- Hwang EN, Lee HK. 2021. Quality characteristic, antioxidant activity and acrylamide content of sweet potato chips according to the baking temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 50(12):1350-1357.
- Hwang IG, Byun JY, Kim KM, Chung MN, Yoo SM. 2014. Vitamin C quantification of Korean sweet potatoes by cultivar and cooking method. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43(6):955-961.
- Im YR, Kim I, Lee J. 2021. Phenolic composition and antioxidant activity of purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): varietal comparisons and physical distribution. *Antioxidants* 10(3):462.
- Jang GY, Li M, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS. 2013. Optimization of processing conditions and selection of optimum species for sweet potato chips. *Korean J Food Nutr* 26(3):565-572.
- Jaworska D, Hoffmann M. 2008. Relative importance of texture properties in the sensory quality and acceptance of commercial crispy products. *J Sci Food Agric* 88(10):1804-1812.
- Jung JK, Im HW. 2013. The total phenolic contents and DPPH radical scavenging activities of Korean sweet potatoes according to plants parts, varieties, and by distribution and cooking methods. *Foodserv Ind J* 9(2):7-19.
- Kaur A, Singh N, Ezekiel R. 2008. Quality parameters of potato chips from different potato cultivars: effect of prior storage and frying temperatures. *Int J Food Prop* 11(4):791-803.
- Kim DC, Kim C, In MJ. 2015. Antioxidant activities of extracts prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Appl Biol Chem* 58(1):21-24.
- Kim KE, Kim SS, Lee YT. 2010. Physicochemical properties of flours prepared from sweet potatoes with different flesh colors. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(10):1476-1480.
- Kim S, Seo D, Park J, Kim S, Choi Y, Nam JS, Lee JH, Kim SC, Yang MO, Hwang J. 2017. Food composition of raw, boiled, and roasted sweet potatoes. *Korean J Community Living Sci* 28(1):59-68.
- Kocadağlı T, Gökmen V. 2016. Multiresponse kinetic modelling of Maillard reaction and caramelisation in a heated glucose/wheat flour system. *Food Chem* 211:892-902.
- Korean Statistical Information Service(KOSIS). 2025. Sweet potato production statistics. Available from: <http://kosis.kr/>. Accessed Aug 18, 2025.
- Kumar D, Singh, BP, Kumar P. 2004. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Annals Appl Biol* 145(3), 247-256.
- Lee J, Surh J. 2024. Effect of various cooking methods on the antioxidant activity and the oxidative stability of fish balls made with the addition of turmeric powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51(10):1074-1083.
- Lee YM, Bae JH, Kim JB, Kim SY, Chun MN, Park MY, Ko JS, Song J, Kim JH. 2012. Changes in the physiological activities of four sweet potato varieties by cooking condition. *Korean J Nutr* 45(1):12-19.
- Leong LP, Shui G. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chem* 76(1):69-75.
- Lund MN, Ray CA. 2017. Control of Maillard reactions in foods: strategies and chemical mechanisms. *J Agric Food Chem* 65(23):4537-4552.
- Mariscal M, Bouchon P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chem* 107(4):1561-1569.
- Moradi Y, Bakar J, Syed Muhamad SH, Che Man Y. 2009.

- Effects of different final cooking methods on physico-chemical properties of breaded fish fillets. *Am J Food Technol* 4(4):136-145.
- Morales FJ, Jiménez-Pérez S. 2001. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chem* 72(1):119-125.
- Navarre DA, Shakya R, Holden J, Kumar S. 2010. The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers. *Am J Potato Res* 87(4):350-359.
- Nawaz A, Danish A, Al, SW, Muhammad Shahbaz H, Khalifa, I, Ahmed A, Ahmed W. 2021. Evaluation and storage stability of potato chips made from different varieties of potatoes cultivated in Pakistan. *J Food Process Preserv* 45(5):e15437.
- Park SJ, Kim JM, Kim JE, Jeong SH, Park KH, Shin MS. 2011. Characteristics of sweet potato powders from eight Korean varieties. *Korean J Food Cook Sci* 27(2):19-29.
- Philpott M, Gould KS, Markham KR, Lewthwaite SL, Ferguson LR. 2003. Enhanced coloration reveals high antioxidant potential in new sweetpotato cultivars. *J Sci Food Agric* 83(10):1076-1082.
- Rufian-Henares JA, Morales FJ. 2007. Functional properties of melanoidins: In vitro antioxidant, antimicrobial and antihypertensive activities. *Food Res Int* 40(8):995-1002.
- Ruiz-Rodriguez A, Marin FR, Ocana A, Soler-Rivas C. 2008. Effect of domestic processing on bioactive compounds. *Phytochem Rev* 7(2):345-384.
- Salvador A, Varela P, Sanz T, Fiszman S. 2009. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT-Food Sci Technol* 42(3):763-767.
- Sanchez-Rangel JC, Benavides J, Heredia JB, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velazquez DA. 2013. The Folin-Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Anal Methods* 5(21):5990-5999.
- Seo BY, Kim JS, Park E. 2018. Comparison of phenolic compounds and antioxidant properties of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) according to variety and moist heat cooking. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47(3):243-252.
- Sugumaran K, Anwar NZR, Abd Ghani A. 2019. Effect of different processing methods on the physicochemical properties and sensory evaluations of sweet potatoes chips. *J Agrobiotechnol* 10(2):51-63.
- Takenaka M, Nanayama K, Isobe S, Murata M. 2006. Changes in caffeic acid derivatives in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during cooking and processing. *Biosci Biotechnol Biochem* 70(1):172-177.
- Tian J, Chen J, Ye X, Chen S. 2016. Health benefits of the potato affected by domestic cooking: a review. *Food Chem* 202:165-175.
- Vaitkevičienė N, Jarienė E, Kulaitienė J, Levickienė D. 2022. The physico-chemical and sensory characteristics of coloured-flesh potato chips: influence of cultivar, slice thickness and frying temperature. *Appl Sci* 12(3):1211-1225.
- Yi H, Hwang KT, Choi H, Lim HT. 2015. Physicochemical and organoleptic characteristics of deep-fat fried and microwaved potato chips. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 58(5):735-740.
- Yu X, Li L, Xue J, Wang J, Song G, Zhang Y, Shen Q. 2020. Effect of air-frying conditions on the quality attributes and lipidomic characteristics of surimi during processing. *Innov Food Sci Emerg Technol* 60:102305.
- Zaghi AN, Barbalho SM, Guiguer EL. 2019. Frying process: from conventional to air frying technology. *Food Rev Int* 35(8):763-777.

Received on Jan.9, 2026 / Revised on Apr.21, 2026 / Accepted on Apr.23, 2026