



시나노골드 적과 사과 영양성분 및 생리활성 분석

신경철^{1,†} · 김영수^{2,†} · 김도연³ · 황광모² · 나채선^{4,*} · 박창수^{5,*}¹한국외국어대학교 생명공학과, ²일두산방 부설연구소, ³금산인삼약초산업진흥원 안전관리센터, ⁴국립백두대간수목원 야생식물종자실, ⁵대구가톨릭대학교 제약공학과

Nutritional components and bioactive compound analysis of Sinanogold thinned apple

Kyung-Chul Shin^{1,†}, Yeong-Su Kim^{2,†}, Do-Yeon Kim³, Kwangmo Hwang²,
Chae Sun Na^{4,*}, Chang-Su Park^{5,*}¹Department of Bioscience and Biotechnology, Hankuk University of Foreign Studies, Yongin 17035, Korea²R&D Center, Ildusanbang Co., Cheongsong 37434, Korea³Quality Test Team, Geumsan Ginseng and Herb Development Agency, Geumsan 32724, Korea⁴Division of Wild Plant Seeds, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea⁵Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Catholic University, Gyeongsan 38430, Korea

Abstract

This study investigated nutritional composition and bioactive properties of thinned Shinanogold apples to evaluate their potential as functional food and cosmetic ingredients. Thinned Shinanogold apples exhibited markedly higher vitamin C (16.22 mg/100 g), total phenolics (886.27 mg GAE/100g), and total flavonoids (31.54 mg QE/g) levels than mature apples. The antioxidant capacity, assessed using DPPH and ABTS radical scavenging assays, was significantly higher in thinned apples (74% and 72%, respectively) than in mature apples (48% and 52%, respectively). The tyrosinase inhibitory activity, which is important for melanin reduction, and α -glucosidase inhibitory activity, which play a role in delaying glucose absorption, were higher in thinned apples (67% and 70%, respectively) than in mature apples (X and X, respectively), suggesting potential use of thinned apples as skin-whitening and antidiabetic agents. Furthermore, lipoxygenase inhibitory activity was higher in thinned apples (52%) than in mature apples (42%), suggesting potential use of thinned apples as an anti-inflammatory agent. These findings demonstrate that thinned Shinanogold apples contain bioactive constituents with superior activities compared with mature fruits. In addition, these results highlight the potential use of thinned apples as functional food ingredients and cosmetic agents.

Keywords: Sinanogold, Thinned apple, Antioxidant activity, Anti-inflammatory effects, Whitening activity

서론

사과는 장미목 장미과의 낙엽성 교목으로 세계적으로 널리 재배되

고 소비되는 과일로, 다양한 영양성분과 건강 효능을 지니고 있다 (Lee et al., 2018). 특히 최근 ‘시나노골드’ 품종은 노란색 껍질의 특이한 사과로 당도 13~16브릭스, 산도 0.44~0.45%로 단맛과 신맛의

Received: Dec 10, 2025 / Revised: Jan 9, 2026 / Accepted: Jan 15, 2026 / Published: Feb 5, 2026

Corresponding author: Chae Sun Na, Division of Wild Plant Seeds, Baekdudaegan National Arboretum, Bonghwa 36209, Korea

E-mail: chaesun.na@koagi.or.kr

Corresponding author: Chang-Su Park, Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Catholic University, Gyeongsan 38430, Korea

E-mail: parkcs@cu.ac.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

Copyright © 2026 Korean Society for Food Engineering.

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.

균형이 뛰어나며, 단단하고 아삭아삭한 식감으로 소비자들에게 좋은 평가를 받고 있는 품종이다(Igarashi et al., 2016). 시나노골드는 비타민 C, 비타민 A, 비타민 B, 비타민 K, 칼륨, 마그네슘, 철분, 유기산, 폴리페놀, 플라보노이드 등 다양한 영양소를 풍부하게 함유하고 있으며 일반사과보다 비타민 C와 사과산이 더 높다고 알려져 있다(Masahiko et al., 2019; Takeuchi et al., 2015; Passafiume et al., 2021).

일반적으로 과일은 성숙 과정에서 당도가 증가하고 색과 맛이 강해진다(Kim et al., 2021). 과수 재배 과정에서 고품질 과실을 생산하기 위해 적과(숙아내기)를 통해 일부 열매를 숙아내는데, 이 과정에서 대량으로 미성숙 과일이 대량으로 발생하고 있으며 이러한 미성숙 과일은 주로 폐기되거나 일부가 사료로 활용되는 등 활용도가 높지 않다(Park et al., 2007; An et al., 2016; Choi et al., 2019).

그러나 미성숙 단계의 과일이 특정 기능성 성분들은 완숙 과일보다 더 높은 함량을 지니고 있다고 알려져 있다고 알려져 있다(Lee et al., 2012). 사과와 딸기가 성숙 과정이 진행되면서 항산화 활성이 현저하게 감소한다는 연구 결과가 있으며(Choi et al., 2013), 미성숙 복분자 추출물의 항산화 활성 및 미백활성, 풋굴, 풋사과, 풋토마토, 풋딸기 혼합 추출물 등의 피부 주름개선, 피부세포 재생 등 피부 건강 관련 연구가 발표되면서 미성숙 과일의 새로운 가치를 발굴하고 이를 이용한 고부가가치 제품 개발에 대한 관심이 증대하고 있다(Cha et al., 2007; Yi et al., 2021; Lee et al., 2023).

기존의 미성숙 과일 또는 적과 사과에 대한 연구들은 주로 항산화 활성과 폴리페놀 함량 증가에 초점을 맞추어 수행되어 왔다. 그러나 대부분의 연구는 단일 생리활성 평가에 국한되거나, 동일 품종 내에서 적과 사과와 완숙 사과를 직접 비교하지 않아 기능적 특성을 명확히 구분하는 데 한계가 있었다. 또한 식품 및 화장품 산업 적용을 동시에 고려한 다중 기능성 평가 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 시나노골드 사과 단일 품종을 대상으로 적과 사과와 완숙 사과의 영양성분을 비교 분석하고, 항산화, 미백, 항당뇨 및 항염증과 관련된 주요 효소 저해 활성을 종합적으로 평가하여 적과 사과의 기능적 특성을 다각도로 규명함으로써, 농산 부산물로 인식되어 온 적과 사과의 고부가가치 기능성 소재로서의 활용 가능성을 과학적으로 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에서는 경북 청송군 청송읍 농가에서 직접 수확한 시나노골드 적과사과를 냉동고(-20℃)에 보관하면서 사용하였다. 일반 성분 분석 및 생리활성 분석을 위해 사용한 Folin-Ciocalteu reagent, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azinobis (3-ethylbenzo-

thianoline-6-sulfonic acid (ABTS), elastase, tyrosinase, aluminum nitrate, gallic acid 및 기타 시약류는 Sigma (St Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 본 연구에 사용된 microplate reader는 Molecular Devices (VersaMax™, Sunnyvale, CA, USA)사의 제품을 rotary evaporate는 일본 Eyela (Tokyo, Japan)사의 제품을 사용하여 연구를 진행하였다.

일반성분 분석

시료의 일반성분은 공인분석화학자협회(Association of Official Analytical Chemists, AOAC)에 의하여 분석하였다. 즉 수분 함량은 105℃ 상압건조법, 회분 함량은 550℃ 직접회화법을 이용하여 분석하였으며, 조단백 함량은 Kjeldahl법을 단백질 분해장치(Gerhardt) 이용한 질소정량법, 조지방 함량은 ether 추출법조지방법을 추출장치(Gerhardt, Soxtherm)에 따라 성분 함량을 측정하였다. 탄수화물 함량은 분석된 수분, 회분, 조단백, 조지방 함량으로부터 계산하였다.

비타민 C 함량 분석

시료에 10% HPO₃ 용액을 첨가하여 균질화 후 원심분리기 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 상등액을 취하여 0.45 μm membrane filter로 여과하여 HPLC 분석용 시료로 사용하였다. Agilent 1260를 사용하였고, 사용된 column은 Kinetex C18, 5 μm, 4.6×150 mm이었으며, 이동상으로는 0.05M KH₂PO₄/ACN (60:40, v/v) 혼합액을 이용하여 254 nm에서 분석하였다. 이동상의 유속은 1.0 mL/min이었고, 시료 주입량은 10 μL이었으며, 분석온도는 35℃이었다. 표준물질은 L-ascorbic acid (Sigma, St. Louis, MO, USA)을 이용하여 검량선을 작성하여 정량하였다.

총페놀 함량 측정

시료의 총 페놀 함량은 Singleton and Rossi method (Singleton & Rossi, 1965)을 이용하여 Folin-Ciocalteu 시약이 페놀성 화합물에 의해 환원되어 몰리브덴 청색으로 발색되는 원리를 이용하여 분석하였다. 시료 100 μL에 2% Na₂CO₃ 용액을 2 mL 가한 후 3분간 방치 후 1.0N Folin-Ciocalteu reagent 100 μL를 가하였다. 2% Na₂CO₃ 용액을 가하고 30분 반응 후 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 사용하였다. 총폴리페놀의 시료 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다(mg GAE/g).

총플라보노이드 함량 측정

시료 중의 총플라보노이드 함량 측정은 Moreno 등(2000)의 방법으로 측정하였다. 각 시료 추출물 0.1 mL와 80% ethanol 0.9 mL를

혼합한 혼합물 0.5 mL에 10% aluminium nitrate와 1 M potassium acetate 0.1 mL, 그리고 80% ethanol 4.3 mL를 가하여 실온에 40분 반응 후 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 quercetin을 사용하였다. 총플라보노이드의 시료 g 중의 mg quercetin으로 나타 내었다(mg QE/g).

항산화 활성 측정

DPPH radical 소거능은 Blois의 방법을 변형하여 측정하였다 (Blois, 1958). 시료 0.2 mL에 에탄올에 녹인 0.5 mM 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 용액 0.8 mL를 가하고 vortexing한 후, 상 온의 암실에서 30분간 반응시키고, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. Reference는 시료 대신 D.W.를 사용하였으며, DPPH radical 소 거능은 시료 첨가구와 비첨가구(reference)의 흡광도 차이를 백분율 (%)로 표시하였다. 양성 대조군으로는 10 µg/mL 농도의 ascorbic acid를 사용하여 시험을 진행하였다.

ABTS radical 소거능은 Pellegrin et al.의 ABTS+ cation decolorization assay 방법(Pellegrin et al., 2010)에 따라 측정하였다. D.W.에 녹인 7.4 mM 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothianoline-6-sulfonic acid) (ABTS)와 2.6 mM potassium persulphate을 실온의 암소에서 하루동안 방치하여 ABTS+ radical를 형성시켰으며, 실험 직전에 ABTS+ 용액을 여러 단계로 희석시켜 O.D. 값을 0.8-0.9 사이로 조절하였다. 시료 50 µL에 희석된 ABTS+ 용액 1 mL를 가 하여 상온의 암소에서 10분간 반응시킨 후, 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. Reference는 시료 대신 D.W.를 사용하였으며, ABTS radical 소거능은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율 (%)로 표시하였다. 양성 대조군으로는 10 µg/mL 농도의 ascorbic acid를 사용하여 시험을 진행하였다.

미백, 주름개선 활성 측정

Tyrosinase 저해 활성은 0.1 M phosphate buffer (pH 6.9) 100 µL 에 시료 20 µL를 혼합하여 5분간 상온에서 방치 후 100 unit/mL의 mushroom tyrosinase 30 µL와 1.5 mM tyrosine 30 µL를 혼합하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 시료액 대신 phosphate buffer를 넣은 반응액을 blank로 사용 하였다. Tyrosinase 저해 활성은 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 표시하였고 양성 대조군으로는 기능성 미백 원료인 100 µg/mL 농도의 arbutin을 사용하여 시험을 진행하였다.

Elastase 저해 활성은 0.1M Tris-HCl buffer (pH 7.0)에 1.0 mM N-succinyl-Ala-Ala-Ala-p-nitroanilide를 용해시킨 용액 180 µL에 시료 20 µL를 첨가하여 5분간 상온에서 방치 후 2.5 unit/mL의 elastase 10 µL를 첨가하여 25°C에서 10분간 반응시킨 후 410 nm에

서 흡광도를 측정하였다. 이때 시료액 대신 buffer를 넣은 반응액을 blank로 사용하였다. Elastase 저해 활성은 시료 첨가구와 비첨가구 의 흡광도 차이를 백분율(%)로 표시하였고 양성 대조군으로는 100 µg/mL 농도의 ursolic acid를 사용하여 시험을 진행하였다.

항염증 활성 측정

시료의 항염증 활성은 lipoxygenase (LOX) inhibitor screening assay kit (Cayman Chemical, USA)를 통해 평가하였다. 양성 대조군 으로는 LOX 저해 표준물질인 nordihydroguaiaretic acid (NDGA)와 항염증 활성 물질인 baicalein (5,6,7-trihydroxyflavone)을 사용하였 다. 시험 시료 및 양성 대조군은 메탄올에 용해하여 준비하였다. 96-well plate의 각 well에 15S-LOX 용액 90 µL와 시험 시료 10 µL를 첨가한 뒤, 아라키돈산 10 µL를 가하여 반응을 시작하였다. 모든 혼 합물은 교반기(shaker)에서 5분간 충분히 혼합-반응시킨 후, chromogen 용액 100 µL를 첨가하여 효소 반응을 종료하였다. 반응 종료 후, 15S-LOX에 의해 아라키돈산으로부터 생성된 하이드로퍼옥사이드(hydroperoxide)의 수준은 500 nm에서의 UV 흡광도를 측정하여 정량하였다. LOX 저해활성(%)은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$LOX \text{ 저해활성}(\%) = \frac{(C - T)}{c} \times 100$$

여기에서 C는 시료를 첨가하지 않은 대조군의 500 nm 흡광도, T는 시료를 첨가한 경우의 500 nm 흡광도를 의미한다.

통계처리

실험결과는 SPSS(version 19.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 분산분석(ANOVA)을 실시하였고 각 측정 평균값의 유의성(p<0.05) 은 Tukey's Duncan's multiple range test를 실시하여 검정하였다.

결과 및 고찰

일반성분 분석

시나노골드 적과 사과 일반성분을 분석한 결과는 Table 1과 같이 분석되었다. 수분 함량은 82.2%로 일반적인 사과 품종의 수분 함량인 80~85%와 유사한 수준을 보이는 것으로 확인되었다. 사과는 숙성 과정이 진행 될수록 전분 함량은 감소하고 당 함량이 증가 한다고 알려져 있어(Lee et al., 2000) 시나노골드 적과사과의 탄수 화물 함량은 11.6%로 나타나 사과가 숙성 되면서 당도를 올릴 것으 로 생각 된다. 조단백과 조지방 함량은 각각 0.7, 0.3%로 분석되었 으며, 일반적으로 사과는 조단백과 조지방 함량이 낮은 것으로 알

Table 1. Proximate composition of mature and thinned Shinanobold apples

Component	Content (%)	
	Mature Apple	Thinned Apple
Moisture (%)	83.08±2.26	83.27±1.14
carbohydrate (%)	14.06±0.29	12.61±0.62
Sugars (%)	10.22±0.72	3.28±0.17
Crude Protein (%)	0.42±0.02	0.68±0.08
Crude Lipid (%)	0.29±0.01	0.33±0.01
Crude Ash (%)	2.15±0.05	2.11±0.05

려져 있어 성숙된 사과와 비교하였을때 유사한 수준을 나타내는 것으로 확인되었다. 회분 함량은 3.1%로 사과는 칼슘, 마그네슘, 철, 구리, 아연 등 다양한 미량원소가 있을 것으로 예상된다.

시나노골드 성숙 사과와 적과 사과의 일반성분 함량을 비교해 보면 수분, 탄수화물, 조지방, 조단백, 회분 비율은 유의미한 차이가 없는 것으로 보이나 당류는 성숙 사과의 함량이 월등히 높은 것을 확인할 수 있었다.

과실의 적과는 생육 초기 단계에서 과실의 생리적 대사 흐름에 영향을 미치며, 이로 인해 2차 대사산물의 축적 양상에 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다. 적과 시나노골드 사과는 완숙 사과와 비교하여 일부 영양성분 및 폴리페놀계 화합물 함량에서 차이를 보였으며, 이는 과실 성숙 과정에서 탄수화물 축적과 방어 관련 대사산물의 상대적 변화에 기인한 결과로 해석된다. 이러한 결과는 적과 사과가 생식용 과실로서의 가치는 낮을 수 있으나, 기능성 성분이 함량이 높아 산업용 원료로서 활용 가능성이 높음을 시사한다.

비타민 C, 총페놀, 총플라보노이드 함량

비타민 C는 인체에 필수적인 항산화 비타민으로 다양한 과일에 존재 한다고 알려져 있다(Fench et al., 2019). 시나노골드 적과 사과의 비타민 C 함량은 16.2 mg/100g으로 높은 수준의 비타민 C 함량을 나타내고 있다(Table 2). 하지만 사과는 저장 기간이 길어질수록 비타민 C 함량이 감소하는 것으로 보고되어져 있으며(Jin et al., 2014), 성숙된 시나노골드 사과의 비타민 C 함량이 6.2 mg/100g으로 분석되어 적과 사과의 비타민 C 함량이 높아 기능성 소재로의 가치가 더 높을 것으로 판단된다.

플라보노이드와 페놀 화합물은 과일에 풍부하게 존재하는 생리 활성 물질로 강력한 항산화 및 항염증 활성을 가지고 있어 인간 건강에 유익한 효과를 내는 것으로 잘 알려져 있는 물질이다(Nemzer et al., 2020; Nimita et al., 2023). 시나노골드 적과 사과의 총플라보노이드 및 총페놀 함량은 각각 21.4, 886.27 mg/100g으로 성숙한 시나노골드 보다 높은 함량을 보이고 있다(Table 2). 특히 과일의

Table 2. Functional components contents of mature and thinned Shinanobold apples

Component	Content (mg/100g)	
	Mature Apple	Thinned Apple
Vitamin C (mg/100g)	6.18±0.04	16.22±0.27
Total Flavonoids (mg QE/g)	21.40±0.75	31.54±0.54
Total Phenolic (mg GAE/100g)	58.61±0.72	886.27±14.57

페놀 함량은 숙성 과정에 따라 변화하고 미성숙 과일에서 더 높은 페놀 함량이 나타난다는 기존 연구 결과와 일치하는 결과를 보이고 있다(Mokhtar et al., 2014).

비타민 C, 총페놀, 총플라보노이드는 항산화와 관련된 주요 생리 활성물질로 시나노골드 적과 사과가 성숙된 시나노골드 사과에 비해 높은 함량을 보이는 결과로 적과 사과가 항산화 활성이 높을 수 있고 이는 인간 건강에 유익한 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

항산화 활성

시나노골드 적과 사과의 DPPH 및 ABTS radical 소거능을 통해 항산화 활성을 측정된 결과 Fig. 1과 같이 농도 의존적으로 항산화 활성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 100 µg/mL 농도에서 시나노골드 적과 사과와 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능은 각각 74%와 72% 확인되었으며, 이는 성숙 사과의 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 소거능 48%, 52%와 비교해 높은 활성을 보이고 있다.

이러한 결과는 적과 사과가 성숙 사과보다 높은 항산화 능력을 보유하고 있음을 시사하고 있으며 일반적으로 과일이 숙성됨에 따라 항산화 물질로 알려진 페놀 화합물의 함량이 감소한다는 연구결과가 있어(Ahmed & Eun, 2018) 적과 사과의 높은 총페놀 및 총플라보노이드 함량과 높은 비타민 C 함량이 우수한 항산화 활성의 요인으로 작용할 수 있다고 보여진다.

항산화 항산화 활성은 활성산소종에 의해 유도되는 산화 스트레스를 완화하는 데 기여하며, 이는 심혈관계 질환, 대사질환 및 피부 노화와 같은 만성 질환의 예방과 밀접한 관련이 있다. 따라서 적과 사과의 우수한 항산화 활성은 기능성 식품 원료뿐만 아니라 피부 보호 및 항노화 목적의 화장품 소재로서의 활용 가능성을 뒷받침한다.

미백 활성

시나노골드 적과 사과의 tyrosinase 저해활성을 통해 미백 활성을 측정된 결과 Fig. 2와 같이 농도 의존적으로 미백 활성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 100 µg/mL 농도에서 시나노골드 적과 사과와 Tyrosinase 저해활성은 67%로 이는 성숙 사과의 Tyrosinase 저해활성 54%와 비교해 높은 활성을 보이고 있다. Tyrosinase

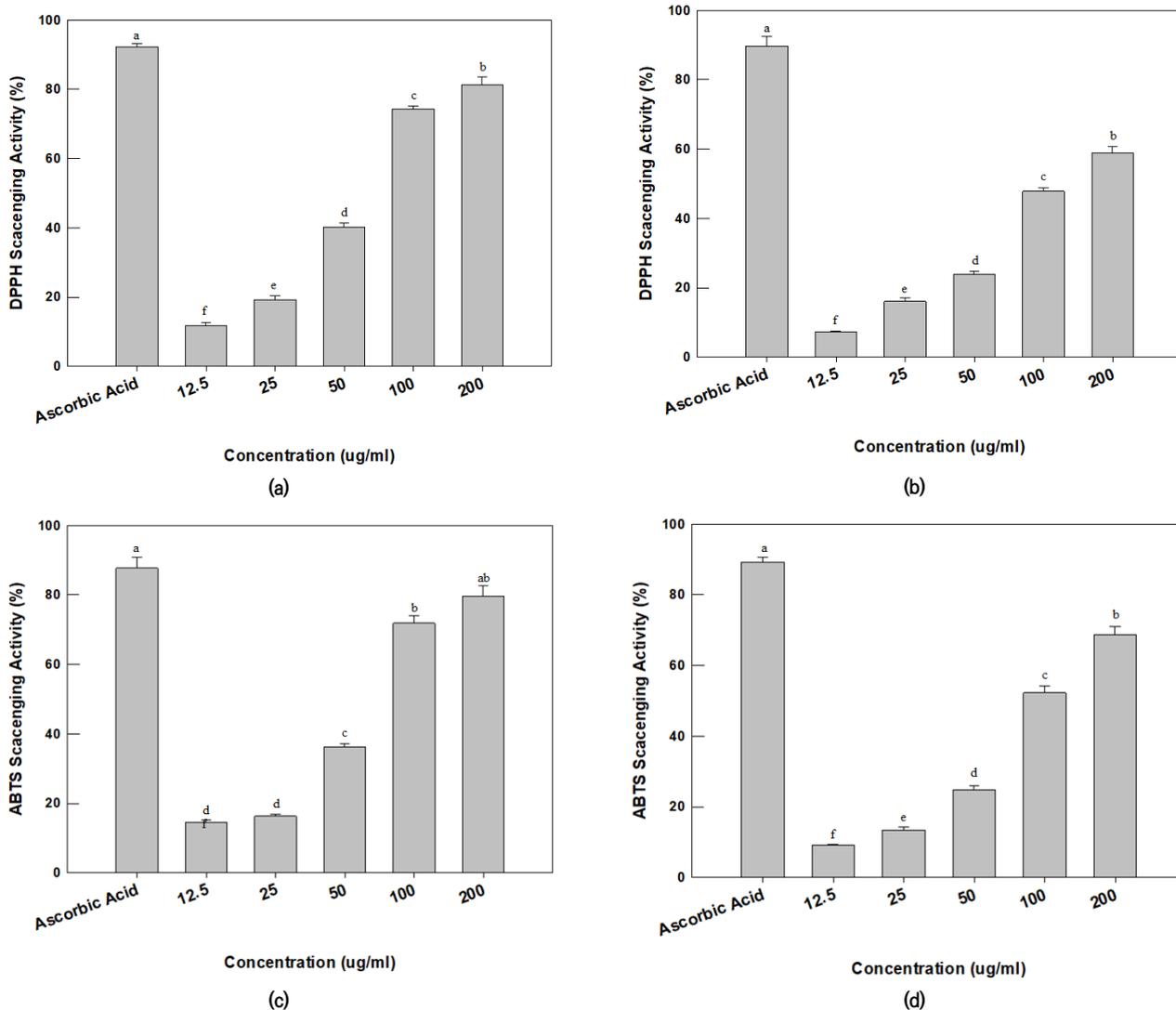


Fig. 1. Antioxidant activities (DPPH and ABTS radical-scavenging effects) of thinned and mature Shinanobold apples. (a) DPPH radical scavenging activity of thinned apple, (b) DPPH radical scavenging activity of mature apple, (c) ABTS radical scavenging activity of thinned apple, (d) ABTS radical scavenging activity of mature apple. DPPH and ABTS radical-scavenging activities were measured at various sample concentrations. Values are expressed as mean±SD (n=3). Different letters indicate significant differences among groups according to Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$).

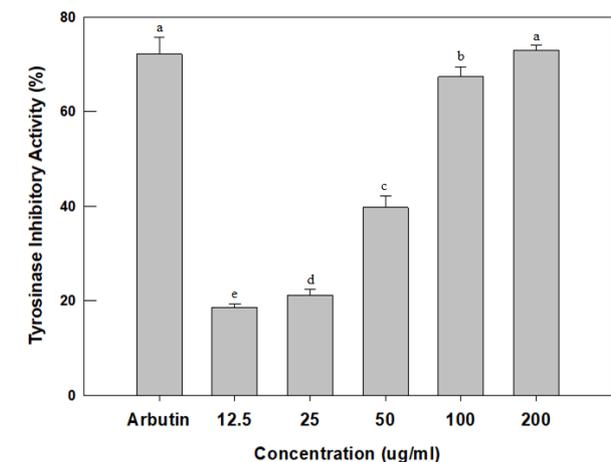
는 멜라닌생성 과정에 중요한 역할을 하는 효소로 이 효소의 활성을 억제함으로써 피부 미백효과를 나타내는 지표로 사용된다.

본 연구에서 적과 사과와 미백 활성이 성숙 사과보다 높게 나타난 것은 적과 사과에 함유된 비타민 C, 총 플라보노이드, 총 페놀과 같은 항산화 물질들이 멜라닌 생성 경로에 관여하는 효소 활성을 억제할 가능성을 시사한다. 이들 생리 활성 물질들은 Tyrosinase 효소의 활성을 직접적으로 억제하거나, 멜라닌 생성 경로의 다른 단계에 영향을 주어 미백 효과를 나타낼 수 있으며, 과일의 성장 단계에 따라 생리 활성 물질의 함량 및 종류에 차이가 있을 수 있고, 미숙한 단계의 과일에서 특정 미백 활성 성분이 더 풍부하게 존재할 가능성도 있을 것으로 보인다. 따라서 시나노골드 적과 사과는 단순한 식

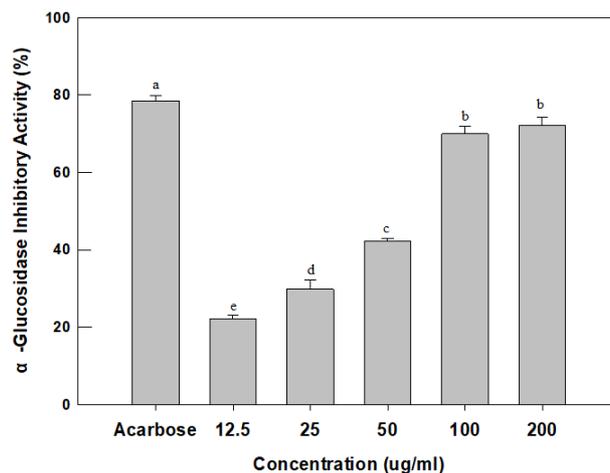
품으로서의 가치뿐만 아니라 피부 미백 기능을 갖는 기능성 소재로서의 잠재력을 가지고 있으며, 특히 천연 유래 미백 소재에 대한 수요가 증가하고 있는 화장품 산업 측면에서, 적과 사과는 저자극 천연 미백 원료로 활용될 수 있는 잠재력을 가진 소재로 판단된다.

항당뇨 활성

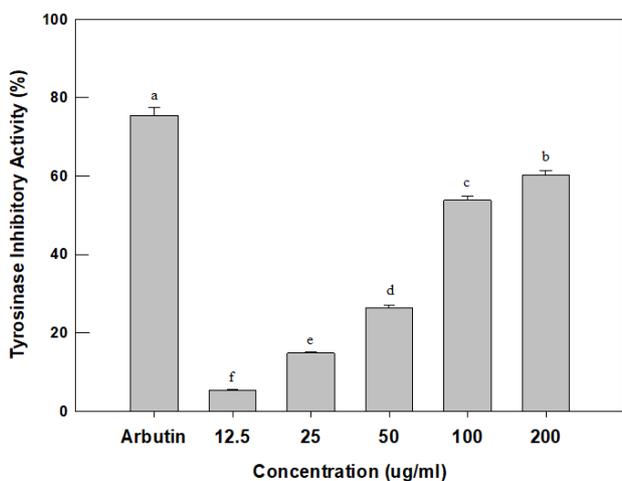
α -Glucosidase 저해 활성은 탄수화물 분해 속도를 지연시켜 식후 혈당 상승을 완화하는 지표로 널리 활용된다. 시나노골드 적과 사과의 α -glucosidase 저해 활성을 통해 항당뇨 활성을 측정된 결과 Fig. 3과 같이 농도 의존적으로 항당뇨 활성이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 100 μ g/mL 농도에서 시나노골드 적과 사과와 α -glu-



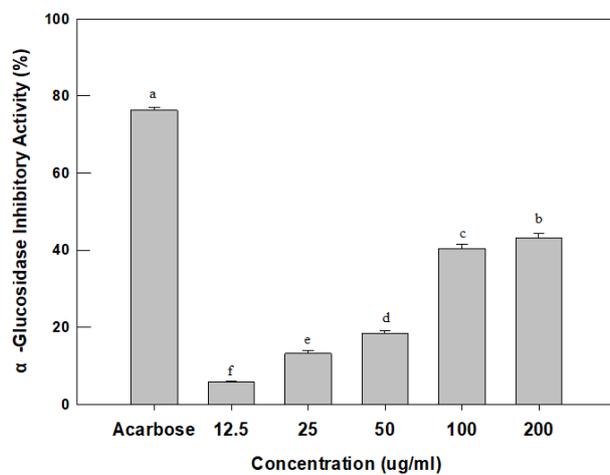
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 2. Tyrosinase inhibitory activity of thinned and mature Shinanobold apples. (a) Tyrosinase inhibitory activity of thinned apple, (b) Tyrosinase inhibitory activity of mature apple. Values are expressed as mean±SD (n=3). Different letters indicate significant differences among groups according to Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$).

Fig. 3. alpha-Glucosidase inhibitory activity of thinned and mature Shinanobold apples. (a) alpha-Glucosidase inhibitory activity of thinned apple, (b) alpha-Glucosidase inhibitory activity of mature apple. The anti-diabetic potential was assessed by measuring alpha-glucosidase inhibition. Values are expressed as mean±SD (n=3). Different letters indicate significant differences among groups according to Tukey's multiple range test ($p \leq 0.05$).

cosidase 저해활성은 70%로 이는 성숙 사과와 Tyrosinase 저해활성 40%와 비교해 높은 활성을 보여 적과 사과가 성숙 사과에 비해 유의미하게 높은 항당뇨 활성을 확인하였다. alpha-Glucosidase는 탄수화물 분해 효소 중 하나로, 소장에서 다당류와 올리고당을 단당류로 분해하여 포도당의 흡수를 촉진하는 효소로 이 효소의 활성을 억제하면 식후 혈당 상승을 지연시켜 당뇨병 관리에 도움을 줄 수 있다.

본 연구에서 적과 사과의 alpha-glucosidase 저해 활성이 성숙 사과보다 높게 나타난 것은 적과 사과에 풍부하게 함유된 비타민 C, 총 플라보노이드, 총 페놀과 같은 생리 활성 물질의 복합적인 작용으로 볼 수 있다. 이들 물질은 alpha-glucosidase 효소의 활성 부위에 직접 결합하거나, 효소의 구조를 변형시켜 활성을 억제함으로써 탄수화물 흡수를 지연시키는 효과를 나타낼 수 있으며, 과일의 숙성도에 따라

이러한 생리 활성 물질의 함량과 종류가 달라질 수 있으며, 적과 사과와 같이 미숙한 단계의 과일에서 항당뇨 활성에 기여하는 특정 성분이 더 풍부하게 존재할 가능성이 있다(Kimura, 2000). 따라서 시나노골드 적과 사과는 식후 혈당 관리에 도움을 줄 수 있는 천연 소재로서의 잠재력을 가지고 있으며, 당뇨병 예방 및 관리를 위한 기능성 식품 또는 건강 보조제 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

항염증 활성

Lipoxygenase (LOX)는 염증 반응과 관련된 leukotriene 생성에 관여하는 효소로, LOX 저해 활성은 항염증 가능성을 평가하는 주요 지표이다. 시나노골드 적과 사과의 Lipoxygenase (LOX) 저해 활

성은 52%였으며, 성숙 사과는 42%로 측정되어 적과 사과의 항염증 활성이 성숙 사과보다 유의미하게 높은 것으로 확인되었다(Fig. 4). 사과가 가지고 있는 폴리페놀 화합물과 트리테르펜류는 항염증 활성의 주요 성분으로 알려져 있다(Andre et al., 2012). 사과 추출물은 NF- κ B 활성 저해 및 TNF α 유전자 발현 감소를 통해 면역 조절 활동을 보이고 있으며(Andre et al., 2012), 특히 프로시아니딘(procyanidins) 함량이 높은 품종이 NF- κ B 억제에 가장 효과적이었으며, 트리테르펜(triterpenes)이 풍부한 부분은 TNF α 유전자 촉진 활성을 감소시키는 효과가 보고되어 있다. 또한 사과 껍질에 풍부한 ursolic acid(UA)과 메틸 ursolate(MU)는 염증 모델에서 부종, 단백질 유출, 백혈구 침윤 및 염증 매개

체(KC/CXCL-1, TNF- α , IL-1 β) 수준을 유의미하게 감소시킨다는 연구 결과가 보고되고 있다(Pádua et al., 2014).

적과 사과에서 LOX 저해 활성이 성숙 사과보다 높게 나타난 것은 적과 사과에 풍부하게 함유된 비타민 C, 총 플라보노이드, 총 페놀 등 항산화 및 항염증 활성을 가진 생리 활성 물질들의 복합적인 작용 때문인 것으로 사료된다. 사과 폴리페놀은 Nr2 및 NF- κ B 신호 경로를 조절하여 염증 반응을 완화할 수 있으며, 사과의 트리테르페노이드는 주요 항염증 화합물로 밝혀져 있다(Interdonato et al., 2023).

미숙한 과일인 적과 사과에서는 성숙 사과보다 이러한 생리 활성 물질의 함량이나 구성에 차이가 있을 수 있으며, 특정 시기에 항염증 활성을 나타내는 물질이 더 많이 축적될 가능성이 있다. 사과의 적과 시기에는 LOX 활성을 억제하는 물질이 더 풍부하여 스스로를 보호하는 기전이 강하게 나타날 수 있음을 시사한다.

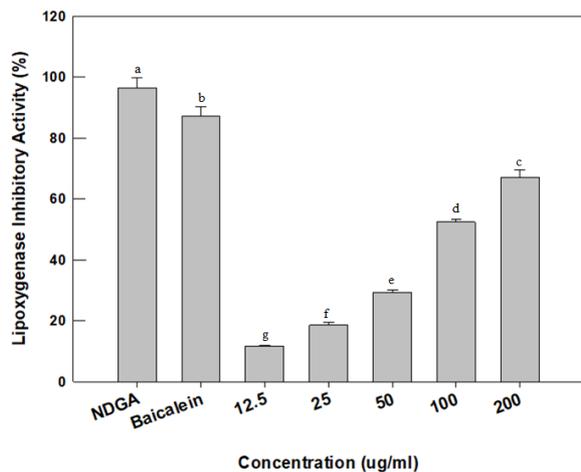
만성 염증은 대사질환뿐만 아니라 피부 트러블 및 노화에도 밀접한 관련이 있으므로, 적과 사과의 항염증 활성은 민감성 피부용 화장품 또는 염증 완화 목적의 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성을 뒷받침한다.

본 연구에서는 시나노골드 적과 사과와 완숙 사과의 영양성분과 항산화, 미백, 항당뇨 및 항염증 활성을 비교 분석하였다. 그 결과, 적과 사과는 항산화 활성뿐만 아니라 tyrosinase 및 lipoxigenase 저해 활성에서 상대적으로 우수한 특성을 나타내어, 특히 화장품 소재로서의 기능적 강점을 보였다. 이러한 결과는 적과 사과가 단순한 농업 부산물이 아닌, 기능성 식품 및 화장품 산업에서 활용 가능한 고부가가치 천연 소재로 재평가될 수 있음을 시사한다.

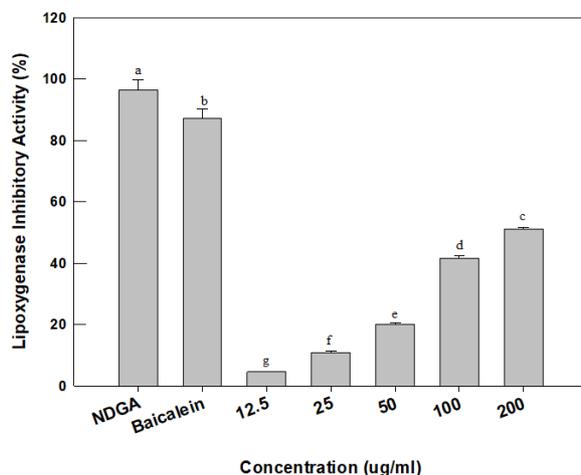
다만 본 연구에서 평가한 생리활성은 시험관 내 효소 저해 실험에 기반한 결과로, 실제 생체 내 효능을 직접적으로 입증하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 결과는 적과 사과의 기능적 잠재력을 제시하는 기초 자료로 해석되어야 하며, 향후 생체 이용률, 유효 성분 규명 및 *in vivo* 실험을 통한 기능성 검증이 필요하다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 적과 사과의 다중 기능성을 과학적으로 제시함으로써, 농산 부산물의 고부가가치화 및 지속 가능한 자원 활용 측면에서 의미 있는 기초 자료를 제공한다.

요약

시나노골드 적과 사과의 영양 성분 및 생리 활성 물질 분석 결과, 일반성분은 수분 83.3%, 탄수화물 12.6%, 조단백 0.7%, 조지방 0.3%, 회분 2.1%로 나타났으며, 비타민 C 16.2 mg/100g, 총 플라보노이드 31.5 mg/100g, 총 페놀 886 mg/100g이 함유되어 있음을 확인하였다. 특히, 적과 사과는 성숙 사과에 비해 높은 항산화 활성(DPPH 라디칼 소거능 74% vs 48%, ABTS 라디칼 소거능 72% vs



(a)



(b)

Fig. 4. Lipoxigenase (LOX) inhibitory activity of thinned and mature Shinanobold apples. (a) Lipoxigenase (LOX) inhibitory activity of thinned apple, (b) Lipoxigenase (LOX) inhibitory activity of mature apple. Anti-inflammatory activity was evaluated using a LOX inhibition assay. Values are expressed as mean \pm SD (n=3). Different letters indicate significant differences among groups according to Tukey's multiple range test ($p < 0.05$).

52%), 미백 활성(티로시나아제 저해 활성 67% vs 54%), 항당뇨 활성(α -글루코시다아제 저해 활성 70% vs 40%), 그리고 항염증 활성(Lipoxygenase 저해 활성 52% vs 42%)을 보였다. 이러한 결과는 시나노플드 적과 사과가 성숙 사과와 비교해 풍부한 비타민 C, 플라보노이드, 페놀 화합물 등을 함유하고 있어 우수한 기능성을 가지며, 건강 증진 및 다양한 기능성 제품 개발을 위한 천연 소재로서의 높은 잠재력을 가지고 있음을 시사한다.

ORCID

Kyung-Chul Shin	https://orcid.org/0000-0002-1527-0164
Yeong-Su Kim	https://orcid.org/0000-0002-9831-2883
Do-Yeon Kim	https://orcid.org/0009-0002-8468-0244
Kwangmo Hwang	https://orcid.org/0009-0002-4812-1242
Chae Sun Na	https://orcid.org/0000-0002-7936-2121
Chang-Su Park	https://orcid.org/0000-0002-0770-5068

Conflict of interests

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

Acknowledgements

This research was supported by Regional Innovation System & Education (RISE) program through the Gyeongbuk RISE CENTER, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Gyeong-sangbuk-do and Research & Development Program for Forest Science Technology (Project No. RS-2021-KF001796) funded by the Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute).

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Park CS.
 Data curation: Kim DY, Hwang K.
 Formal analysis: Kim YS, Kim DY.
 Methodology: Shin KC, Na CS.
 Software: Kim YS, Na CS.
 Validation: Park CS.
 Investigation: Shin KC, Kim DY.
 Writing - original draft: Shin KC, Kim YS.

Writing - review & editing: Shin KC, Kim YS, Kim DY, Hwang K, Na CS, Parck CS.

Ethics approval

Not applicable.

References

- Ahmed M, Eun JB. 2018. Flavonoids in fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 58: 3159-3188.
- An HJ, Park KJ, Kim SS. 2016. Flavonoids composition and antioxidant activity of by-products of five orange cultivars during maturation. *Korean J. Food Preserv.* 23: 1012-1017.
- Andre CM, Greenwood JM, Walker EG, Rassam M, Sullivan M, Evers D, Perry NB, Laing WA. 2012. Anti-inflammatory procyanidins and triterpenes in 109 apple varieties. *J. Agric. Food Chem.* 60: 10546-10554.
- Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature.* 26: 1198-1200.
- Cha HS, Youn AR, Park PJ, Choi HR, Kim BS. 2007. Comparison of physiological activities of *Rubus coreanus* Miquel during maturation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 36: 683-688.
- Choi HG, Kang NJ, Moon BY, Kwon JK, Rho IR, Park KS, Lee SY. 2013. Changes in fruit quality and antioxidant activity depending on ripening levels, storage temperature, and storage periods in strawberry cultivars. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31: 194-202.
- Choi MH, Kim KH, Yook HS. 2019. Antioxidant and antibacterial activity of premature mandarin. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48: 622-629.
- Fench M, Amaya I, Valpuesta V, Botella MA. 2019. Vitamin C content in fruits: biosynthesis and regulation. *Front. Plant Sci.* 9: 1-21.
- Igarashi M, Hatsuyama Y, Harada T, Akada TF. 2016. Biotechnology and apple breeding in Japan. *Breed. Sci.* 66: 18-33.
- Interdonato L, Ferrario G, Cordaro M, D'Amico R, Siracusa R, Fusco R, Impellizzeri D, Cuzzocrea S, Aldini G, Di Paola R. 2023. Targeting Nrf2 and NF- κ B signaling pathways in inflammatory pain: the role of polyphenols from thinned apples. *Molecules.* 28: 5376.
- Jin SY, Sim KS, Lee EJ, Gu HJ, Kim MH, Han YS, Park JS, Kim YH. 2014. Changes in quality characteristics and antioxidant activity of apples during storage. *Korean J. Food Nutr.* 27: 999-1005.

- Kim JE, Shin JY, Yang JY. 2021. Nutritional analyses and antioxidant activity of apple pomace. *J. Life Sci.* 31: 617-625.
- Kimura A. 2000. New horizons of carbohydrate bioengineering: molecular anatomy of α -glucosidase. *Trends Glycosci. Glyco-technol.* 12: 373-380.
- Lee KH, Yoon YJ, Kwon HW, Lee EH. 2018. Antioxidant component and activity of different part extracts in apple (*Malus domestica* cv. Fuji). *Korean J. Food Nutr.* 31: 858-864.
- Lee MK, Yoon JY, Lee HI. 2023. Comparison of the preadipocyte differentiation inhibitory effects and antioxidant activities of immature and mature yuzu peel hot water extracts *in vitro*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 52: 1005-1012.
- Lee MY, Yoo MS, Whang YJ, Jin YJ, Hong MH, Pyo YH. 2012. Vitamin C, total polyphenol, flavonoid contents and antioxidant capacity of several fruit peels. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 540-544.
- Lee SK, Kader AA. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 207-220.
- Masahiko T, Jun T, Yuka T, Yaoko K, Maruta M, Mina O, Toshihiko S. 2019. Influences of varieties and storage on flavanol and procyanidin levels in apple dried fruits. *Food Preserv. Sci.* 45: 175-180.
- Mokhtar SI, Leong PC, Lee EV, Ven N. 2014. Total phenolic contents, antioxidant activities and organic acids composition of three selected fruit extracts at different maturity stages. *J. Trop. Resour. Sustain. Sci.* 2: 40-46.
- Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J. Ethnopharmacol.* 71: 109-114.
- Nemzer BV, Kalita D, Yashin AY, Yashin YI. 2020. Bioactive compounds, antioxidant activities, and health beneficial effects of selected commercial berry fruits: a review. *J. Food Res.* 9: 78-101.
- Nimita GNVGKS, Vikanksha, Singh J. 2023. Composition of bioactive carotenoid, flavonoid, and terpene compounds in selected fruits: a mini review. *Int. J. Plant Soil Sci.* 35: 52-58.
- Pádua TA, de Abreu BS, Costa TE, Nakamura MJ, Valente LM, Henriques Md, Siani AC, Rosas EC. 2014. Anti-inflammatory effects of methyl ursolate obtained from a chemically derived crude extract of apple peels: potential use in rheumatoid arthritis. *Arch. Pharm. Res.* 37: 1487-1495.
- Park Y, Boo HO, Park YL, Cho DH, Lee HH. 2007. Antioxidant activity of *Momordica charantia* L. extracts. *Korean J. Medi. Crop Sci.* 15: 56-61.
- Passafiume R, Tinebra I, Sortino G, Palazzolo E, Farina V. 2021. New clones and old varieties: quality of Sicilian hillside apple cultivation. *Open Agric. J.* 15: 66-74.
- Pellegrin N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, Riso P, Fogliano V, Porrini M. 2010. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 58: 4310-4321.
- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16: 144-158.
- Takeuchi M, Shirasawa T, Takizawa J, Goto T. 2015. Process suitability of the apple cultivars Shinano Sweet, Akibae and Shinano Gold. *Food Preserv. Sci.* 41: 65-69.
- Yi HY, Cha ES, Chun JY. 2021. Quality characteristics of immature *Citrus unshiu* juice jelly. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 50: 410-419.