pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 2, pp. 131~141 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.2.131

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

제주에서 생산되는 감귤칩의 항산화 활성

조만재[1] · 강은옥[2] · 이해원[3,4,5]*

[1]제주특별자치도 보건환경연구원 식품분석과, [2]제주특별자치도 상하수도본부
[3]제주대학교 식품생명공학과, [4]제주대학교 푸드테크센터, [5]제주대학교 첨단기술연구소

Antioxidant Activity of Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu*) Chips Produced in Jeju

Man Jae Cho[1], Eunok Kang[2], Hae-Won Lee[3,4,5]*

[1]*Food Analysis Division, Jeju Special Self-Governing Province Institute of Health and Environment, Jeju, Korea*
[2]*Waterwork Management Division, Jeju Special Self-Governing Province Water Supply and Sewage Treatment Headquarters, Jeju, Korea*
[3]*Department of Food Bioengineering, Jeju National University, Jeju, Korea*
[4]*Food Tech Center (FTC), Jeju National University, Jeju, Korea*
[5]*Research Institute of Advanced Technology, Jeju National University, Jeju, Korea*

(Received February 27, 2026/Revised April 12, 2026/Accepted April 14, 2026)

ABSTRACT - Satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) is rich in antioxidant compounds, including polyphenols and flavonoids, and its dried chips have potential as functional food ingredients. In this study, we evaluated the antioxidant properties of satsuma mandarin chips produced in Jeju, Korea, with particular emphasis on the effect of peel retention. Total polyphenol content (TPC), total flavonoid content (TFC), vitamin C, narirutin, naringenin, hesperidin, and hesperetin were analyzed. Antioxidant activities were assessed using ferric reducing antioxidant power (FRAP), reducing power, phosphomolybdenum complex assay (PMA), and the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2′-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging assays. The TPC, TFC, and vitamin C contents of peel-containing chips were 699.45-928.06 mg GAE/100 g, 546.67-807.79 mg QE/100 g, and 107.01-169.54 mg/100 g, respectively, and were significantly higher than those of peel-removed samples (633.61-684.65 mg GAE/100 g, 476.57-511.21 mg QE/100 g, and 59.02-64.80 mg/100 g, respectively) (P<0.05). Narirutin and hesperidin were also present at higher levels in peel-containing chips (329.46-500.57 mg/100 g and 505.58-833.27 mg/100 g, respectively) than in peel-removed chips (282.83-288.06 mg/100 g and 159.77-170.92 mg/100 g, respectively) (P<0.05), whereas naringenin and hesperetin were not detected. In the control samples, satsuma mandarin peel showed higher levels of antioxidant compounds than the whole fruit or pulp (P<0.05). FRAP values and reducing power were significantly higher in peel-containing chips (27.32-38.30 mM TE/g and 12.20-20.50 mg BHTE/g, respectively) than in peel-removed samples (19.31-22.54 mM TE/g and 8.90-9.06 mg BHTE/g, respectively) (P<0.05). PMA values (44.72-51.31 mg AAE/g) did not differ significantly (P>0.05). DPPH and ABTS radical scavenging activities increased in a concentration-dependent manner, with peel-containing chips consistently showing higher activity across all tested concentrations (P<0.05). These results indicate that the antioxidant activity of satsuma mandarin chips is due to the combined effects of multiple compounds. Therefore, retaining the peel during processing is critical for maintaining functional quality.

Keywords: Satsuma mandarin, Antioxidant activity, Functional food, Polyphenols, Flavonoids

*Correspondence to: Hae-Won Lee, Department of Food Bioengineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
Tel: +82-64-754-3616, Fax: +82-64-755-3601
E-mail: lhw0875@jejunu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

감귤은 전 세계적으로 널리 소비되는 과일로서 비타민 C, 식이섬유 및 페놀화합물 등을 포함한 다양한 생리활성 화합물을 풍부하게 함유하고 있는 것으로 보고되고 있다[1-3]. 특히 감귤에 함유된 플라보노이드 성분인 헤스페리딘, 나리루틴, 노빌레틴 등은 항산화, 항염 및 심혈관계 건강 증진 효과와 관련하여 다수의 선행연구를 통해 그 기능성이 보고된 바 있다[4-6]. 이러한 생리활성 성분은 감귤 유래 가공식품뿐만 아니라 감귤 부산물에서도 항산화 및 항균 활성을 지닌 다수의 화합물을 포함하고 있어 식품 산업적 활용 가능성이 큰 것으로 알려져 있다[7,8].

우리나라 감귤 생산의 대부분은 제주도에서 이루어지며, 제주 지역에서는 매년 약 40-60만 톤 내외의 감귤이 생산되는 것으로 보고되었다[9]. 그러나 이 중 약 20-30%는 크기 불균일, 외관 손상 또는 품질 기준 미달 등의 이유로 상품성이 낮아 유통되지 못한다[10]. 이러한 비상품 감귤은 주로 가공 원료로 활용되거나 일부는 폐기되어 자원 활용 측면에서의 효율성 저하 문제가 지속적으로 제기되고 있다[10].

비상품 감귤은 건조 등의 가공을 통해 감귤칩과 같은 형태의 가공식품으로 활용될 수 있으며, 수분 감소에 따른 저장성 향상으로 장기간 보관 및 유통이 가능하다[11,12]. 감귤칩은 비교적 단순한 공정을 통해 제조 가능하고, 첨가물 없이도 감귤에 함유된 일부 생리활성 성분을 유지할 수 있어 저가공 식품으로서의 활용 가능성을 지닌다[11,13]. 특히 건조된 감귤 제품은 플라보노이드와 같은 비교적 안정적인 생리활성 물질을 포함하고 있어 기능성 식품 소재로서의 잠재적 가치가 있다[14].

한편, 감귤칩은 제조 과정에서 수분이 제거됨에 따라 최종 제품의 성분 조성이 변화할 수 있으며, 이로 인해 항산화 성분의 함량 및 항산화 활성 또한 달라질 가능성이 있다[15]. 그러나 현재 시판되고 있는 감귤칩 제품을 대상으로 최종 제품 자체의 항산화 성분 함량 및 항산화 활성을 체계적으로 평가한 연구는 제한적인 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시판 감귤칩을 대상으로 항산화 성분 함량과 항산화 활성을 분석함으로써 감귤칩의 기능성 식품으로서의 가능성을 검토하고, 나아가 비상품 감귤의 고부가가치 활용에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

실험재료

본 실험에 사용된 감귤칩 8종은 제주에서 생산된 감귤을 슬라이스 형태로 절단하여 첨가물 없이 건조한 과·채 가공품으로 2025년 11월 온라인 쇼핑몰에서 구입하여 분석 전까지 실온에 보관하였고(Table 1), 감귤칩의 대조군으로 사용된 감귤은 실험 직전에 지역마트에서 구입하여 사용하였다. 실험에 사용된 2 N Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, sodium nitrite, 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ), sodium acetate, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), ascorbic acid, potassium phosphate, hesperidin, sodium phosphate, ammonium molybdate, 2,2′-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS), potassium persulfate, 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol (BHT)는 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, acetone, acetonitrile, metaphosphoric acid, methanol, ethanol은 Merck KGaA (Darmstadt, Germany)에서 구입하였다. Sodium carbonate, aluminum chloride, sodium hydroxide, ferric chloride hexahydrate, acetic acid, hydrochloric acid, sulfuric acid, potassium ferricyanide, trichloroacetic acid는 Junsei Chemical Co., Ltd. (Tokyo, Japan)에서 구입하였으며, quercetin, Trolox, narirutin, naringenin, hesperetin는 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd. (TCI, Tokyo, Japan)에서 구입하여 사용하였다. 그 외에 사용된 용매 및 기타 시약은 모두 분석용 또는 high-performance liquid chromatography (HPLC) 등급의 시약을 사용하였다.

추출물 제조

시료의 추출물을 제조하기 위해 사용되는 감귤칩 8종과 대조군으로 사용되는 감귤 생과(과육과 과피), 감귤 과육, 감귤 과피는 믹서기(hood mixer, OT Wellbeing Co., Ltd., Siheung, Korea)를 이용하여 분쇄하였다. 분쇄한 시료 5 g를 80% ethanol 100 mL과 혼합하고, 24시간 동안 실온에서 방치하였다. 혼합액을 원심분리기(UNION 5KR, Hanil Scientific Inc., Gimpo, Korea)를 이용하여 4,000×g에서 20

Table 1. Information on Satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) chips produced in Jeju, Korea

Sample	Expiration date	Ingredients	Presence of peel
A	2027. 01. 19.	Satsuma mandarin 100%	O
B	2026. 07. 09.	Satsuma mandarin 100%	O
C	2026. 08. 11.	Satsuma mandarin 100%	X
D	2026. 07. 28.	Satsuma mandarin 100%	X
E	2026. 09. 27.	Satsuma mandarin 100%	O
F	2026. 08. 13.	Satsuma mandarin 100%	O
G	2026. 08. 21.	Satsuma mandarin 100%	O
H	2026. 06. 24.	Satsuma mandarin 100%	O

분간 원심분리하고, 상층액을 취하여 여과지(Advantec filter paper No. 5B, Advantec Toyo Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)로 여과하였다. 이후 최종 농도가 50 mg/mL가 되도록 조정하여 추출물을 제조하였다.

총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등[16]이 제시한 방법을 변형하여 측정하였다. 적당히 희석한 시료의 추출물 0.2 mL에 2% sodium carbonate 용액 2 mL을 첨가한 뒤, 실온에서 3분간 반응시켰다. 이후 증류수 2 mL와 2 N Folin-Ciocalteu's 시약을 0.1 mL 첨가하고 암실에서 30분간 반응시킨 후 분광광도계(Cary UV-Vis Compact, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선(y=2.5536x+0.0483, R^2=0.9956)은 gallic acid를 0.025-1.000 mg/mL 농도 범위로 조제하여 작성하였고, 총 폴리페놀 함량은 표준검량곡선을 이용하여 환산한 후, 시료 중량을 기준으로 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g으로 산출하였다.

총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드 함량은 Shen 등[17]이 제시한 방법을 변형하여 측정하였다. 적당히 희석한 시료의 추출물 0.5 mL에 증류수 3.2 mL와 5% sodium nitrite 용액 0.15 mL를 가하고, 실온에서 5분간 반응시킨 후, 10% aluminium chloride 용액 0.15 mL를 첨가하여 다시 5분간 반응시켰다. 이후 1 M sodium hydroxide 용액 1.0 mL를 첨가한 뒤, 분광광도계를 이용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선(y=2.2189x+0.0191, R^2=0.9991)은 quercetin을 0.025-1.000 mg/mL의 농도 범위로 조제하여 작성하였고, 총 플라보노이드 함량은 표준검량곡선을 이용하여 환산한 후, 시료 중량을 기준으로 mg quercetin equivalents (QE)/100 g으로 산출하였다.

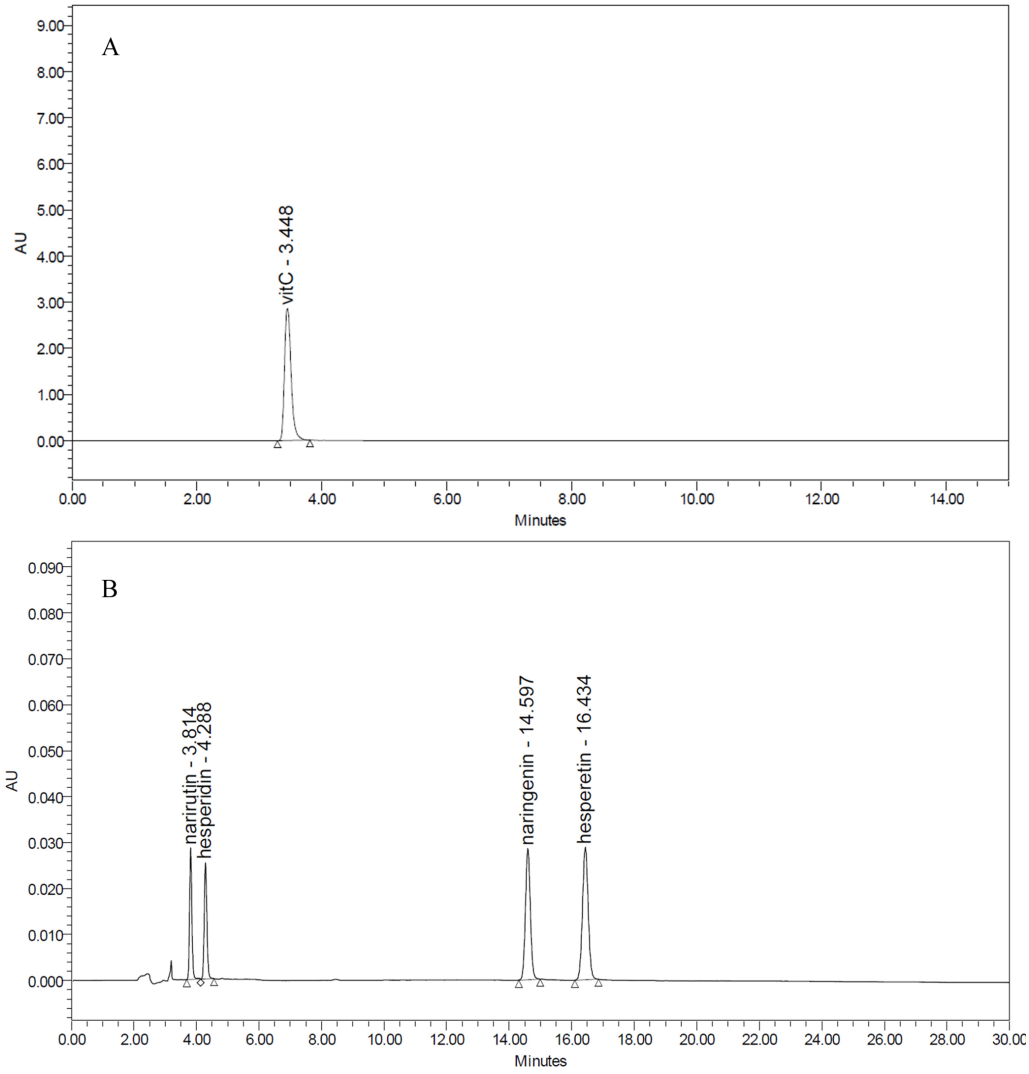

Fig. 1. HPLC-PDA chromatograms of a vitamin C standard (A) and narirutin, naringenin, hesperidin, and hesperetin standards (B).

Table 2. HPLC analysis condition for vitamin C

Item	Condition
Instrument	Alliance 2695, Waters
Column	Waters mBondapak NH_2 (10 μm, 3.9×300 mm)
Column temperature	Room temperature
Mobile phase	0.05 M KH_2PO_4: 100% acetonitrile (60:40)
Flow rate	1.0 mL/min
Detector	PDA at 254 nm
Injection volume	10 μL

Table 3. HPLC analysis condition for narirutin, naringenin, hesperidin, and hesperetin

Item	Condition		
Instrument	Alliance 2695, Waters		
Column	Capcell Pak C18 MG (5 μm, 4.6×250 mm)		
Column temperature	40°C		
Mobile phase	A: 100% acetonitrile, B: 788 mL water with 2mL formic acid		
Gradient	Time (min)	A (%)	B (%)
	0	30	70
	5	30	70
	10	35	65
	20	35	65
	25	30	70
	30	30	70
Flow rate	1 mL/min		
Detector	PDA at 280 nm		
Injection volume	10 μL		

비타민 C 함량

비타민 C 함량은 대한민국 식품의약품안전처 건강기능식품공전[18]의 방법에 따라 분석하였다. 분쇄한 시료 1 g에 5% metaphosphoric acid 용액을 가하여 최종 부피가 50 mL이 되도록 한 후 혼합하였다. 혼합액은 원심분리기를 이용하여 4,000×g에서 20분간 원심분리하고, 상층액을 0.45 μm PVDF syringe filter (ChemcoKorea Co., Ltd., Cheongju, Korea)로 여과하고, 5% metaphosphoric acid 용액으로 적당히 희석한 뒤 HPLC(Alliance 2695, Waters, Milford, MA, USA)로 분석하였다. 비타민 C 함량은 표준물질인 ascorbic acid를 5% metaphosphoric acid 용액에 농도별로 희석하여 제조한 표준용액을 분석한 표준검량곡선으로부터 정량하였다(Fig. 1A, Table 2).

나리루틴, 나린제닌, 헤스페리딘 및 헤스페레틴 함량

나리루틴, 나린제닌, 헤스페리딘 및 헤스페레틴 함량은 Büyüktuncel[19]의 방법을 수정하여 분석하였다. 시료의 추출물 1 mL에 methanol을 적당히 가하여 희석한 후 혼합하였다. 혼합액을 0.45 μm PVDF syringe filter로 여과하여 HPLC로 분석하였다. 표준물질인 narirutin, naringenin, hesperidin 및 hesperetin을 메탄올에 농도별로 희석하여 제조한 표준용액을 분석한 표준검량곡선으로부터 정량하였다(Fig. 1B, Table 3).

FRAP 활성

Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) 활성은 Benzie 등[20]이 제시한 방법을 변형하여 측정하였다. 300 mM sodium acetate와 300 mM acetic acid를 혼합하여 sodium acetate buffer (pH 3.6)를 만들었다. 40 mM hydrochloric acid 용액에 TPTZ 첨가하여 10 mM TPTZ 용액을 만들었다. FRAP 반응용액은 sodium acetate buffer (pH 3.6), 10 mM TPTZ 용액, 20 mM ferric chloride hexahydrate 용액을 10:1:1 비율로 혼합하여 갈색병에 보관하였으며, 사용 전 항온수조(C-WBD2, Changshin science, Seoul, Korea)에 넣고 37°C에서 10분 이상 예열 뒤 사용하였다. 갈색 튜브에 10배 희석한 시료의 추출물 0.12 mL와 FRAP 반응용액 3.6 mL, 증류수 0.36 mL를 가하고 혼합한 뒤 항온수조에 넣고 37°C에서 10분간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선(y=1.6974x+0.1599, R^2=1.0000)은 trolox를 0.1-4.0 mM의 농도 범위로 조제하여 작성하였으며, 시료의 FRAP 활성은 표준검량곡선을 이용하여 환산한 후, 시료 중량을 기준으로 mM trolox equivalents (TE)/g으로 산출하였다.

환원력 측정

환원력은 Lai 등[21]이 제시한 방법을 변형하여 측정하였다. 200 mM의 sodium phosphate buffer (pH 6.6) 1.25 mL와 1% potassium ferricyanide 1.25 mL에 시료의 추출물 1 mL를 혼합하고, 50°C 항온수조에서 20분 동안 반응시켰다. 반응용액에 10% trichloroacetic acid 1.25 mL를 혼합하고, 원심분리기를 이용하여 4°C에서 3000×g로 10분간 원심분리하였다. 상층액 2.5 mL을 취하여 증류수 5 mL와 0.1% ferric chloride 1.25 mL를 혼합한 후 분광광도계를 이용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선(y=2.6471x+0.0043, R^2=0.9948)은 BHT를 0.025-0.500 mg/mL의 농도 범위로 조제하여 작성하였으며, 시료의 환원력은 표준검량곡선을 이용하여 환산한 후, 시료 중량을 기준으로 mg butylated hydroxytoluene equivalents (BHTE)/g으로 산출하였다.

Phosphomolybdenum complex assay

Phosphomolybdenum complex assay (PMA)은 Prieto 등[22]이 제시한 방법을 변형하여 측정하였다. 6 M sulfuric acid 100 mL, 28 mM sodium phosphate 100 mL, 4 mM ammonium molybdate 100 mL를 혼합한 후, 증류수 700 mL를 첨가하여 총 1 L의 반응 시약 용액을 제조하였다. 시료의 추출물 400 μL에 반응 시약 용액 4 mL를 첨가하여 혼합한 후, 90°C로 설정된 항온수조에서 90분간 반응시켰다. 반응이 완료된 혼합물은 실온에서 냉각한 뒤, 분광광도계를 사용하여 695 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선 ($y=3.9254x+0.1532$, $R^2=0.9998$)은 ascorbic acid를 0.025-1.000 mg/mL의 농도 범위로 조제하여 작성하였고, 시료의 PMA은 표준검량곡선을 이용하여 환산한 후, 시료 중량을 기준으로 mg ascorbic acid equivalents (AAE)/g으로 산출하였다.

DPPH 자유 라디칼 소거능

DPPH 자유 라디칼 소거능(free radical scavenging capacity)은 Blois[23]가 제시한 방법에 따라 측정하였다. 시료의 추출물 1 mL, 증류수 3 mL 및 0.2 mM DPPH 용액 4 mL를 혼합한 후, 암실에서 30분간 반응시켰다. 혼합액의 흡광도는 분광광도계를 이용하여 517 nm에서 측정하였다. 양성 대조군으로는 10 mg/mL 농도의 ascorbic acid을 사용하였으며, DPPH 자유 라디칼 소거능(SA_{DPPH})은 *Eq.* (1)를 이용하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$SA=[(A-B)/A]\times100 \quad (1)$$

SA: Scavenging activity of the tested samples (%)
A: Absorbance of the control
B: Absorbance of the sample

ABTS 자유 라디칼 소거능

ABTS 자유 라디칼 소거능(free radical scavenging capacity)은 Pellegrini 등[24]의 방법을 변형하여 측정하였다. 7 mM ABTS 용액과 2.45 mM potassium persulfate 용액을 1:1 비율로 혼합한 후, 37°C의 암실에서 24시간 동안 반응시켜 ABTS 자유 라디칼을 생성하였다. 생성된 ABTS 자유 라디칼 용액은 에탄올로 희석하여, 734 nm에서 흡광도가 1.0이 되도록 조절하였다. 이후, 시료의 추출물 360 μL에 ABTS 용액 3.6 mL를 첨가하고 혼합하여 6분간 반응시킨 후, 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 양성 대조군으로는 10 mg/mL 농도의 ascorbic acid을 사용하였으며, ABTS 자유 라디칼 소거능(SA_{ABTS})은 Eq. (1)를 이용하여 백분율(%)로 계산하였다.

통계분석

모든 실험 결과에 대한 통계 처리는 SPSS 24.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 수행하였다. 분산분석 (ANOVA) 후, Duncan의 다중 범위 검정(Duncan's multiple range test)을 통해 $P<0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 검정하였다. 또한, 항산화 성분과 활성 간의 상관관계는 Pearson 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 이용하여 분석하였으며, 이때 통계적 유의성을 함께 평가하였다.

Results and Discussion

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

감귤 과육의 수분함량은 86.49-90.61%, 감귤 과피의 수분함량은 67.66-81.08% 수준이며, 건조 처리된 감귤칩은 3.59-7.89%의 낮은 수분함량을 나타내는 것으로 보고되고 있다[25]. 이러한 차이는 건조 과정에서 수분이 제거됨에 따라 고형분 비율이 상대적으로 증가하기 때문이다. 따라서, 본 연구에서 분석된 항산화 활성 성분 및 항산화 활성 지표는 시료 간 수분 및 고형분 함량 차이에 의해 영향을 받을 수 있다.

감귤칩의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량을 분석한 결과(Table 4), 시료 간 유의적인 차이가 나타났다 ($P<0.05$). 총 폴리페놀 함량은 과피가 포함된 감귤칩에서 699.45-928.06 mg GAE/100 g 범위로 나타났으며, 과피가 제거된 감귤칩은 633.61-684.65 mg GAE/100 g으로 상대적으로 낮은 함량을 보였다. 이에 따라 과피가 포함된 감귤칩(A, B, E, F, G, H)이 과피가 제거된 감귤칩(C, D)보다 유의적으로 높은 총 폴리페놀 함량을 나타냈다. 이는 감귤 과피가 폴리페놀계 항산화 물질의 주요 축적 부위임을 시사한다. 또한, 감귤 생과, 과육 및 과피의 총 폴리페놀 함량은 각각 170.25, 129.96 및 356.06 mg GAE/100 g으로 감귤 과피에서 가장 높은 함량이 확인되었다.

총 플라보노이드 함량 역시 과피가 포함된 감귤칩에서 546.67-807.79 mg QE/100 g으로 과피가 제거된 감귤칩 (476.57-511.21 mg QE/100 g)보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 이는 플라보노이드계 화합물이 과피에 주로 분포하고 있음을 반영하는 결과로 판단된다. 감귤 생과, 과육 및 과피의 총 플라보노이드 함량은 각각 107.72, 44.95 및 378.17 mg QE/100 g으로 감귤 과피에서 현저히 높은 함량을 보였다.

한편, 대조군(감귤 생과, 과육 및 과피)과 비교했을 때 감귤칩의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량은 전반적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 이는 건조 공정이 수분 제거에 따른 고형분 농축 효과를 통해 항산화 성분의 상대적 함량을 증대시킨 것으로 판단된다. 또한, 감귤 가공 시 과피의 보존 여부가 최종 제품의 기능성 품질을 좌우하는 주요 인자임을 확인하였다.

비타민 C 함량

감귤칩의 비타민 C 함량을 분석한 결과(Table 4), 시료

Table 4. Antioxidant indicator components of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) chips produced in Jeju, Korea

Sample	TPC[1)] (mg GAE/100 g)	TFC[2)] (mg QE/100 g)	Vitamin C (mg/100 g)	Narirutin (mg/100 g)	Naringenin (mg/100 g)	Hesperidin (mg/100 g)	Hesperetin (mg/100 g)
Fresh whole mandarin	170.25±2.29[3)j4)]	107.72±3.08[i]	35.33±0.14[j]	70.24±0.09[j]	N.D.[5)]	90.24±0.25[j]	N.D.
Mandarin pulp	129.96±2.19[k]	44.95±0.65[j]	24.68±0.10[k]	64.68±0.19[k]	N.D.	71.41±0.15[k]	N.D.
Mandarin peel	356.06±1.98[i]	378.17±10.82[h]	48.99±0.25[i]	138.45±1.27[i]	N.D.	171.86±1.71[g]	N.D.
A	807.78±5.46[d]	574.63±21.59[d]	107.01±0.99[f]	437.87±0.60[c]	N.D.	525.65±0.75[e]	N.D.
B	736.85±1.95[e]	546.67±9.24[e]	165.52±0.73[c]	329.46±1.90[f]	N.D.	505.58±2.45[f]	N.D.
C	633.61±7.07[h]	476.57±19.58[g]	59.02±0.38[h]	282.83±1.43[h]	N.D.	159.77±0.88[i]	N.D.
D	684.65±4.71[g]	511.21±4.30[f]	64.80±0.41[g]	288.06±1.28[g]	N.D.	170.92±0.63[h]	N.D.
E	928.06±8.86[a]	807.33±11.30[a]	148.59±0.77[d]	430.48±1.06[d]	N.D.	534.94±1.49[d]	N.D.
F	699.45±5.06[f]	738.25±6.58[b]	187.87±0.77[a]	500.57±2.11[a]	N.D.	764.48±4.36[b]	N.D.
G	852.15±2.00[c]	807.79±13.97[a]	130.81±0.91[e]	449.51±0.82[b]	N.D.	833.27±0.83[a]	N.D.
H	881.73±5.10[b]	699.06±15.80[c]	169.54±3.19[b]	338.81±0.53[e]	N.D.	703.08±1.45[c]	N.D.

[1)]TPC: Total phenolic content.
[2)]TFC: Total flavonoid content.
[3)]Each value is expressed as mean±standard deviation (n=3).
[4)]Means with different letters (a-k) in the same column significantly different at $P<0.05$.
[5)]N.D.: Not detected.

간에 유의적인 차이가 확인되었다($P<0.05$). 과피가 포함된 감귤칩의 비타민 C 함량은 107.01-169.54 mg/100 g으로 나타났으며, 과피가 제거된 감귤칩은 59.02-64.80 mg/100 g으로 뚜렷하게 낮은 함량을 보였다. 이에 따라 과피가 포함된 감귤칩(A, B, E, F, G, H)이 과피가 제거된 감귤칩(C, D)보다 전반적으로 높은 비타민 C 함량을 나타냈다. 대조군의 경우, 감귤 생과, 과육 및 과피의 비타민 C 함량은 각각 43.27, 36.58 및 89.64 mg/100 g으로 비타민 C 또한 과육보다 과피에 더 많이 분포하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 감귤 가공 시 과피의 유지가 비타민 C 보존 및 기능성 강화 측면에서 중요하게 작용함을 시사한다.

나리루틴, 나린제닌, 헤스페리딘 및 헤스페레틴 함량

감귤칩의 나리루틴, 나린제닌, 헤스페리딘 및 헤스페레틴 함량을 분석한 결과(Table 4), 시료 간에 유의적인 차이가 나타났다($P<0.05$). 나리루틴 함량은 과피가 포함된 감귤칩에서 329.46-500.57 mg/100 g으로 나타났으며, 과피가 제거된 감귤칩에서는 282.83-288.06 mg/100 g으로 상대적으로 낮은 함량을 보였다. 또한, 감귤 생과, 과육 및 과피의 나리루틴 함량은 각각 70.24, 64.68, 168.45 mg/100 g으로 감귤 과피에서 가장 높은 함량을 나타냈다.

헤스페리딘 함량은 과피가 포함된 감귤칩에서 505.58-833.27 mg/100 g이었으며, 과피가 제거된 감귤칩에서는 159.77-170.92 mg/100 g으로 유의적으로 낮았다. 감귤 생과, 과육 및 과피의 헤스페리딘 함량은 각각 90.24, 71.41, 171.86 mg/100 g으로 감귤 과피에서 가장 높은 함량을 보였다.

한편, 나린제닌과 헤스페레틴은 대조군을 포함한 모든 감귤칩에서 검출되지 않았다.

항산화 활성

감귤칩의 FRAP 활성과 환원력에서는 과피 유무에 따른 유의적인 차이가 확인되었으나($P<0.05$), PMA에서는 과피 유무에 따른 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다(Table 5).

FRAP 활성은 과피가 포함된 감귤칩은 27.32-38.30 mM TE/g으로 나타난 반면, 과피가 제거된 감귤칩은 19.31-22.54 mM TE/g로 과피가 제거된 감귤칩에서 유의적으로 낮은 활성을 보였다($P<0.05$). 대조군의 FRAP 활성은 각각 7.02, 3.99 및 14.03 mM TE/g으로 감귤 과피에서 가장 높은 활성을 나타내었다. 이러한 결과는 과피에 풍부한 폴리페놀, 플라보노이드 및 비타민 C와 같은 항산화 성분이 FRAP 활성에 복합적으로 기여했음을 시사한다.

환원력 또한 유사한 경향을 나타냈다. 과피가 포함된 감귤칩은 12.20-20.50 mg BHTE/g로 과피가 제거된 감귤칩은 8.90-9.06 mg BHTE/g보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다($P<0.05$). 대조군의 환원력은 각각 2.28, 1.96 및 3.34 mg BHTE/g으로 감귤 과피에서 가장 높은 환원력을 보였다. 따라서 환원력 역시 과피 유래 항산화 성분이 전자공여능 향상에 기여했음을 시사한다.

반면, 감귤칩의 PMA은 44.72-51.31 mg AAE/g으로 나타났으며, 과피가 포함된 감귤칩과 과피가 제거된 감귤칩 사이에서 유의적인 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 과피가 제거된 감귤칩(46.51-46.61 mg AAE/g)이 과피가 포함된 감귤칩의 PMA 범위 안에 포함되는 것으로 보아 PMA

Table 5. FRAP activity, Reducing power, and phosphomolybdenum complex assay of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) chips produced in Jeju, Korea

Sample	FRAP[1)] (mM TE/g)	Reducing power (mg BHTE/g)	PMA[2)] (mg AAE/g)
Fresh whole mandarin	7.02±0.16[3)j4)]	2.28±0.02[h]	11.09±0.26[e]
Mandarin pulp	3.99±0.21[k]	1.96±0.01[h]	11.10±0.12[e]
Mandarin peel	14.03±0.10[j]	3.34±0.03[g]	10.09±0.04[e]
A	28.60±1.35[e]	20.50±0.56[a]	44.72±1.63[d]
B	27.32±0.05[f]	15.00±0.07[c]	46.96±0.45[bc]
C	19.31±1.32[h]	8.90±0.09[f]	46.51±1.17[bc]
D	22.54±1.12[g]	9.06±0.21[f]	46.61±0.59[bc]
E	38.30±0.50[a]	17.99±0.12[b]	51.31±1.51[a]
F	35.20±0.75[d]	12.20±0.11[e]	45.58±0.83[cd]
G	36.70±0.47[c]	12.84±0.15[e]	48.03±1.22[b]
H	37.04±0.41[b]	13.75±0.80[d]	50.61±0.68[a]

[1)]FRAP: Ferric ion reducing antioxidant power activity.
[2)]PMA: Phosphomolybdenum complex assay.
[3)]Each value is expressed as mean±standard deviation (n=3).
[4)]Means with different letters (a-k) in the same column significantly different at $P<0.05$.

Table 6. DPPH free radical scavenging capacity and ABTS free radical scavenging capacity of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) chips produced in Jeju, Korea

Concentration	DPPH free radical scavenging capacity			ABTS free radical scavenging capacity		
	10 (mg/mL)	25 (mg/mL)	50 (mg/mL)	10 (mg/mL)	25 (mg/mL)	50 (mg/mL)
Fresh whole mandarin	10.73±0.42[1)i2)]	12.24±0.44[i]	20.99±0.30[i]	21.04±0.52[i]	25.05±0.12[h]	39.10±0.09[g]
Mandarin pulp	7.85±0.08[j]	9.83±0.10[j]	18.23±0.28[j]	12.30±0.76[j]	17.39±0.12[i]	28.71±0.11[h]
Mandarin peel	26.75±0.56[h]	28.74±0.36[h]	46.31±1.52[h]	49.16±1.38[f]	56.28±0.29[e]	73.98±0.58[e]
A	47.76±0.22[e]	53.16±0.38[e]	78.66±0.19[e]	62.53±1.40[c]	80.73±0.22[c]	84.16±0.40[c]
B	49.97±0.47[c]	57.45±0.59[c]	83.01±0.06[cd]	63.08±0.64[c]	80.84±0.17[c]	84.21±0.02[c]
C	28.95±0.28[g]	35.54±1.97[g]	59.02±0.58[g]	36.11±0.50[h]	50.36±0.40[g]	70.35±0.42[f]
D	33.54±0.43[f]	36.98±0.96[f]	60.83±0.45[f]	42.07±0.34[g]	53.59±0.28[f]	73.84±0.11[e]
E	51.37±0.58[b]	57.75±0.69[c]	83.53±0.05[bc]	65.22±1.91[b]	83.69±0.25[b]	85.17±0.05[b]
F	51.31±0.54[b]	60.41±0.16[b]	84.41±0.07[b]	56.45±0.80[e]	79.11±0.12[d]	82.84±0.05[d]
G	49.16±0.22[d]	55.41±0.25[d]	82.77±0.68[cd]	59.82±1.74[d]	78.67±0.16[d]	83.00±0.05[d]
H	48.78±0.55[d]	54.06±0.37[e]	82.16±0.18[d]	61.45±0.64[cd]	80.42±1.12[c]	83.74±0.03[c]
Ascorbic acid	86.40±0.43[a]	86.52±0.41[a]	86.65±0.38[a]	86.75±0.50[a]	86.88±0.50[a]	87.01±0.55[a]
BHT[3)]	85.87±0.38[a]	86.03±0.31[a]	86.14±0.29[a]	86.83±0.53[a]	86.94±0.52[a]	87.06±0.52[a]

[1)]Each value is expressed as mean±standard deviation (n=3).
[2)]Means with different letters (a-j) in the same column significantly different at $P<0.05$.
[3)]BHT: Butylated hydroxytoluene.

가 측정하는 총 항산화능은 시료 내 모든 항산화 성분의 복합적 기여를 반영하므로, 과피에 편재된 성분보다는 건조에 따른 고형분 농축 효과가 상대적으로 크게 영향을 준 것으로 판단된다. 대조군의 PMA은 각각 11.09, 11.10 및 10.09 mg AAE/g로 나타나 건조 과정 전 시료 대비 감귤칩에서 항산화능이 전반적으로 증가했음을 보여주었다.

따라서, 과피의 존재가 FRAP 활성과 환원력과 같은 전자공여 기반 항산화 지표를 유의적으로 증진시켰으나, PMA를 통한 총 항산화능 평가에서는 과피 유무에 따른 차이가 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이는 항산화 활성 평가 방법에 따라 기여 성분 및 반응 기작이 상이할 수 있음을 시사한다.

감귤칩의 DPPH 및 ABTS 자유라디칼 소거능은 고형분의 농도를 10, 25 및 50 mg/mL로 추출물을 제조하여 분석하였다(Table 6). 감귤칩의 DPPH 자유라디칼 소거능은 고형분의 농도 10 mg/mL에서 과피가 포함된 감귤칩(47.76-51.37%)이 과피가 제거된 감귤칩(28.95-33.54%)보다 유의적으로 높게 나타났다. 대조군은 각각 10.73, 7.85, 26.75%로 나타나 과피에서 높은 활성을 보였고, ascorbic acid (10 mg/mL)와 BHT (10 mg/mL)는 각각 86.40%와 85.87%로 확인되었다. 고형분 농도 25 mg/mL와 50 mg/mL에서도 동일한 경향이 나타났으며, 과피가 포함된 감귤칩에서 각각 53.16-60.41% 및 78.66-84.41%를 나타낸 반면, 과피가 제거된 감귤칩은 각각 35.54-36.98% 및 59.02-60.83%로 모든 농도 구간에서 과피가 포함된 감귤칩이 유의적으로 높은 활성을 보였다. 대조군 역시 과피에서 가장 높은 값을 보였으며, ascorbic acid (25-50 mg/mL)와 BHT (25-50 mg/mL)는 각각 86.52-86.65% 및 86.03-86.14%로 확인되었다.

감귤칩의 ABTS 자유라디칼 소거능 또한 고형분의 농도 10 mg/mL에서 과피가 포함된 감귤칩(56.45-65.22%)이 과피가 제거된 감귤칩(36.11-42.07%)보다 유의적으로 높게 나타났다. 대조군은 각각 21.04, 12.30, 49.16%로 과피에서 높은 활성을 보였으며, ascorbic acid (10 mg/mL)와 BHT (10 mg/mL)는 각각 86.75%와 86.83%로 나타났다.

고형분의 농도 25 mg/mL와 50 mg/mL에서도 과피가 포함된 감귤칩은 각각 78.67-83.69% 및 83.00-85.17%를 나타낸 반면, 과피가 제거된 감귤칩은 각각 50.36-53.59% 및 70.35-73.84%로 나타나 과피가 포함된 감귤칩이 과피가 제거된 감귤칩보다 일관되게 높은 활성을 나타냈다. 대조군 역시 고형분 농도 증가에 따라 증가하는 경향을 보였고, ascorbic acid (25-50 mg/mL)와 BHT (25-50 mg/mL)는 각각 86.88-87.01% 및 86.94-87.06%로 확인되었다. 이러한 결과 통해 감귤칩의 DPPH 자유라디칼 소거능과 ABTS 자유라디칼 소거능은 농도 의존적으로 증가하는 경향을 보였으며, 두 분석법 간 결과는 전반적으로 유사한 경향을 나타내었다. 또한 과피의 존재가 감귤칩의 항산화 활성에 주요한 기여를 하는 것으로 판단된다.

항산화 활성 성분과 항산화 활성 지표 간 상관관계분석

감귤칩 내 항산화 활성 성분과 다양한 항산화 활성 평가 지표 간 상관관계를 분석한 결과 대부분의 항목에서 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 확인되었다(Table 7). 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 함량은 서로 높은 양의 상관관계(r=0.883, P<0.001)를 나타내었고, 비타민 C는 총 폴리페놀 함량(r=0.460, P<0.01), 총 플라보노이드 함량(r=0.729, P<0.001) 및 나리루틴(r=0.598, P<0.001)과 유의적인 양의 상관관계를 나타내었다. 감귤칩 내 이런 항산화 활성 성분의 함량 변화간에는 전반적으로 유의적인 상관관계가 확인되었다. 항산화 활성 평가 지표 중 FRAP 활성은 총 폴리페놀 함량(r=0.840, P<0.001), 총 플라보노이드 함량(r=0.933, P<0.001), 비타민 C (r=0.749, P<0.001) 및 주요 플라보노이드 성분인 나리루틴(r=0.841, P<0.001)과 헤스페리딘(r=0.717, P<0.001)은 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 이는 이들 성분이 ferric 환원능에 직접적으로 관여함을 의미한다. 또한 환원력 역시 총 폴리페놀 함량(r=0.939, P<0.001), 총 플라보노이드 함량(r=0.802, P<0.001), 비타민 C (r=0.617, P<0.001), 나리루틴(r=0.836, P<0.001) 및 헤스페리딘(r=0.560, P<0.001)과 높은 양의 상관관계를 보여 전자공여능이 주로 페놀성 화합물의 함량에 의해 좌우됨을 확인하였다. PMA는 총 폴리페놀 함량(r=0.839, P<0.001), 나리루틴(r=0.670, P<0.001)과 유의적인 양의 상관관계를 나타내어 총 항산화능 지표로서 PMA가 특히 폴리페놀 및 특정 플라보노이드 성분인 나리루틴에 민감하게 반응함을 시사한다.

고형분 농도(10-50 mg/mL)에 따른 DPPH 자유 라디칼 소거능은 총 폴리페놀 함량(r=0.830-0.885, P<0.001), 총 플라보노이드 함량(r=0.891-0.916, P<0.001), 비타민 C (r=0.734-0.815, P<0.001), 나리루틴(r=0.842-0.867, P<0.001) 및 헤스페리딘(r=0.611-0.694, P<0.001)과 유의적인 양의 상관관계를 나타냈다. ABTS 자유 라디칼 소거능 역시 동일 농도 범위에서 총 폴리페놀 함량(r=0.809-0.836, P<0.001), 총 플라보노이드 함량(r=0.881-0.955, P<0.001), 비타민 C (r=0.511-0.774, P<0.01-0.001), 나리루틴(r=0.673-0.774, P<0.001) 및 헤스페리딘(r=0.394-0.671, P<0.05-0.001)과 양의 상관관계를 보여 DPPH 자유 라디칼 소거능과 유사한 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 감귤칩의 자유라디칼 소거능이 특정 단일 성분에 국한되기보다 항산화 활성 성분 전반의 함량과 관련되어 있음을 시사한다. 따라서, 감귤칩의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량은 다양한 항산화 활성 지표와 높은 상관관계를 나타났고, 비타민 C도 이들 항산화 활성에 보조적으로 중요한 역할을 하는 것으로 확인되어 감귤칩의 항산화 특성은 다중 항산화 성분들의 복합적 상호작용에 의해 결정됨을 시사한다.

본 연구에서 분석된 항산화 활성 성분 및 항산화 활성 지표는 시료간 유의적인 차이를 나타내었으며, 특히 감귤칩에서 상대적으로 높은 함량을 보였다. 이는 건조 과정에서 수분 감소로 고형분이 농축된 결과로 해석될 수 있다. 또한, 과피가 포함된 감귤칩과 과피가 제거된 감귤칩 사이에 항산화 활성 성분 및 항산화 활성 지표 분석결과는 유의적인 차이가 있었다. 일반적으로 감귤 과피는 과육에 비해 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 높은 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서도 과피가 포함된 감귤칩에서 상대적으로 높은 항산화 활성 성분 및 항산화 활성 지표가 관찰되었다. 반면, 과피가 제거된 감귤칩에서는 항산화 활성 성분 및 항산화 활성 지표가 비교적 낮게 나타났다.

Table 7. Pearson's correlation coefficients (r) between antioxidant compounds and antioxidant activities of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) chips produced in Jeju, Korea

Factor	TPC[1)]	TFC[2)]	Vit C	Narirutin	Hesperidin	FRAP[3)]	Reducing power	PMA[4)]	DPPH[5)] (10 mg/mL)	DPPH (25 mg/mL)	DPPH (50 mg/mL)	ABTS[6)] (10 mg/mL)	ABTS (25 mg/mL)	ABTS (50 mg/mL)
TPC	1													
TFC	0.883***	1												
Vit C	0.460**	0.729***	1											
Narirutin	0.752***	0.827***	0.598***	1										
Hesperidin	0.366*	0.863***	0.767***	0.648***	1									
FRAP	0.840***	0.933***	0.749***	0.841***	0.717***	1								
Reducing power	0.939***	0.802***	0.617***	0.836***	0.560***	0.900***	1							
PMA	0.839***	0.403	0.349	0.670***	0.123	0.571***	0.796***	1						
DPPH (10 mg/mL)	0.849***	0.916***	0.794***	0.842***	0.694***	0.940***	0.875***	0.621***	1					
DPPH (25 mg/mL)	0.830***	0.893***	0.815***	0.867***	0.693***	0.922***	0.867***	0.649***	0.991***	1				
DPPH (50 mg/mL)	0.885***	0.891***	0.734***	0.849***	0.611***	0.901***	0.881***	0.710***	0.985***	0.985***	1			
ABTS (10 mg/mL)	0.813***	0.954***	0.680***	0.684***	0.618***	0.893***	0.778***	0.455**	0.944***	0.908***	0.920***	1		
ABTS (25 mg/mL)	0.836***	0.955***	0.774***	0.774***	0.671***	0.926***	0.833***	0.531**	0.981***	0.960***	0.963***	0.985***	1	
ABTS (50 mg/mL)	0.809***	0.881***	0.511**	0.673***	0.394*	0.764***	0.693***	0.548**	0.877***	0.855***	0.905***	0.926***	0.919***	1

[1)]TPC: Total phenolic content.
[2)]TFC: Total flavonoid content.
[3)]FRAP: Ferric ion reducing antioxidant power activity.
[4)]PMA: Phosphomolybdenum complex assay.
[5)]DPPH: DPPH free radical scavenging capacity.
[6)]ABTS: ABTS free radical scavenging capacity.
[7)]Significance was determined by Pearson's correlation coefficient and *, **, and *** indicated the significance at $P<0.05$, $P<0.01$, and $P<0.001$.

이는 과피에 풍부하게 존재하는 항산화 활성 성분의 기여에 따른 결과로 판단된다. 따라서 시료 간 차이는 수분 감소에 따른 고형분 농축뿐만 아니라 과피 포함 여부에 의해서도 영향을 받는 것으로 해석된다. 이러한 결과는 시판 감귤칩 내 주요 항산화 성분과 이들의 항산화 활성 지표 간 관계를 규명하고, 감귤칩이 기능성 식품으로서 가지는 가능성을 확인하였고, 비상품 감귤의 고부가가치화 및 활용을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 본 연구는 항산화 성분 및 활성에 대한 비교분석에 기반한 결과로 개별 성분과 항산화 활성 간의 인과관계를 규명하지 못한 한계가 있다. 또한, in vitro 분석에 국한되어 실제 생체 내 기능성을 직접적으로 설명하기에는 제한이 있으므로 향후 생체 이용률 및 작용 기전에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원과제(S3452772)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

국문요약

감귤은 폴리페놀 및 플라보노이드를 비롯한 다양한 항산화 활성 성분을 함유한 대표적인 과일로 건조 가공을 통해 제조된 감귤칩은 기능성 식품 소재로 활용 가능성이 높다. 본 연구에서는 제주에서 생산되는 감귤칩의 항산화 특성을 규명하기 위하여 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, 비타민 C, 나리루틴, 나린제닌, 헤스페리딘 및 헤스페레틴, FRAP 활성, phosphomolybdenum complex assay (PMA), DPPH 및 ABTS 자유라디칼 소거능을 분석하였다. 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 비타민 C 함량은 과피가 포함된 감귤칩에서는 각각 699.45-928.06 mg GAE/100 g, 546.67-807.79 mg QE/100 g, 107.01-169.54 mg/100 g으로 나타났고, 과피가 제거된 감귤칩은 각각 633.61-684.65 mg GAE/100 g, 476.57-511.21 mg QE/100 g, 59.02-64.80 mg/100 g으로 나타났다(P<0.05). 나리루틴과 헤스페리딘 함량은 과피가 포함된 감귤칩에서는 각각 329.46-500.57 mg/100 g, 505.58-833.27 mg/100 g이었고, 과피가 제거된 감귤칩에서는 각각 282.83-288.06 mg/100 g, 159.77-170.92 mg/100 g로 나타났으며(P<0.05), 나린제닌과 헤스페레틴은 모든 시료에서 검출되지 않았다. 대조군에서 항산화 활성 성분은 감귤 과피가 감귤 생과와 감귤 과육보다 높은 함량을 나타냈다(P<0.05). FRAP 활성과 환원력은 과피가 포함된 감귤칩에서는 각각 27.32-38.30 mM TE/g, 12.20-20.50 mg BHTE/g이었고, 과피가 제거된 감귤칩에서는 각각 19.31-22.54 mM TE/g, 8.90-9.06 mg BHTE/g로 나타났다(P<0.05). 그러나 PMA는 44.72-51.31 mg AAE/g으로 과피가 포함된 감귤칩과 과피가 제거된 감귤칩에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). DPPH 및 ABTS 자유라디칼 소거능 또한 고형분의 농도 의존적으로 증가하였으며, 모든 농도 구간에서 과피가 포함된 감귤칩이 과피가 제거된 감귤칩 보다 유의적으로 높았다 (P<0.05). 이러한 결과는 감귤칩의 항산화 활성이 다양한 성분의 복합적 작용에 의해 발현되며, 가공 시 과피의 유지 여부가 기능성 품질에 중요한 영향을 미친다는 것을 시사한다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Man Jae Cho https://orcid.org/0000-0002-0166-4111
Eunok Kang https://orcid.org/0000-0003-3897-265X
Hae-Won Lee https://orcid.org/0000-0002-9420-6354

References

1. Zhang, Y., Sun, Y., Xi, W., Shen, Y., Qiao, L., Zhong, L., Ye, X., Zhou, Z., Phenolic compositions and antioxidant capacities of Chinese wild mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruits. *Food Chem.*, **145**, 674-680 (2014).
2. Shorbagi, M., Fayek, N.M., Shao, P., Farag, M.A., *Citrus reticulata* Blanco (the common mandarin) fruit: An updated review of its bioactive, extraction types, food quality, therapeutic merits, and bio-waste valorization practices to maximize its economic value. *Food Biosci.*, **47**, 101699 (2022).
3. Saini, R.K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K.G.M., Keum, Y.S., Bioactive compounds of citrus fruits: a review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, **11**, 239 (2022).
4. Xu, Y., He, P., He, B., Chen, Z., Bioactive flavonoids metabolites in citrus species: their potential health benefits and medical potentials. *Front. Pharmacol.*, **16**, 1552171 (2025).
5. Parhiz, H., Roohbakhsh, A., Soltani, F., Rezaee, R., Iranshahi, M., Antioxidant and anti-inflammatory properties of the citrus flavonoids hesperidin and hesperetin: an updated review of their molecular mechanisms and experimental models. *Phytother. Res.*, **29**, 323-331 (2015).
6. Mahmoud, A.M., Hernandez Bautista, R.J., Sandhu, M.A., Hussein, O.E., Beneficial effects of citrus flavonoids on cardiovascular and metabolic health. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, **2019**, 5484138 (2019).
7. Kelebek, H., Selli, S., Identification of phenolic compositions and the antioxidant capacity of mandarin juices and wines. *J. Food Sci. Technol.*, **51**, 1094-1101 (2014).
8. Andrade, M.A., Barbosa, C.H., Shah, M.A., Ahmad, N., Vilarinho, F., Khwaldia, K., Silva, A.S., Ramos, F., *Citrus* by-products: valuable source of bioactive compounds for

food applications. *Antioxidants*, **12**, 38 (2022).
9. USDA Foreign Agricultural Service (FAS), (2025, December 19). South Korea: Citrus Annual. Retrieved from https://www.fas.usda.gov/data/gain/2025/12/south-korea-citrus-annual
10. Heo, H.W., Research on the possible use of tangerines that are rejected for retail. Master's thesis, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea (2008).
11. Ra, H.N., Park, G.Y., Kim, H.Y., Cho, Y.S., Kim, K. M., Optimization of the manufacturing process for mandarin dry chip using response surface methodology (RSM). *J. Korean Soc. Food Cult.*, **34**, 637-644 (2019).
12. Mokapane, F.M., Fawole, O.A., Opara, U.L., Strategies to preserve quality and extend shelf life of dried fruits and vegetables: a review. *Acta Hortic.*, **1201**, 99-106 (2018).
13. Li, S., Mao, X., Guo, L., Zhou, Z., Comparative analysis of the impact of three drying methods on the properties of citrus reticulata blanco cv. dahongpao powder and solid drinks. *Foods*, **12**, 2514 (2023).
14. Kumar, D., Ladaniya, M.S., Gurjar, M., Kumar, S., Mendke, S., Quantification of flavonoids, phenols and antioxidant potential from dropped *Citrus reticulata* Blanco fruits influenced by drying techniques. *Molecules*, **26**, 4159 (2021).
15. Papoutsis, K., Pristijono, P., Golding, J.B., Stathopoulos, C.E., Bowyer, M.C., Scarlett, C.J., Vuong, Q.V., Effect of vacuum-drying, hot air-drying and freeze-drying on polyphenols and antioxidant capacity of lemon (*Citrus limon*) pomace aqueous extracts. *Int. J. Food Sci. Technol.*, **52**, 880-887 (2017).
16. Dewanto, V., Wu, X., Liu, R.H., Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 4959-4964 (2002).
17. Shen, Y. Jin, L. Xiao, P. Lu, Y., Bao, J., Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *J. Cereal Sci.*, **49**, 106-111 (2009).
18. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2026, January 21). Health functional food code. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FF
19. Büyüktuncel, E., Fast determination of naringin and hesperidin in natural and commercial citrus juices by HPLC method. *Asian J. Chem.*, **29**, 2384-2386 (2017).
20. Benzie, I.F., Strain, J.J., The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal. Biochem.*, **239**, 70-76 (1996).
21. Lai, F., Wen, Q., Li, L., Wu, H., Li, X., Antioxidant activities of water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (*Vigna radiata* L.) hull with ultrasonic assisted treatment. *Carbohydr. Polym.*, **81**, 323-329 (2010).
22. Prieto, P., Pineda, M., Aguilar, M., Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Anal. Biochem.*, **269**, 337-341 (1999).
23. Blois, M.S., Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, **181**, 1199-1200 (1958).
24. Pellegrini, N., Re, R., Yang, M., Rice-Evans, C., Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2′-azinobis(3-ethyleneben zothiazoline-6-sulfonic acid radical cation decolorization assay. *Methods Enzymol.*, **299**, 379-389 (1999).
25. Lee, M.Y., Lee, B.R., Choi, J.H.,Park, B.R., Choi, H.S., Yun, S.H., Kang, S.B., Kim, S.S., Park, K.J., Park, S.Y., Comparison of the processing properties of citrus cultivars. *Korean J. Food Cook Sci.*, **35**, 507-517 (2019).