



Research Article

Effect of heating time on the quality and antioxidant activity of Jerusalem artichoke tea

가열시간에 따른 돼지감자차의 품질 특성 및 항산화 활성

Eun-Sun Hwang*, EunMyeong Shon

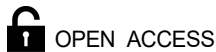
황은선* · 손은명

School of Wellness Industry Convergence, Major in Food and Nutrition, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

한경대학교 웰니스산업융합학부 식품영양학전공

Abstract This study aimed to evaluate the physicochemical characteristics, bioactive compound component content, and antioxidant activity of Jerusalem artichoke tea. The Jerusalem artichoke was dried at 70°C for 5 h, then roasted in the oven for 2, 4, and 6 min, respectively. The control group had a moisture content of 11.92%, whereas the sample heated in the oven for 2-6 min had a rapidly declining moisture content. Oven-heated samples had higher levels of crude protein and fat than the control samples. Longer heating periods reduced the pH of the Jerusalem artichoke while increasing the sugar content and turbidity of the tea. The brightness of the tea decreased as the heating time increased, while the redness, yellowness, and browning index increased. Compared to the control group, the total polyphenols and flavonoids eluted in tea increased 1.04 to 4.34 times and 1.09 to 2.70 times, respectively, with the heating time of the Jerusalem artichoke. The elution of antioxidant substances and the antioxidant activity of the tea also was also increased with the heating duration. Therefore, the results revealed that the antioxidant content and activity of Jerusalem artichoke tea are highest when heated for approximately 6 min after removing any excess moisture.

Keywords Jerusalem artichoke tea, heating time, browning, antioxidant activity



Citation: Hwang ES, Shon EM. Effect of heating time on the quality and antioxidant activity of Jerusalem artichoke tea. Korean J Food Preserv, 29(6), 989-999 (2022)

Received: August 24, 2022
Revised: October 07, 2022
Accepted: October 07, 2022

***Corresponding author**
 Eun-Sun Hwang
 Tel: +82-31-670-5182
 E-mail: ehwang@hknu.ac.kr

Copyright © 2022 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

1. 서론

돼지감자(*Helianthus tuberosus* L.)는 북아메리카가 원산지이며, 국화과 해바라기 속에 속하는 다년생 식물로 약 17세기부터 유럽 등지에서 식용하고 있다(Kim 등, 2013). 돼지감자는 기후나 환경에 민감하지 않아 재배가 쉽고, 야생에서 잘 번식하는 특성이 있어 우리나라 전 지역에서 자생하거나 재배하고 있다(Kim 등, 2013; Slimestad 등, 2010). 과거에는 돼지감자를 가축의 사료, 알코올 발효의 원료로 주로 이용하였으나, 돼지감자의 다양한 효능이 보고되면서 식용으로 사용하는 양이 증가하고 있다(Monokhina 등, 2022; Seiler와 Campbell, 2004). 돼지감자에 약 10-25% 함유된 것으로 알려진 이눌린(inulin)은 과당이 β-2,1 결합으로 연결된 식이섬유로, 사람의 소화효소로는 분해되지 않고 대부분은 장내 미생물에 의해 발효

되어 체외로 배설된다(Monokhina 등, 2022). 이를 통해 돼지감자의 섭취는 체내에서 혈당 상승을 억제하고, 비만 개선, 중성지방의 감소, 항산화 작용 등이 있는 것으로 알려져 있다(Ahmed와 Rashid, 2019; Baltacioglu와 Esin, 2012; Shao 등, 2020). 돼지감자는 분말, 환, 추출물의 형태로 섭취하거나, 일부에서는 말린 돼지감자를 우려서 차로 음용하기도 한다. 또한, 돼지감자를 식혜(Kim과 Hwang, 2021), 설기떡(Shin과 Chung, 2019), 쿠키(Park 등, 2013), 스펀지케이크(Kim 등, 2014) 등의 제조에 일정 비율로 첨가하여 기능이 가미된 제품개발을 시도한 사례들도 있다.

차는 인류역사상 가장 오래된 음료로 세계인의 기호식품 중 하나이며 음용 단계에서의 제품 유형에 따라 침출차, 액상차, 고품차로 구분한다(Chang, 2015; Ministry of Food and Drug Safety, 2022). 과거에는 녹차나 홍차에 한정되어 있었으나, 최근에는 건강차에 대한 관심과 소비가 증가하면서 썬바귀(Lee 등, 2008), 유자피(Ji 등, 2008), 우영(Kwon과 Youn, 2014), 메밀(Kim 등, 2022) 등과 같은 기능성을 갖춘 천연재료를 활용한 차의 개발이 확대되고 있다. 침출차는 식물의 어린싹, 잎, 줄기, 뿌리, 꽃, 열매 등을 뜨거운 물에 침출하고 우려내어 그 여액을 음용하는 기호성 식품이다(Ministry of Food and Drug Safety, 2022). 침출차는 재료 고유의 맛과 향을 살리고, 유효성분이 많이 우려나도록 제조하는 것이 중요하며, 제조에서 건조 및 볶음(튀김) 과정은 재료의 맛, 색깔, 향기, 화학적 성분조성 등에 영향을 미치는 중요한 공정이다(Chung 등, 2006; Nam 등, 2016). 건조나 볶음 과정을 통해 맛과 향미가 진해지고, 보존성과 유효성분이 증가하며 바람직하지 않은 효소를 불활성화시킬 수 있으므로(Chung 등, 2006; Lee 등, 2004; Nam 등, 2016), 재료에 따른 최적화 조건을 마련하는 것이 필요하다. 현재까지 발표된 침출차에 관한 주요 연구는 볶음 온도에 따른 울무 분말과 침출액의 이화학적 특성(Chung 등, 2006), 치자와 복분자 분말을 첨가한 연근차의 품질 특성(Jo 등, 2016), 볶음 공정에 따른 발아현미차의 향기성분 및 이화학적 특성(Nam 등, 2016), 증숙 건조 처리를 통해 제조한 돼지감자차의 품질특성(Hwang 등, 2019) 등이 보고된 바 있다.

최근에는 차의 섭취가 증가하고 있으며 일부에서는 말린

돼지감자를 우려서 차로 음용하고 있으나, 차의 제조조건이나 품질 특성에 관한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 건조기를 이용하여 돼지감자의 수분을 제거한 후에 오븐에 넣어 단시간 굽는 과정을 통해 일상생활에서 쉽게 활용할 수 있는 방법으로 돼지감자차를 제조하였다. 제조한 차의 품질, 생리활성 물질의 함량과 항산화 활성을 평가하여 돼지감자차 제조를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료 및 시약

본 연구에 사용한 돼지감자는 충청남도 천안지역의 농장에서 재배된 것을 온라인 쇼핑몰을 통해 구입하였다. 분석용 시약들은 Sigma-Aldrich Chemical Co.(St. Louis, MO, USA), Flunk(Hekdelberg, Germany)와 Jencei Chemical Co., Ltd.(Tokyo, Japan)에서 구입하였다.

2.2. 돼지감자 슬라이스 및 차 제조

돼지감자를 깨끗한 물로 세척하여 이물질을 제거하고 사용하여 1.3 mm 두께로 절단한 후에 수분을 제거하기 위해 70℃로 맞춘 실험용 건조기(EYELA, Tokyo, Japan)에 돼지감자 슬라이스를 넣어 5시간 동안 건조시켰다. 건조과정만 거치고 오븐에 굽지 않은 돼지감자 슬라이스를 대조군으로 하였고, 오븐에서 굽는 시간을 3개 그룹(2, 4, 6분)으로 세분화하여 실험군으로 하였다. 제빵용 오븐의 상층과 하층 온도를 모두 160℃로 세팅하여 미리 예열시킨 후에 제빵용 철판에 돼지감자 슬라이스를 3개 그룹으로 나누어 각각 2, 4, 6분 동안 가열하였다. 완성된 돼지감자 슬라이스를 실온에서 30분간 냉각시킨 후 분석 항목별로 구분하여 폴리에틸렌 백에 담아 -20℃에 보관하면서 사용하였다.

돼지감자차의 제조를 위해 돼지감자 슬라이스를 믹서기(KHC-1000, Kitchenart, Seoul, Korea)에 넣고 균일한 크기로 분쇄하였다. 분쇄한 시료 4 g에 80℃의 증류수 100 mL를 가하여 3분간 우려내어 돼지감자차를 제조한 후에 30분 동안 12,000 rpm에서 원심분리(Mega 17R, Hanil Co., Incheon, Korea)하여 상등액을 분석용 시료로 하였다(Fig. 1).

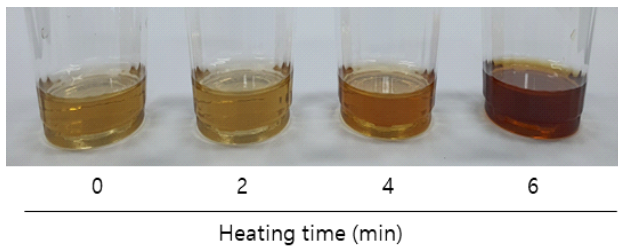


Fig. 1. Jerusalem artichoke tea made with different heating time.

2.3. 일반성분 함량 측정

건조기에서 건조과정만 거친 대조군 시료와 오븐에서 2-6분 동안 구운 돼지감자의 수분, 조회분, 조단백질 및 조지방 함량은 AOAC(1995) 방법으로 분석하였다. 수분은 마쇄한 시료 1 g을 취하여 드라이오븐(EYELA, Tokyo, Japan)에서 105°C로 건조하여 계산하였다. 조회분 함량은 마쇄한 시료 1 g을 취하여 회화로(Jeil, Seoul, Korea)를 이용하여 600°C에서 직접회화법으로 분석하였다. 조단백질은 시료 2 g을 취하여 자동 단백질 분석기(Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator, Eden Prairie, MN, USA)로 정량하였다. 조지방은 시료 2 g을 취하여 diethyl ether로 추출한 후 Soxhlet 추출기(Soxtec System HT 1043, Foss Tecator, Eden Prairie, MN, USA)로 정량하였다.

2.4. 당도, pH 및 탁도 측정

돼지감자차의 당도는 당도계(PR-201 α , Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하였다. pH는 pH meter(420 Benchtop, Orion Research, Beverly, MA, USA)로 측정하였다. 탁도는 준비한 돼지감자차 여액을 취하여 1회용 실린지 필터(pore size: 0.45 μ m)로 여과한 후에 분광광도계(Infinite M200 Pro, Tecan Group Ltd., San Jose, CA, USA)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다.

2.5. 색도 및 갈색화 지표 측정

돼지감자차의 색도는 색차계(Chrome Meter CR-300, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(L^* , lightness), 적색도(a^* , redness), 황색도(b^* , yellowness)를 측정하였다. 색 보정을 위한 백색 표준판의 L^* 값은 97.10, a^* 값은 +0.24, b^* 값은 +1.75였다.

돼지감자차의 갈색화 지표(browning index, BI)는 측

정한 색도값을 아래 계산식에 대입하여 측정하였다.

$$BI = 100 [x - 0.31] / 0.17$$

where,

$$x = (a^*_{\text{sample}} + 1.75 L^*_{\text{sample}}) / (5.645 L^*_{\text{sample}} + a^*_{\text{sample}} - 3.012 b^*_{\text{sample}}).$$

2.6. 총페놀성 화합물 및 총플라보노이드 함량 분석

돼지감자차의 총페놀성 화합물 함량은 Singleton과 Rossi(1965)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 mL와 0.5 mL 페놀 시약을 혼합하여 실온에서 3분간 반응시켰다. 이 혼합액에 1.5 mL의 2% Na_2CO_3 를 첨가한 뒤 실온의 암소에서 2시간 동안 반응시킨 후 분광광도계로 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid를 이용하여 작성하였고, 시료 1 mL당 함유된 총페놀 함량은 mg gallic acid equivalent(mg GAE)로 표시하였다.

돼지감자차에 함유된 총플라보노이드 함량은 Woisky와 Salatino(1998)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 1 mL와 메탄올에 용해시킨 2% AlCl_3 1 mL를 혼합하여 실온의 암소에서 15분 동안 반응시킨 후에 430 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 quercetin을 이용하여 작성하였고, 시료 1 mL당 함유된 총플라보노이드 함량은 mg quercetin equivalent(QE)로 나타내었다.

2.7. 항산화 활성 측정

돼지감자차의 DPPH 라디칼 소거활성은 Cheung 등(2003)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 100 μ L에 0.2 mM의 DPPH 용액을 동량 첨가하여 37°C에서 30분간 반응시킨 후 분광광도계로 515 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 시료 첨가구와 시료 무첨가구의 흡광도 차이를 %로 계산하여 나타냈다.

돼지감자차의 ABTS⁺ 라디칼 소거활성은 Re 등(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. 실험 시작 전에 7 mM ABTS와 2.45 mM $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 을 암소에서 24시간 동안 반응시켜 ABTS⁺를 형성시키고, 735 nm에서 흡광도가 0.17 ± 0.03 이 되도록 에탄올로 희석하여 실험에 사용하였다. 흡광도를

맞춘 ABTS⁺ 용액 0.1 mL와 돼지감자차 0.1 mL를 혼합하여 37°C에서 30분간 반응시킨 후에, 분광광도계를 이용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS⁺ 라디칼 소거 활성은 시료 첨가구와 시료 무첨가구의 흡광도 차이를 %로 계산하여 나타냈다.

돼지감자차의 환원력은 Oyaizu(1986)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 0.5 mL에 pH 6.6으로 맞춰진 20 mM 인산 완충용액과 1%의 K₃Fe(CN)₆를 각각 0.5 mL씩 순서대로 넣어 50°C에서 20분 동안 반응시켰다. 반응액에 10% CCl₃COOH 1 mL를 첨가하고 원심분리(12,000 g, 15분)하여 상등액을 1 mL 취하고, 증류수와 0.1% FeCl₃를 각각 1 mL씩 넣어 혼합하였다. 분광광도계로 720 nm에서 측정된 흡광도값을 환원력으로 하였다.

2.8. 통계분석

모든 분석값은 3회 반복하여 측정한 후에 평균±표준편차로 나타냈다. 대조군과 실험군들 간의 유의성 검토는 R-Studio(Version 3.5.1, Boston, MA, USA)를 이용하여 분산분석(ANOVA) 후 사후검정(Duncan-multiple range test)하였으며, 유의수준은 p<0.05로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일반성분

건조기에서 건조한 후에 오븐에서 구워 제조한 돼지감자 슬라이스의 일반성분 분석결과는 Table 1과 같다. 건조기에서 건조시킨 후 오븐에서 굽지 않은 대조군의 수분은 11.92%였고, 오븐에서 2분간 가열한 시료의 수분은 10.58%로 다소 감소하였다. 오븐에서 구운 시간이 4-6분으로 증가함에 따

라 수분 함량은 8.35%에서 4.46%로 급격히 감소하였다. 돼지감자 슬라이스를 160°C의 고온에서 가열하는 시간이 증가할수록 돼지감자 표면이 열에 접촉하는 시간이 늘어나고 수분 증발이 가속화되어 수분량이 감소한 것으로 사료된다. 본 연구팀의 선행연구에서 2-14분 동안 가열시간을 달리하여 제조한 누룽지(Hwang 등, 2020)의 수분 함량은 25.14%에서 0.24%로 감소하였고, 12-24분까지 굽는 시간을 달리하여 제조한 쿠키(Hwang과 Lee, 2021)의 수분도 4.24%에서 1.95%로 감소하여, 오븐을 이용한 건열조리 시 가열시간에 길어질수록 식품에 함유된 수분은 감소하는 것을 확인하였다.

돼지감자의 조회분 함량은 1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 시료에서 6.41%로 나타났고, 오븐에서 2-6분 동안 가열한 시료에서는 6.52-6.69%로 나타나 굽는 시간에 따른 통계적인 차이는 보이지 않았다. 조단백질 함량은 1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 대조군에서 1.24%로 가장 낮았고, 오븐에서 2-6분 동안 구운 시료에서 1.26-1.42%로 증가하였다. 조지방도 오븐에서 굽지 않은 대조군 시료에서 0.30%로 가장 낮은 수치를 나타냈으나, 굽는 시간에 비례하여 0.43-0.55%까지 증가함을 확인하였다. 이는 돼지감자를 오븐에서 가열한 시간이 길어짐에 따라 돼지감자침에 함유된 수분이 증발하여 그 함량이 감소하였기 때문에 조단백과 조지방의 상대적인 비율이 증가한 것으로 사료된다.

3.2. 당도, pH 및 탁도

굽는 시간을 달리하여 제조한 돼지감자차의 당도, pH 및 탁도 측정 결과는 Table 2와 같다. 1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 돼지감자차의 당도는 5.23 °Brix로 가장 낮았고,

Table 1. Proximate analysis of Jerusalem artichoke tea made with different heating time

| Measurement | Heating time (min) | | | |
|---------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| Moisture | 11.92±0.20 ^{1)a2)} | 10.58±0.33 ^b | 8.35±0.05 ^c | 4.46±0.01 ^d |
| Crude protein | 1.24±0.02 ^c | 1.26±0.00 ^c | 1.34±0.01 ^b | 1.42±0.04 ^a |
| Crude fat | 0.30±0.01 ^b | 0.43±0.05 ^{ab} | 0.52±0.10 ^a | 0.55±0.03 ^a |
| Crude ash | 6.41±1.30 | 6.65±0.11 | 6.52±0.29 | 6.69±0.12 ^{ns} |

¹⁾Data were the mean±SD of triplicate experiments.

^{2)a-d)}Values with different superscript letters within the same row are significantly different at p<0.05.

Table 2. Sugar contents, pH, and turbidity of Jerusalem artichoke tea made with different heating time

| Measurement | Heating time (min) | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| Sugar contents (°Brix) | 5.23±0.06 ^{1)(d2)} | 5.40±0.00 ^c | 5.77±0.06 ^b | 6.30±0.00 ^a |
| pH | 6.43±0.00 ^a | 6.42±0.01 ^b | 6.17±0.00 ^c | 5.58±0.01 ^d |
| Turbidity | 0.12±0.00 ^c | 0.13±0.00 ^c | 0.17±0.00 ^b | 0.46±0.01 ^a |

¹⁾Data were the mean±SD of triplicate experiments.

^{2)a-d}Values with different superscript letters within the same row are significantly different at $p < 0.05$.

굽는 시간이 2-6분까지 증가함에 따라 돼지감자차의 당도도 5.40 °Brix에서 6.30 °Brix로 높아졌다. 이는 돼지감자 슬라이스를 오븐에서 굽는 동안 돼지감자에 함유된 수분이 증발하고, 열처리 시간이 길어질수록 돼지감자에 함유된 전분이 열분해되어 수용성 유리당으로 전환되고, 당류가 농축되므로 굽는 시간에 비례하여 돼지감자차의 당도가 증가하는 것으로 사료된다. Jung과 Shin(2017)은 HPLC를 이용하여 돼지감자에 함유된 유리당을 분석하였는데, sucrose의 함량이 가장 높았고, 그 뒤를 이어 fructose, glucose, galactose의 순으로 높음을 확인하였다.

1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 돼지감자차의 pH는 6.43으로 가장 높았고, 2분 동안 구운 돼지감자차의 pH는 6.42, 4분 동안 구운 돼지감자차의 pH는 6.17, 6분 구운 돼지감자차의 pH는 5.58로, 오븐에서 가열한 시간이 길어짐에 따라 pH는 감소하는 경향을 보였다. 돼지감자는 malic acid, citric acid, succinic acid와 같은 유기산을 함유하고 있으며(Jung과 Shin, 2017), 돼지감자차를 가공하는 과정에서 가열에 의해 유기산들이 돼지감자 표면에 많이 노출되어지면서 차로 우려낼 때 더 많은 유기산들이 쉽게 용출되어 차의 pH가 낮아질 수 있다. 또한, 가열시간이 길어짐에 따라 돼지감자에 함유된 유리당과 아미노산의 마이야르 반응이 진행되면서 갈색이 짙어지고, Amadori 재배열을 거치면서 방출된 수소이온이 pH를 저하시킨 것으로 사료된다(Levin과 Ryan, 2009; Sung과 Chen, 2017). 발아 벼차(Lee 등, 2009), GABA 함유 유색미차(Kwak, 2010)의 제조에서도 재료의 볶음 시간이 증가함에 따라 pH가 감소하여 본 연구와 유사한 양상을 보였다.

1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 돼지감자차의 탁도는 0.12로 가장 낮았고, 2-6분까지 굽는 시간이 증가함에 따

라 탁도는 0.13-0.46으로 급속히 증가함을 확인하였다. 본 연구 결과처럼 발아 벼차(Lee 등, 2009), GABA 함유 유색미차(Kwak, 2010), 우영차(Kwon과 Youn, 2014)의 제조에서도 열처리 시간이 길어짐에 따라 탁도가 높아짐을 확인하였고, 이는 굽는 시간이 길어짐에 따라 돼지감자에 함유된 불용성 전분이 용출되어 탁도가 높아지는 것으로 사료된다(Kwak, 2010).

3.3. 색도 및 갈색화 지표

굽는 시간을 달리하여 제조한 돼지감자차의 색도를 측정 한 결과는 Table 3과 같다. 1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 돼지감자 슬라이스로 제조한 차의 명도(L*)는 46.81로 가장 높았고, 돼지감자 슬라이스를 오븐에서 굽는 시간이 2-6분으로 증가함에 따라 명도값은 46.74에서 39.24로 급속히 감소하였다. 적색도(a*)는 대조군 시료에서 0.25로 가장 낮게 나타났고, 굽는 시간이 2분에서 6분까지 증가함에 따라 각각 0.26에서 3.64로 증가하였다. 황색도(b*)는 대조군에서 5.30으로 가장 낮은 값을 나타냈고, 돼지감자의 굽는 시간이 2분에서 6분까지 증가함에 따라 황색도값은 5.52에서 11.94로 큰 폭으로 증가하였다.

돼지감자차의 색도값을 이용하여 측정한 갈색화 지표의 경우, 대조군에서는 10.84로 가장 낮았고, 돼지감자 슬라이스를 오븐에서 2분 동안 가열한 후 제조한 돼지감자차는 11.85, 4분 및 6분 동안 가열한 돼지감자차는 각각 16.52 및 42.48로 가열시간에 비례하여 증가하였다. 특히, 돼지감자를 4-6분 동안 가열하는 사이에 명도값이 큰 폭으로 감소하고, 적색도와 황색도값이 증가함에 따라 갈색화 지표도 높은 증가를 나타냈다.

돼지감자와 같이 탄수화물이 많이 함유된 식품을 고온의

Table 3. Changes in Hunter's color value and browning index of Jerusalem artichoke tea made with different heating time

| Measurement | Heating time (min) | | | |
|------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| L* | 46.81±0.01 ^{1)a2)} | 46.74±0.02 ^a | 46.15±0.14 ^b | 39.24±0.04 ^c |
| a* | -0.25±0.01 ^b | -0.26±0.01 ^b | -0.35±0.01 ^c | 3.64±0.04 ^a |
| b* | 5.30±0.02 ^d | 5.52±0.02 ^c | 7.41±0.08 ^b | 11.94±0.01 ^a |
| BI ³⁾ | 10.84±0.54 ^d | 11.85±0.46 ^c | 16.52±0.85 ^b | 42.48±1.57 ^a |

¹⁾Data were the mean±SD of triplicate experiments.

^{2)a-d}Values with different superscript letters within the same row are significantly different at $p < 0.05$.

³⁾Browning index.

오븐에서 굽는 동안 돼지감자에 함유된 환원당과 아미노산이 비효소적인 마이야르 반응과 당류의 캐러멜반응을 거치면서 표면색이 어두워져 명도가 감소하고, 갈색화가 진행되면서 적색도와 황색도는 증가하는 것으로 사료된다. 갈변반응은 가열온도가 높을수록, 가열시간이 길어질수록 촉진되며 이러한 반응을 통해 고소한 냄새와 먹음직스러운 색이 형성되어 식품의 관능적인 특성이 증가한다(Rufian-Henares 등, 2009; van Boekel, 2006). 타 연구팀의 선행연구에서도 울무(Chung 등, 2006), 야콘(Hwang 등, 2013), 우영(Kwon과 Youn, 2014)의 경우, 가열하는 시간이 길어짐에 따라 명도는 낮아지고 적색도, 황색도 및 갈색화 지표는 증가하는 것으로 보고되어 본 결과와 유사한 양상을 나타냈다.

3.4. 총페놀성 화합물 및 총플라보노이드 함량

오븐에서 굽는 시간을 달리하여 제조한 돼지감자차의 총페놀성 화합물과 총플라보노이드 함량을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 총폴리페놀 함량은 대조군 시료에서 44.78 μg 으로 가장 낮았고, 돼지감자 슬라이스를 오븐에서 굽는 시간이 2-6분까지 길어짐에 따라 총폴리페놀 함량은 46.46-194.31 μg 으로 나타났으며, 이는 대조군에 비해 총

폴리페놀이 약 1.04-4.34배까지 증가한 수치였다. 총플라보노이드 함량은 대조군 시료에서 19.86 μg 으로 가장 낮았고, 돼지감자 슬라이스의 가열시간이 2-6분까지 길어짐에 따라 21.71-53.64 μg 으로 대조군 시료에 비해 약 1.09-2.70배까지 증가하였다.

고온에서 열처리를 하면 식품 내부조직이 파괴되면서 단단히 결합되어 있던 폴리페놀 및 플라보노이드 화합물이 용출되어 함량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Hong 등, 1998; Ravichandran 등, 2012; Yu 등, 2008). 따라서 가열시간에 비례하여 돼지감자 속에 함유된 총페놀성 화합물과 플라보노이드가 쉽게 용출되어 나오면서 함량이 증가한 것으로 사료된다. 타 연구팀의 선행연구에서도 울무(Chung 등, 2006), 포도씨(Kim 등, 2006), 쌀(Kwak, 2010), 결명자(Lee 등, 2013), 우영(Kwon과 Youn, 2014) 등을 활용한 침출차 제조에서도, 본 연구와 유사하게 가열시간이 길어짐에 따라 이들 식품에 함유된 총페놀성 화합물의 함량이 증가한 것으로 보고하고 있다.

3.5. 항산화 활성

가열시간을 달리하여 제조한 돼지감자차의 항산화 활성

Table 4. Total polyphenol and total flavonoid contents of Jerusalem artichoke tea made with different heating time

| Measurement | Heating time (min) | | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| Total phenolic content (μg GAE ²⁾ /mL) | 44.78±0.62 ^{1)c4)} | 46.46±0.61 ^c | 98.20±1.21 ^b | 194.31±5.03 ^a |
| Total flavonoid content (μg QE ³⁾ /mL) | 19.86±0.85 ^d | 21.71±0.81 ^c | 27.62±0.32 ^b | 53.64±0.81 ^a |

¹⁾Data were the mean±SD of triplicate experiments.

²⁾GAE, gallic acid equivalent.

³⁾QE, quercetin equivalent.

^{4)a-d}Values with different superscript letters within the same row are significantly different at $p < 0.05$.

을 측정 결과는 Table 5와 같다. 돼지감자차의 DPPH 라디칼 소거 활성은 대조군 시료에서 19.88%였고, 가열시간이 길어짐에 따라 30.26-57.04%까지 소거활성이 증가하였다. 돼지감자를 2분과 4분 동안 오븐에 가열 처리한 경우, 돼지감자차의 DPPH 라디칼 소거 활성은 각각 30.26 및 56.56%로 대조군 시료에 비해 각각 1.52 및 2.85배의 DPPH 라디칼 소거활성이 증가하였다.

돼지감자차의 ABTS⁺ 라디칼 소거 활성을 측정한 결과, 대조군 시료의 ABTS⁺ 라디칼 소거활성은 35.14%였고, 가열시간이 2분에서 6분까지 증가함에 따라 45.02%에서 67.78%까지 증가하였다. 돼지감자의 가열시간이 4분 및 6분까지로 증가한 시료의 ABTS⁺ 라디칼 소거활성은 대조군 시료에 비해 각각 1.68배 및 1.93배까지 증가하였다.

돼지감자차의 환원력도 가열시간에 비례하여 증가하는 것을 확인하였다. 즉, 1차 건조 후 오븐에 굽지 않은 대조군 시료의 흡광도는 0.36으로 가장 낮은 수치를 나타냈고, 오븐에서 굽는 시간이 2분에서 6분으로 길어짐에 따라 흡광도값도 0.38에서 0.97까지 높아져 환원력이 증가한 것을 확인하였다.

가열시간에 비례하여 항산화 활성이 증가하는 것은 대표적인 항산화 물질로 알려진 폴리페놀 및 플라보노이드 화합물이 열처리를 통해 증가하여 항산화 효과를 높인 것으로 사료된다. Hwang 등(2013)은 열처리 시간 및 온도를 달리 하여 야콘에서 생성되는 결합형과 유리형의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 측정한 결과, 열처리 시간이 길어지고 온도가 높아질수록 생야콘에 비해 결합형 성분은 감소하고, 생야콘에 비해 유리형 폴리페놀 및 플라보노이드 성분이 각각 1.2배 및 1.1배로 증가함을 확인하였다. 아울러, 열처리 시간에 비례하여 DPPH 및 ABTS⁺ 라디칼 소거활성도 생야콘에 비해 야콘에서 각각 1.7배 및 2.0배까지 높아져 본 연

구와 유사한 결과임을 확인하였다. 무(Kim, 2018), 인삼(Yu 등, 2019), 토마토(Gonzalez Rivero 등, 2022) 등의 채소류도 열처리 시간이 증가함에 따라 항산화 활성이 증가하였는데, 이는 가열시간이 길어질수록 세포벽이 파괴되고, 고분자 폴리페놀 화합물들이 저분자 물질들로 분해됨으로써 항산화 물질들이 더 쉽게 용출되어 항산화 활성이 높아지는 것으로 사료된다(Yoon 등, 2005). 또한, 건열처리를 통해 비효소적 갈변반응이 촉진되어 glucose, mannose 등의 당류와 아미노산이 결합하여 aldohexose 화합물, pyrazine 및 melanoidin을 포함한 다양한 갈변 부산물들이 생성되는데, 이들 화합물들이 항산화 활성을 증가시키는 것으로 알려져 있다(Nie 등, 2019; Sun 등, 2006). 따라서 돼지감자차 제조 시 1차적으로 수분을 제거한 후에 2-6분 정도 오븐에 굽는 과정을 거치면, 가열시간에 비례하여 폴리페놀 및 플라보노이드 성분의 용출이 더 용이하고, 이는 항산화 활성의 증가로 이어지는 긍정적인 결과를 나타내는 것으로 판단된다. 다만, Lee 등(2012)의 연구에 따르면 음료의 색이 맑을수록 소비자들의 선호도가 높고, 색이 어두울수록 선호도가 낮은 것으로 보고하고 있다. 따라서 돼지감자차 제조 시 가열시간이 길어지면 돼지감자차의 색이 짙은 갈색으로 변하게 되므로 관능적인 특성을 고려할 때, 6분 이상의 가열은 소비자 선호도를 감소시킬 수 있으므로 적절한 가열시간의 설정이 필요하다.

4. 요약 및 결론

돼지감자를 70°C 건조기에서 5시간 동안 건조하면서 수분을 제거한 후에 오븐에 넣어 2-6분까지 시간을 달리하여 가열하여 돼지감자차를 제조하고 품질 특성, 총페놀성 화합물, 플라보노이드 및 항산화 활성을 분석하였다. 건조기에서

Table 5. Antioxidant activities of Jerusalem artichoke tea made with different heating time

| Measurement | Heating time (min) | | | |
|---|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 |
| DPPH radical scavenging activity (%) | 19.88±2.18 ^{1)(c2)} | 30.26±6.59 ^b | 56.56±0.13 ^a | 57.04±0.53 ^a |
| ABTS ⁺ radical scavenging activity (%) | 35.14±1.42 ^d | 45.02±0.37 ^c | 59.05±0.81 ^b | 67.78±0.75 ^a |
| Reducing power (absorbance at 720 nm) | 0.36±0.02 ^d | 0.38±0.01 ^c | 0.79±0.03 ^b | 0.97±0.01 ^a |

¹⁾Data were the mean±SD of triplicate experiments.

^{2)a-d}Values with different superscript letters within the same row are significantly different at p<0.05.

건조 후 오븐에서 가열하지 않은 대조군의 수분은 11.92% 였고, 오븐에서 2-6분 동안 가열한 시료의 수분은 10.58%에서 4.46%로 급격히 감소하였다. 돼지감자의 조회분 함량은 대조군에서 6.41%로 나타났고, 오븐에서 2-6분 동안 가열한 시료에서는 6.52-6.69%로 나타났으며, 가열시간에 따른 통계적인 차이는 보이지 않았다. 조단백질과 조지방은 대조군에 비해 오븐에서 구운 시료에서 증가하는 경향을 나타냈다. 돼지감자를 오븐에 굽는 시간에 비례하여 돼지감자차의 당도와 탁도는 굽는 시간에 비례하여 증가하였고, pH는 감소하였다. 돼지감자차의 명도(L*)는 가열시간이 길어짐에 따라 낮은 값을 보였고, 적색도(a*), 황색도(b*)와 갈색화 지표는 가열시간에 비례하여 높아졌다. 돼지감자의 굽는 시간이 증가함에 따라 차 속에 용출되는 총페놀성 화합물과 플라보노이드 함량은 대조군에 비해 각각 1.04-4.34배 및 1.09-2.70배 증가하였다. 돼지감자의 가열시간이 길어질수록 돼지감자차로 제조했을 때 항산화 물질의 용출이 증가하여 항산화 활성도 높아짐을 확인하였다. 따라서 돼지감자차를 제조할 때 항산화 물질의 함량, 항산화 활성을 고려할 때 수분을 제거한 후에 오븐에서 6분 정도 굽는 과정을 거치는 것이 품질특성에 긍정적인 영향을 주는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 기본연구지원사업(과제번호 2021 R1F1A1060605)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 그 지원에 감사드립니다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Hwang ES. Methodology: Hwang ES. Formal analysis: Hwang ES, Shon EM. Validation: Hwang ES. Writing - original draft: Hwang ES. Writing - review & editing: Hwang ES, Shon EM.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Eun-Sun Hwang (First & Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-6920-3330>

EunMyeong Shon

<https://orcid.org/0000-0002-6304-9309>

References

- Ahmed W, Rashid S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 59, 1-13 (2019)
- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA, p 1-26 (1995)
- Baltacioglu C, Esin A. Chips production from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Food Nutr Sci*, 3, 1321-1328 (2012)
- Chang K. World tea production and trade current and future development. 2015. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i4480e.pdf>. Accessed Jul 15, 2022.
- Cheung LM, Cheung PC, Ooi VE. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chem*, 81, 249-255 (2003)
- Chung HS, Kim KJ, Kwang SY. Effects of roasting temperature on phytochemical properties of Job's tears (*Coix lachrymajobi* L. var. mayeun) powder and extracts. *Korean J Food Preserv*, 13, 477-482 (2006)
- Gonzalez Rivero A, Keutgen AJ, Pawelzik E. Antioxidant properties of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mil.) as affected by cultivar and processing method. *Horticulture*, 8, 547 (2022)
- Hong MJ, Lee GD, Kim HK, Kwon JH. Change in functional and sensory properties of chicory roots induced by roasting processes. *Korean J Food Sci Technol*, 30, 413-418 (1998)
- Hwang EG, Lee SH, Kim BK, Kim SJ. Components and function of artichoke tea prepared by steaming and drying method. *J Korean Appl Sci*

- Technol, 36, 1-12 (2019)
- Hwang ES, Lee HK, Moon SJ. Quality characteristics, acrylamide content, and antioxidant activities of *Nurungji* manufactured with various heating times. J Korean Soc Food Sci Nutr, 49, 601-607 (2020)
- Hwang ES, Lee SA. Quality characteristic, acrylamide content, and antioxidant activity of cookies by baking time. J Korean Soc Food Sci Nutr, 50, 264-271 (2021)
- Hwang IG, Kim HY, Park BR, Han HM, Yoo SM. Effect of heat treatment on the antioxidant properties of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Korean J Food Nutr, 26, 857-864 (2013)
- Ji EJ, Yoo KM, Park JB, Hwang IK. Preparation of citron peel tea containing Yuza (*Citrus junos* Seib ex TANAKA) and its antioxidant characteristics. Korean J Food Cookery Sci, 24, 460-465 (2008)
- Jo SJ, Lee JE, Rho JO. Quality characteristics of lotus root tea added with *Gardenia jasminoides* powder and *Rubus coreanus* Miquel powder. J Korean Soc Food Cult, 31, 597-604 (2016)
- Jung BM, Shin TS. Organic acids, free sugars, and volatile flavor compounds by type of Jerusalem artichoke. J Korean Soc Food Sci Nutr, 46, 822-832 (2017)
- Kim HK. Antioxidant activity and antiproliferative effect of cancer cell using heated radish extract. J Adv Eng Technol, 11, 137-144 (2018)
- Kim HS, Hwang ES. Quality characteristics and antioxidant activities of 'Sikhye' containing different amounts of Jerusalem artichoke extract. Korean J Food Preserv, 28, 771-779 (2021)
- Kim JW, Kim JK, Song IS, Kwon ES, Youn KS. Comparison of antioxidant and physiological properties of Jerusalem artichoke leaves with different extraction processes. J Korean Soc Food Sci Nutr, 42, 68-75 (2013)
- Kim MK, Lee EJ, Kim KH. Effects of *Helianthus tuberosus* powder on the quality characteristics and antioxidant activity of rice sponge cakes. Korean J Food Culture, 29, 195-204 (2014)
- Kim SJ, Sohn HB, Nam JH, Lee JN, Chang DC, Kim YH. Comparison of rutin content and quality characteristics of tea products from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) by different processing and brewing methods. Korean J Food Sci Technol, 54, 185-195 (2022)
- Kim SY, Jeong SM, Park WP, Nam KC, Ahn DU, Lee SC. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts. Food Chem, 97, 472-479 (2006)
- Kwak EJ. Development of brown colored rice tea with high GABA content. J Korean Soc Food Sci Nutr, 39, 1201-1205 (2010)
- Kwon YR, Youn KS. Physicochemical of burdock (*Arctium lappa* L) tea depending on steaming and roasting treatment. Korean J Food Preserv, 21, 646-651 (2014)
- Lee GD, Yoon SR, Kim JO, Hur SS, Seo KI. Monitoring on the tea with steaming and drying process of germinated buckwheat. J Korean Soc Food Sci Nutr, 33, 212-217 (2004)
- Lee JH, Yang JE, Chung L. Sensory characteristic and drivers of liking for functional beverages. Korean J Food Cookery Sci, 28, 741-751 (2012)
- Lee KS, Kim GH, Kim HH, Kim ES, Park HM, Oh MJ. Quality characteristics of tea thermally processed from dried *Ixeris dentata* root. Korean J Food Preserv, 15, 524-531 (2008)
- Lee MH, Cho JH, Kim BK. Effect of roasting conditions on the antioxidant activities of *Cassia tora* L. Korean J Food Sci Technol, 45, 657-660 (2013)
- Lee SH, Lee YR, Hwang IG, Woo KS, Kim KH, Kim KJ, Jeong HS. Antioxidant activities and quality characteristics of germinated tough rice tea according to roasting temperature, time and leaching condition. Korean J Food Sci Technol, 41, 386-391 (2009)
- Levin RA, Ryan SM. Determining the effect of calcium cations on acrylamide formation in cooked wheat products using a model system.

- J Agric Food Chem, 57, 6823-6829 (2009)
- Ministry of Food and Drug Safety. Korean Food Standards Codex. 2022. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=30 Accessed Aug. 10, 2022.
- Monokhina AA, Dorokhov AS, Kobozeva TP, Fomina TN, Starovoitov VI. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems. *Agronomy*, 12, 465 (2022)
- Nam S, Kwon YR, Cho JH, Seo WD, Choi SW, Youn KS. Effect of roasting conditions on aromatic compounds and physicochemical characteristics of germinated aromatic rice (*Oryza sativa* L.-Miryang 302) tea. *Korean J Food Preserv*, 23, 673-679 (2016)
- Nie P, Wei QJ, Thakur K, Hu F, Prasad C, Wei ZJ. Antioxidant properties of Maillard reaction products derived from shrimp shell chitosan and xylose, fructose or glucose. *Curr Top Nutraceutical Res*, 17, 445-450 (2019)
- Oyaizu M. Studies on product of browning reaction. *Jap J Nutri*, 44, 307-315 (1986)
- Park HY, An NY, Ryu HK. The quality characteristics and hypoglycemic effect of cookies containing *Helianthus tuberosus* powder. *Korean J Community Living Sci*, 24, 233-241 (2013)
- Ravichandran K, Ahmed AR, Knorr D, Smetanska I. The effect of different processing methods on phenolic acid content and antioxidant activity of red beet. *Food Res Int*, 48, 16-20 (2012)
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad Biol Med*, 26, 1231-1237 (1999)
- Rufian-Henares JA, Delgado-Andrade C, Morales FJ. Assessing the Maillard reaction development during the toasting process of common flours employed by the cereal products industry. *Food Chem*, 114, 93-99 (2009)
- Seiler GJ, Campbell LG. Genetic variability for mineral element concentrations of wild Jerusalem artichoke forage. *Crop Sci*, 44, 289-292 (2004)
- Shao T, Yu Q, Zhu T, Liu A, Gao X, Long X, Liu Z. Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperglycaemia in high-fat-diet-induced diabetes mice through the intestinal microflora improvement. *Br J Nutr*, 123, 308-318 (2020)
- Shin MH, Chung NY. Quality evaluation of brown rice *Sulgidduk* added with Jerusalem artichoke powder. *J East Asian Soc Diet Life*, 29, 112-119 (2019)
- Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic*, 16, 144-158 (1965)
- Slimestad R, Seljaasen R, Meijer K, Skar SL. Norwegian-grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): Morphology and content of sugars and fructo-oligosaccharides in stems and tubers. *J Sci Food Agric*, 90, 956-964 (2010)
- Sun Y, Hayakawa S, Chuamanochan M, Fujimoto M, Innun A, Izumori K. Antioxidant effects of Maillard reaction products obtained from ovalbumin and different D-aldohexoses. *Biosci Biotechnol Biochem*, 70, 598-605 (2006)
- Sung WC, Chen CY. Influence of cookies formulation on the formation of acrylamide. *J Food Nutr Res*, 5, 370-378 (2017)
- van Boekel MAJS. Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnol Adv*, 24, 230-233 (2006)
- Woisky RG, Salatino A. Analysis of propolis: Some parameters and procedures for chemical quality control. *J Apicultural Res*, 37, 99-105 (1998)
- Yoon SR, Lee MH, Park JH, Lee IS, Kwon JH, Lee GD. Changes in physicochemical compounds with heating treatment of ginseng. *J Korean Food Sci Nutr*, 34, 1572-1578 (2005)
- Yu J, Jang IB, Moon JW, Jang IB, Lee SW, Suh SJ. Physicochemical characteristics of a 4-year-old ginseng based on steaming temperature and times. *Korean J Med Crop Sci*, 27, 86-95 (2019)

Yu JS, Hwang IG, Woo KS, Chang YD, Lee CH, Jeong JH, Jeong HS. Physicochemical characteristics of *Chrysanthemum indicum* L. flower tea

according to different pan-firing times. Korean J Food Sci Technol, 40, 297-302 (2008)