



ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)
한국지역사회생활과학회지 37(3): 395~409, 2026
Korean J Community Living Sci 37(3): 395~409, 2026
<http://doi.org/10.7856/kjcls.2026.37.3.395>

건조 방법에 따른 과일 껍질의 생리활성 비교

류 여 경 · 한 인 화^{†1)}

충남대학교 식품영양학과 석사과정, 충남대학교 대학원 글로벌 라이프케어 융합전공 석사과정 ·
충남대학교 식품영양학과 교수, 충남대학교 대학원 글로벌 라이프케어 융합전공 교수¹⁾

Comparison of the Bioactive Properties of Fruit Peels according to Drying Method

Yeokyung Ryu · Inhwa Han^{1)†}

Graduate Student, Dept. of Food and Nutrition & Major of Global life-care Convergence,
Graduate School, Chungnam National University, Daejeon, Korea
Professor, Dept. of Food and Nutrition & Major of Global life-care Convergence, Graduate School,
Chungnam National University, Daejeon, Korea¹⁾

ABSTRACT

This study compared the physicochemical properties, antioxidant activities, and cytoprotective effects of peels from six major Korean fruits (apple, pear, grape, peach, tangerine, and persimmon) dried by hot-air drying or freeze-drying. Peel extracts were evaluated for moisture content, pH, sweetness, total polyphenol and flavonoid contents, DPPH and ABTS radical scavenging activities, reducing power, SOD-like activity, and cell viability in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages. Freeze-drying significantly reduced moisture content in all fruits except grape, and significantly increased total polyphenol content in all fruits except apple. Total flavonoid content also increased significantly with freeze-drying in grape, tangerine, and persimmon. ABTS radical scavenging activity and reducing power were generally higher in freeze-dried peels, particularly in grape, whereas DPPH radical scavenging activity varied among species and SOD-like activity was generally higher in hot-air-dried peels. The non-cytotoxic concentration range of freeze-dried extracts differed among species, and within this range, all extracts significantly improved the viability of LPS-stimulated macrophages compared with LPS treatment alone, with tangerine showing the greatest protective effect. These results indicate that peels from all six fruits have potential as functional food materials with favorable antioxidant activity and possible cytoprotective effects under LPS-induced conditions,

This work was supported by the Regional Innovation System & Education (RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and Daejeon Metropolitan City in 2026 (2026-RISE-06-012). Received: 28 July, 2026 Revised: 19 August, 2026 Accepted: 26 August, 2026

[†]**Corresponding Author:** Inhwa Han Tel: +82-42-821-6835 E-mail: ihan@cnu.ac.kr

This is an Open-Access article 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.

and suggest that the drying method could be selected according to the target functional component or activity to maximize their value as functional materials.

Key words: fruit peel, hot-air drying, freeze-drying, antioxidant activity, cytoprotective effect

I. 서론

인체 내 활성산소는 산화 스트레스를 유발하여 세포 기능 장애 및 손상을 일으키는데, 이러한 세포 산화환원 불균형 상태는 암, 심혈관 질환, 대사 질환, 신경퇴행성 질환을 포함한 다양한 질병의 발병과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Manful et al. 2025). 항산화 기능은 이러한 산화 스트레스, DNA 돌연변이, 악성 변형 등 기타 세포 손상 지표를 낮추는 것을 의미하며, 항산화제는 활성산소종 활동의 영향을 억제하고 암 및 기타 퇴행성 질환의 발생률을 감소시키는 능력이 있는 것으로 입증되었다(Pisoschi & Pop 2015). 최근 건강에 관한 관심이 높아짐에 따라 기능성과 안전성 측면에서 우수한 식물 기반 천연 항산화제에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Lee et al. 2012). 과일에는 비타민 C, 비타민 E, 카로티노이드 등 다양한 항산화 성분이 함유되어 있으며(García-Alonso et al. 2004), 그중에서도 식물성 식품에 풍부하게 분포하는 생리활성 물질인 폴리페놀은 활성산소를 제거함으로써(Ding et al. 2020) 심혈관 질환, 골다공증, 신경퇴행성 질환, 암, 당뇨병 등의 예방에 유익한 효과를 나타내는 것으로 보고된 바 있다(Abbas et al. 2017).

식품이 인체 건강에 영향을 미치는 작용 기전 중 하나인 호르메시스는 낮은 농도의 스트레스 요인에 대한 유익한 적응 반응을 통해 유기체의 회복력과 전반적인 건강을 증진하는 현상이다(Wang & Wang 2025). 최근 연구에 따르면 폴리페놀은

건강한 식품에서 호르메시스 효과가 입증되어 산화 스트레스와 염증을 조절하며(Perrone et al. 2025), 세포보호 경로를 활성화함으로써 만성 염증, 대사 장애, 신경 퇴행 등 다양한 만성 질환의 근본 원인을 개선하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 주목받고 있다(Casanova et al. 2023).

이러한 폴리페놀은 통상 폐기물로 처리되는 과일 껍질에 과육보다 높은 농도로 함유되어 있어 항산화 잠재력 또한 더 큰 것으로 보고되었다(Ranjha et al. 2020). 그런데도 전 세계적으로 대규모 과일 가공 과정에서 발생하는 껍질을 비롯한 부산물 대부분은 별다른 활용 방안 없이 매립지로 폐기되고 있다(Malik et al. 2023). 우리나라의 경우 농림축산식품부에서 선정한 대표 6대 과일인 사과, 배, 포도, 복숭아, 귤, 감이 국내 과일 생산량의 약 84%를 차지하고 있어(MAFRA 2025), 연간 소비량이 높은 만큼 가공 과정에서 발생하는 껍질의 양도 상당할 것으로 추정된다. 이는 환경적 부담을 가중할 뿐 아니라, 폴리페놀, 플라보노이드, 카로티노이드 등 생리활성 성분이 풍부한 자원을 낭비하는 결과로 이어진다는 점에서 효율적인 활용 방안 모색이 시급하다(Malik et al. 2023).

생리활성 성분이 풍부하면서도 수분 함량이 높은 과일은 미생물 증식, 효소 반응 및 산화 등 다양한 변질 요인에 노출되기 쉬우므로, 수분을 제거하여 부패와 변질을 억제하고 저장 안정성 및 유통 편의성을 향상하게 시키는 건조 공정은 기능성 소재 개발에 있어 필수적인 가공 단계로 널리 활용되고 있다(Park et al. 2014). 열풍건조는 건조

시간이 짧고 경제적이며, 열처리를 통한 병원균 사멸, 효소 불활성화 및 저장 수명 연장 등의 이점이 있지만(Lee et al. 2014; Piscopo et al. 2014), 급격한 수분 손실로 인한 갈변, 수축, 표면경화 등이 발생하여 식품의 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 한계가 있다(Kim et al. 2011; Kim et al. 2014). 한편 동결건조는 식품을 동결한 후 감압 조건에서 얼음을 승화시켜 수분을 제거하는 방식으로, 원재료의 색, 향 및 조직감을 비교적 잘 유지하고 영양 성분의 손실이 적으며 복원성이 우수하다는 장점이 있으나, 시설 및 운영 비용이 높다는 단점이 있다(Litvin et al. 1998; Park et al. 2019). 따라서 과일 껍질의 기능성 성분을 최대한 보존할 수 있는 적절한 건조 방법의 선택이 중요하다.

이에 본 연구에서는 국내 6대 과일인 사과, 배, 포도, 복숭아, 귤, 감의 껍질을 대상으로 열풍건조와 동결건조 방법에 따른 항산화 활성 및 LPS로 유도된 염증 조건에서의 세포 생존율 변화를 통해 항염증 활성 가능성을 비교·평가함으로써, 과일 껍질의 기능성 소재로서의 활용 가능성과 최적 건조 방법을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 실험 재료 및 건조 방법

본 실험에 사용한 사과(Fuji, 충북 충주시), 배(Pyrus pyrifolia, 경기도 안성시), 포도(Campbell early, 경북 김천시), 복숭아(Prunus persica, 충북 충주시), 귤(Citrus reticulata, 제주도 서귀포시), 감(Diospyros kaki, 경남 김해시) 등 총 6종의 과일은 대전에 있는 한 대형마트에서 구매하였으며, 흐르는 물에 깨끗이 씻어 물기를 제거한 다음 과피와 과육을 분리하여 과피만 취하여 열풍건조와 동결건조를 진행하였다. 열풍건조는 식품 건

조기(ZFD-C281, ZAIGLE, Seoul, Korea)를 이용하여 60℃에서 사과, 배, 귤, 복숭아는 8시간, 포도와 감은 11시간 건조하였고, 동결건조는 동결건조기(Wisedry SFD-16, SciLab, Seoul, Korea)를 이용하여 -85℃, 진공압 0.15 Torr 이하의 조건에서 48시간 동안 동결건조하였으며 이후 각각 식품 분쇄기(SFM-SJ200R, Shinil, Cheonan, Korea)를 이용해 분말을 제조하였다. 제조된 과피 분말 3 g에 80% 에탄올 30 mL를 첨가하여 15분간 초음파 세척기(DH.WUC.A03H, Analog Ultrasonic Cleaner, DAIHAN scientific, Wonju, Korea)로 초음파 추출 후 여과하는 과정을 3번 반복하였다. 여과액을 13,000 rpm, 4℃에서 20분간 원심분리하여 얻은 상층액을 80% 에탄올로 최종 부피 20 mL로 맞추어 제조한 추출액(150 mg/mL)을 실험에 사용하였다.

2. 과피의 수분함량, pH, 당도 측정

과피의 수분함량은 AOAC(2016)에 따라 과피 1 g을 칭량하여 105℃ 오븐(HB-501VL, Hanbaek, Buncheon, Korea)에서 건조하는 상압가열건조법으로 측정하였다. 과피의 pH는 과피 분말 1 g에 증류수 10 mL를 가하여 균질화한 후 3,600 rpm에서 30분간 원심분리하여 얻은 상층액을 pH meter (pH-200L, Istek, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였고, 당도는 굴절당도계(N-1E Brix 0-32%, Atago, Japan)을 이용하여 측정하였으며 °Brix로 표기하였다.

3. 과피의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 측정

과피의 총 폴리페놀 함량은 Singleton et al. (1999)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu's의 방법으로 측정하였다. 2% Na₂CO₃ (Daejung Chemicals & Metals, Siheung, Korea) 5 mL에 과피 추출

액 0.05 mL을 혼합하고 상온에서 2분 반응 후 50% Folin-ciocalteu's reagent (Junsei Chemical, Tokyo, Japan) 0.05 mL를 추가 혼합하여 30분간 반응시킨 뒤 Microplate spectrophotometer (Multiskan SkyHigh, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. Ferulic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 사용한 검량선($y = 2670.3x - 119.85$, $R^2 = 0.9971$)으로부터 과피의 총 폴리페놀 함량을 계산하여 mg ferulic acid equivalent (FAE)/g으로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량 측정은 Davis의 방법(1947)에 따라 측정하였다. 과피 추출액 0.1 mL에 diethylene glycol (Daejung Chemicals & Metals) 1 mL와 1 N NaOH (Daejung Chemicals & Metals) 0.1 mL을 혼합한 후 37℃ shaking incubator (ISS-4075R, Jeio Tech, Daejeon, Korea)에서 1시간 반응시킨 뒤 흡광도 값을 420 nm에서 측정하였다. 플라보노이드 함량은 quercetin을 표준물질로 하여 본 실험과 같은 방법으로 측정한 후 검량선($y = 2868.9x - 134.59$, $R^2 = 0.9904$)을 사용하여 mg Quercetin equivalent (QE)/g으로 계산하였다.

4. 과피의 라디칼 소거 활성 평가

과피의 항산화 활성을 측정하기 위해 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능, ABTS(2,2'-Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) 라디칼 소거능, 환원력, SOD (Superoxide dismutase) 유사 활성을 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능은 Brand-Williams et al.(1995)의 방법을 응용하여 측정하였다. 과피 추출액 0.1 mL에 0.4 mM DPPH (Sigma-Aldrich)

용액 1 mL을 넣어 암실에서 30분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. Trolox (Sigma-Aldrich)를 표준물질로 사용한 표준 곡선을 작성한 후 과피의 DPPH 라디칼 소거능 활성을 mg Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)로 환산하여 나타내었다.

ABTS 라디칼 소거능은 Re et al.(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. 7 mM ABTS (Sigma-Aldrich)와 14 mM potassium persulfate (Daejung Chemicals & Metals)를 각각 증류수로 녹여 5 mL : 88 μ L의 비율로 혼합해 12-16시간 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 흡광도 값이 734 nm에서 0.7 ± 0.002 가 되도록 100% 에탄올로 희석하여 ABTS solution을 제조하여 사용하였다. 과피 추출액 50 μ L와 ABTS solution 1 mL를 혼합한 후 2.5분간 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 trolox를 이용하여 본 실험과 같은 방법으로 측정해 과피의 ABTS 라디칼 소거능 활성을 mg TEAC/g으로 계산하였다.

5. 과피의 환원력 측정

환원력은 Oyaizu(1986)의 방법을 이용하였다. 과피 추출액 50 μ L에 0.2 M sodium phosphate buffer (Sigma-Aldrich, pH 6.6) 250 μ L와 1% potassium ferricyanide (Sigma-Aldrich) 25 μ L를 혼합하여 50℃ shaking incubator에서 20분간 반응시킨 후 10% trichloroacetic acid (Daejung Chemicals & Metals) 1.25 mL을 첨가하였다. 그 후 혼합물의 상층액 0.1 mL에 증류수 0.1 mL, 1% ferric chloride (Junsei Chemical) 0.02 mL를 넣어준 다음 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 trolox를 0~100 μ g/mL의 농도로 제조하여 추출액과 같은 방법으로 분석

하였으며, 이로부터 만들어진 검량 곡선($y = 4064.7x - 828.68$, $R^2 = 0.9993$)으로부터 환원력을 계산하여 mg trolox equivalent (TERP)/g으로 나타내었다.

6. 과피의 SOD 유사활성능 측정

SOD 유사활성 측정은 Marklund & Marklund (1974)의 방법을 응용하여 측정하였다. 과피 추출액 0.04 mL에 Tris-HCl (Bioneer Corp., Daejeon, Korea) 5 mL와 EDTA (Junsei Chemical) 0.3722 g을 혼합하여 제조한 Tris-HCl buffer (pH 8.0) 0.6 mL를 첨가하고, 7.2 mM pyrogallol (Sigma-Aldrich)을 0.04 mL 첨가하여 25℃ shaking incubator에서 10분간 반응시켰다. 그 후 0.1 N HCl (Daejung Chemicals & Metals)를 0.2 mL 넣어 반응을 정지시키고 420 nm 흡광도에서 측정하였다. 대조구에는 pyrogallol 대신 증류수를 0.04 mL 첨가하였으며, 무첨가구에는 추출액 대신 추출 용매인 에탄올을 첨가하여 실험을 진행하였다. SOD 유사 활성은 아래와 같은 식을 사용하여 구하였다.

$$\text{SOD-like activity (\%)} = \{1 - (A - B) / C\} \times 100$$

A : 과피 추출액 첨가구 흡광도

B : Pyrogallol을 대체한 증류수를 첨가한 대조구의 흡광도

C : 과피 추출액 무첨가구의 흡광도

7. RAW 264.7 세포 배양 및 세포 생존율

본 실험에 사용된 RAW 264.7 세포를 10% Fetal Bovine Serum (FBS) (Thermo Fisher Scientific)와 1% penicillin-streptomycin (PS) (Cytiva, Wilmington, DE, USA)을 첨가한

Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) (SolBio Pharm Co. Ltd., Suwon, Korea) 배지를 이용하여 37℃, 5% CO₂로 조절된 incubator (Panasonic Healthcare Corporation of North America, Wood Dale, IL, USA)에서 72시간 배양하여 안정화한 후 실험에 사용하였다. 세포 생존율을 평가하기 위하여 WST-8 (water soluble tetrazolium salt-8) assay 법으로 측정하였는데, 안정화된 RAW 264.7 세포를 1×10^4 cell/well로 96 well plate에 100 µL씩 분주한 후 16시간 동안 배양한 후 동결건조한 과피 추출물을 농도별(12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 µg/mL)로 처리하여 24시간 배양하였다. 배양 후 EZ-Cytox Cell Viability Assay Kit (DoGenBio, Seoul, Korea) 10 µL를 첨가하고 4시간 동안 반응시킨 후 Microplate spectrophotometer로 450 nm에서 흡광도를 측정하였다. 실험군의 세포 생존율은 대조군의 세포 생존율 대비 %로 나타내었다. 또한 과피 추출물 자체의 색 및 환원 성분이 WST-8 발색 반응에 미치는 간섭 여부를 확인하기 위해, 세포 없이 추출물과 WST-8 시약만을 반응시킨 cell-free blank를 병행 측정하였으나 cell-free blank의 흡광도는 무처리 배지 수준과 유사하여 추출물 자체에 의한 WST-8 반응 간섭은 확인되지 않았다.

8. LPS 자극에 의한 세포 생존율

10% FBS, 1% PS가 함유된 DMEM 배지에서 안정화된 RAW 264.7 세포를 96-well plate에 1×10^4 cell/well로 분주하고 24시간 동안 37℃, 5% CO₂ incubator에서 배양한 후 동결건조된 과피 추출액을 농도별(12.5, 25, 50, 100, 200, 400 µg/mL)로 희석하여 세포에 100 µL씩 처리하고 동일 조건에서 24시간 동안 배양하였다.

이후 세포의 염증 반응 유도를 위해 세포 배양액에 LPS 1 $\mu\text{g/mL}$ 을 처리하고 24시간 배양 후 EZ-Cytox Cell Viability Assay Kit를 10 μL 씩 첨가하여 4시간 후에 450 nm에서 흡광도를 측정하였다.

9. 통계 분석

본 연구의 모든 실험은 3회 반복 수행하였으며, 결과는 평균 $\pm$ 표준편차로 나타내었다. 통계 분석은 SPSS program(ver. 29, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 과종 간 또는 건조 방법에 대해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 과종 간 유의성 검정은 Duncan's multiple range test로 유의수준 $p < 0.05$ 에서 수행하였다. 또한 같은 과종 내 건조 방법 간 차이를 independent samples t-test로 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 과피의 수분함량, pH, 당도

과피의 수분함량, pH 및 당도를 측정한 결과는 Table 1과 같다. 수분함량의 경우 열풍건조 시료에서는 포도와 귤이 각 13.83%, 13.76%로 유의적으로 높았으며, 동결건조 시료에서는 포도가 14.03%로 가장 높은 값을 나타내었으며 복숭아가 6.18%로 가장 낮았다. 건조 방법에 따른 차이를 비교한 결과, 포도를 제외한 모든 과일에서 열풍건조 과피의 수분함량이 동결건조 과피에 비해 유의적으로 높게 나타났으며, 포도는 두 건조 방법 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 식품 내 수분은 저장 중 미생물의 생육을 좌우하는 주요 인자이므로, 건조를 통한 수분 제거는 미생물 증식에 의한 부패를 억제하여 저장 안정성을 향상할 수 있다(Park et al. 2020). 열풍건조는 가열된 공기를 순환시켜

대류에 의해 식품 표면의 수분을 증발시키는 방식인 반면, 동결건조는 식품 내 수분을 동결시킨 후 감압 상태에서 얼음을 직접 승화시키는 방식으로 시료 내부까지 균일하게 건조가 진행된다(Son & Hwang 2024). 본 연구에서 포도를 제외한 모든 과피에서 동결건조 시료의 수분함량이 유의적으로 낮게 나타난 것은, 동결건조가 열풍건조에 비해 조직 내부의 수분까지 효율적으로 제거하기 때문으로 판단된다. pH는 두 건조 방법 모두에서 포도가 가장 낮고 배가 가장 높은 값을 나타내었다. 유기산은 폴리페놀과 상호작용하여 식품 내 pH 조절, 색소 안정화, 항균 작용 등 다양한 기능을 발휘하며 식품 보존제, 산미 조절제 및 기능성 첨가 소재로의 응용 가능성이 제시되고 있는데(Tikhonova et al. 2021), 포도 껍질에서 확인된 주된 유기산인 adipic acid, 초산 등은 포도 껍질이 숙성, 저장, 또는 자연 발효를 거치며 축적되었기 때문에 다른 껍질에 비해 높은 수준으로 검출되어 pH를 낮췄을 것으로 판단된다(Lee et al. 2026). 복숭아와 귤은 열풍건조에 비해 동결건조 과피에서 유의적으로 낮은 pH를 보이지만, 감은 열풍건조 과피에서 유의적으로 낮은 값이 확인되었으며, 사과, 배, 포도는 건조 방법 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 당도는 두 건조 방법 모두에서 배가 가장 낮고 복숭아가 가장 높게 측정되었으며, 사과, 포도 및 귤은 동결건조에 비해 열풍건조 과피에서, 복숭아는 열풍건조에 비해 동결건조 과피에서 유의적으로 높은 당도를 나타내었다. 감은 열풍건조에 비해 동결건조에서 다소 높은 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다.

Table 1. Moisture, pH and Sweetness of different fruit peels

	Moisture (%)			pH			Sweetness (° Brix)		
	Hot-air drying	Freeze drying	F-value ⁴⁾	Hot-air drying	Freeze drying	F-value	Hot-air drying	Freeze drying	F-value
Ae ¹⁾	10.83 ± 1.02 ^{2)ab3)}	8.40 ± 0.26 ^c	5.371 [*]	5.10 ± 0.02 ^b	5.10 ± 0.00 ^c	10.316 ^{ns}	6.53 ± 0.06 ^d	6.13 ± 0.06 ^c	0.000 ^{**}
Pr	11.97 ± 0.40 ^b	7.62 ± 0.25 ^b	0.363 ^{***}	5.77 ± 0.05 ^c	5.72 ± 0.06 ^c	0.292 ^{ns}	5.00 ± 0.00 ^a	5.07 ± 0.06 ^a	16.000 ^{ns}
Ge	13.83 ± 1.16 ^c	14.03 ± 0.62 ^c	2.553 ^{ns}	4.08 ± 0.01 ^a	4.05 ± 0.02 ^a	1.565 ^{ns}	7.40 ± 0.10 ^c	7.17 ± 0.06 ^d	0.400 [*]
Ph	10.28 ± 0.52 ^a	6.18 ± 0.07 ^a	7.856 ^{**}	5.19 ± 0.04 ^c	4.95 ± 0.02 ^b	2.000 ^{***}	7.70 ± 0.10 ^f	7.93 ± 0.06 ^e	0.400 [*]
Te	13.76 ± 0.79 ^c	10.74 ± 0.30 ^d	4.010 ^{**}	5.73 ± 0.01 ^c	5.54 ± 0.05 ^d	2.484 ^{**}	5.70 ± 0.10 ^b	5.37 ± 0.06 ^b	0.400 ^{**}
Pn	9.74 ± 0.73 ^a	7.85 ± 0.29 ^{bc}	3.558 [*]	5.29 ± 0.02 ^d	5.52 ± 0.04 ^d	2.207 ^{***}	5.93 ± 0.12 ^c	6.13 ± 0.06 ^c	3.200 ^{ns}

¹⁾Ae, Apple; Pr, Pear; Ge, Grape; Ph, Peach; Te, Tangerine; Pn, Persimmon.

²⁾All values are mean ± SD (n=3).

³⁾Means with the same letter (a-f) in a column are not significantly different by Duncan's multiple range test at p<0.05.

⁴⁾F-value was determined by an independent-samples t-test between hot-air drying and freeze-drying within the same fruit peel (*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001; ns, not significant).

2. 과피의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

과피의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량은 Fig. 1에 나타내었다. 총 폴리페놀 함량은 열풍건조와 동결건조 모두에서 포도가 614.80 mg FAE/g DW, 770.96 mg FAE/g DW로 가장 높았고 감이 206.34 mg FAE/g DW와 256.84 mg FAE/g DW로 가장 낮았다. 건조 방법 간 비교 결과, 사과를 제외한 모든 과일에서 열풍건조에 비해 동결건조 시 유의적으로 높은 폴리페놀 함량을 보였으며, 사과는 건조 방법 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 총 플라보노이드 함량은 동결건조한 껍질이 약 7569 mg QE/g DW로 전체 과피 중 가장 높은 함량을 나타내었고, 동결건조한 포도가 그 다음으로 높았으며, 두 과일 모두 열풍건조에 비해 동결건조 시 유의적으로 증가하였다. 감은 열풍건조 및 동결건조 모두에서 가장 낮은 값을 보였지만, 동결건조에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다. 반면 사과, 배, 복숭아는 건조 방법 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 식이 플라보노이드는 열에 불안정하여 가열 과정에서 쉽게 분해

되며, 이에 따라 생물학적 활성이 저하되는 것으로 알려져 있다(Gao et al. 2022). 따라서 껍, 포도 및 감에서 열풍건조 시료의 플라보노이드 함량이 낮게 나타난 것은, 건조 과정 중 장시간의 열처리 때문에 열에 민감한 플라보노이드가 분해되었기 때문으로 판단된다. 이는 아로니아를 대상으로 한 연구에서 고온의 열처리로 인해 세포벽을 파괴하여 유효성분 분리가 쉽게 일어나 열풍건조 추출물의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량이 동결건조 추출물에 비해 낮게 나타났다는 Park & Kim (2018)의 보고와 유사한 경향이었다.

3. 과피의 라디칼 소거 활성

과피의 라디칼 소거 활성은 Fig. 2에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거 활성은 열풍건조 및 동결건조된 포도에서 각각 126.78 mg TEAC/g DW와 132.92 mg TEAC/g DW로 모든 과일 중 가장 높은 활성을 나타내었으며, 동결건조 과피에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 복숭아와 귤은 열풍건조 과피에서 각각 116.30, 99.53 mg TEAC/g

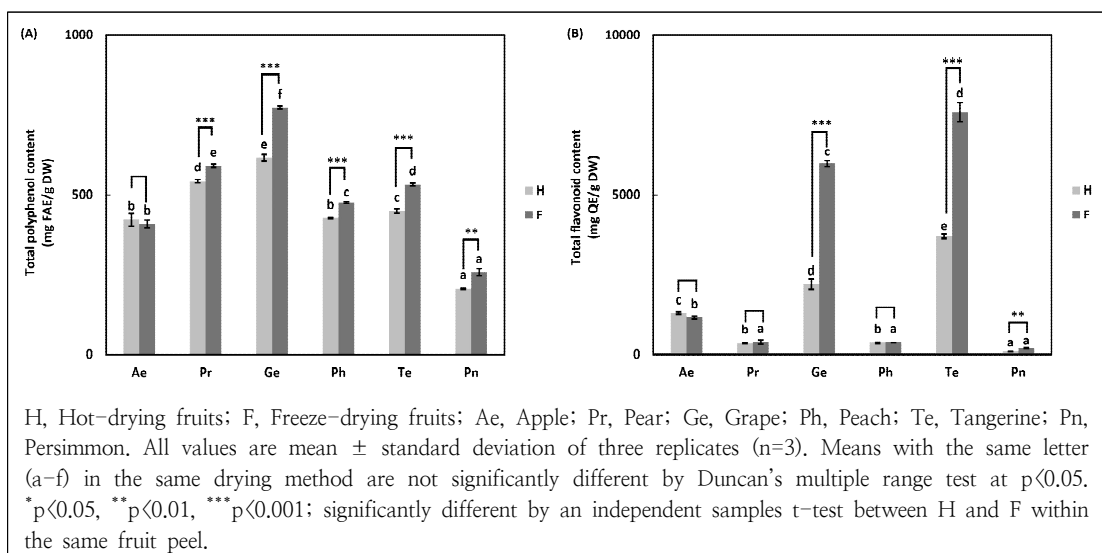


Fig. 1. Total polyphenol (A) and flavonoid (B) contents of fruit peels.

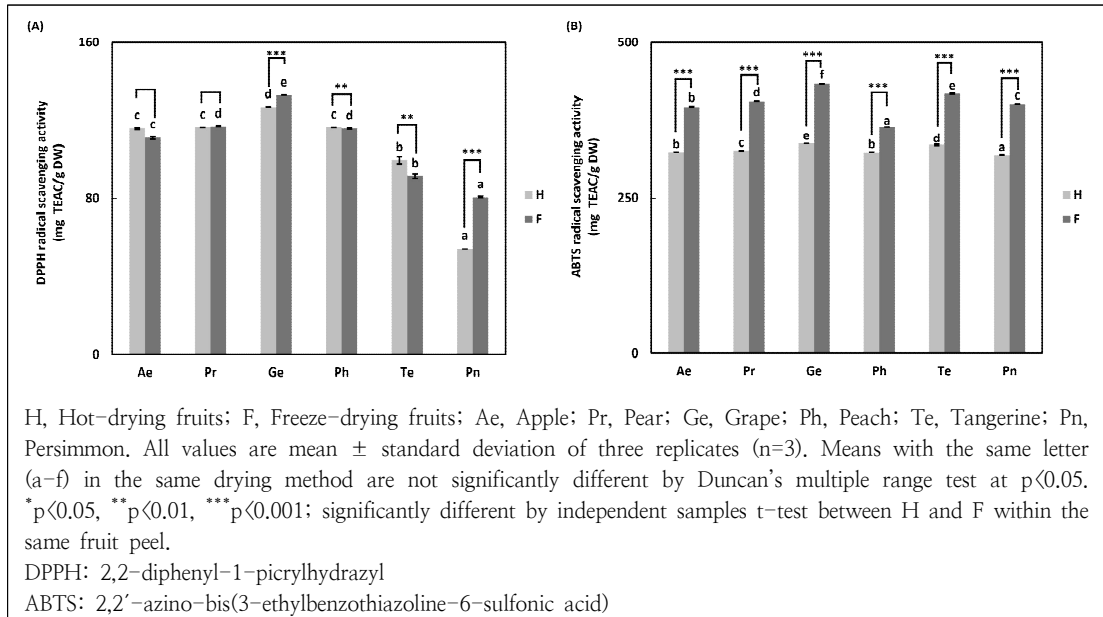


Fig. 2. Antioxidant activities of fruit peels. DPPH (A) and ABTS (B) radical scavenging activities.

DW로 동결건조 과피의 115.76, 91.24 mg TEAC/g DW에 비해 유의적으로 높은 활성을 나타내었다. 반면 감은 열풍건조 과피에서 54.10 mg TEAC/g DW로 6종 중 가장 낮은 활성을 보였으나, 동결건조 시 80.60 mg TEAC/g DW로 유의적으로 증가하였으며, 사과와 배에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. ABTS 라디칼 소거 활성은 과종 간 및 건조 방법 간 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 모든 과일에서 동결건조 시 활성이 유의적으로 증가하였고 두 건조 방법 모두에서 포도가 열풍건조의 경우 337.51 mg TEAC/g DW, 동결건조의 경우 433.76 mg TEAC/g DW으로 가장 높은 활성을 나타내었다.

4. 과피의 환원력

과피의 환원력은 Fig. 3에 나타내었다. 환원력은 사과의 경우 건조 방법 간 유의적인 차이를 나타내지 않았지만, 사과를 제외한 모든 과일에서 동결건조가 열풍건조보다 유의적으로 높았고 동결건조

조한 포도에서 1626.63 mg TERP/g DW로 가장 높은 값을 보였다. 환원력은 시료가 Fe^{3+} 를 Fe^{2+} 로 환원시키는 전자공여 능력을 측정하는 지표로 (Oyaizu 1986), 페놀 화합물의 hydroxyl기가 주된 전자 공여체로 작용하며 hydroxyl화 정도가 클수록 활성이 높아지는 것으로 알려져 있다 (Rice-Evans et al. 1996). 본 연구에서 건조 방법에 따른 환원력의 변화 양상은 총 폴리페놀 함량의 변화와 일치하였는데, 사과를 제외한 모든 과일에서 동결건조 시 총 폴리페놀 함량과 환원력이 함께 유의적으로 증가하였고, 총 폴리페놀 함량이 가장 높았던 포도가 환원력에서도 가장 높은 값을 나타내었다. 특히 건조 방법 간 총 폴리페놀 함량에 차이가 없었던 사과에서 환원력 또한 유의한 차이가 나타나지 않은 점은, 과피의 환원력이 페놀성 성분의 함량에 크게 의존함을 뒷받침한다.

5. 과피의 SOD 유사활성능

과피의 SOD 유사활성능은 Fig. 4에 나타내었

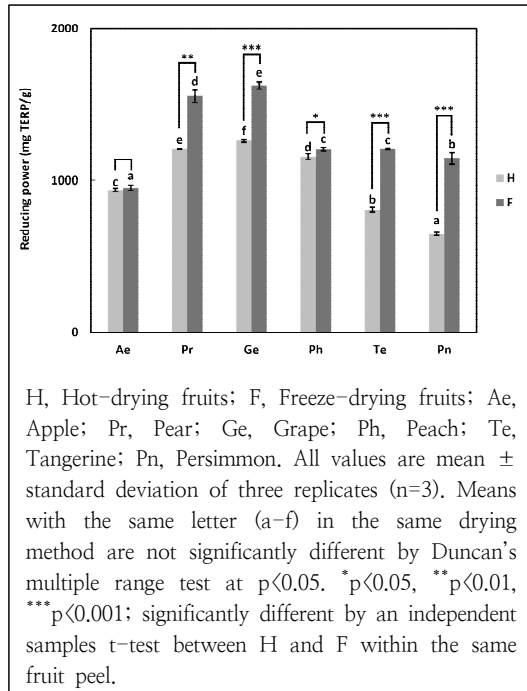


Fig. 3. Reducing power of fruit peels.

다. SOD 유사활성은 전반적으로 열풍건조 과피에서 높게 측정되었으며, 열풍건조한 포도가 59.26%로 가장 높은 활성을 나타내었다. 과일 과피는 환원당 함량이 높아 아미노 화합물과의 비효소적 갈변 반응이 일어나기 쉬우며, 열풍건조와 같이 고온에서 장시간 진행되는 건조 공정에서는 마이야르 반응이 가속되는 반면 동결건조에서는 최소화된다 (Calín-Sánchez et al. 2020; Somjai et al. 2021). 이때 생성된 갈변 물질이 활성산소 포착 및 금속 이온 킬레이트를 통해 항산화 활성에 기여할 가능성이 있으므로 (Langner & Rzeski 2014), pyrogallol 자동산화 억제물에 근거한 간접적 측정법 (Marklund & Marklund 1974)으로 알려진 SOD 유사활성은 페놀성 성분의 상대적 기여도가 낮아 갈변 물질의 영향이 부각된 것으로 판단된다. 이상의 결과, 과종별 비교에서는 포도가 전반적으로 가장 우수한 항산화 활성을 나타내었으며, 감은

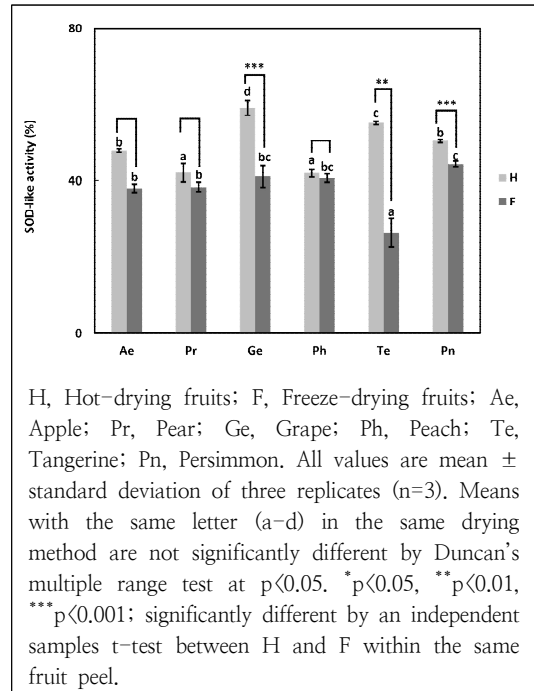


Fig. 4. Superoxide dismutase (SOD)-like activity of fruit peels.

DPPH 라디칼 소거활성에서 가장 낮은 활성을 보인 반면 SOD 유사활성에서는 비교적 높은 값을 나타내었다. 건조 방법의 효과는 항산화 지표 및 과일 종류에 따라 상이하여, ABTS 라디칼 소거활성과 환원력에서는 동결건조가 유리한 반면 SOD 유사활성에서는 열풍건조가 더 높은 활성을 나타내었다.

6. 과피를 첨가한 RAW 264.7 세포의 세포 생존율 및 항염증 효과

앞선 결과에서 동결건조 과피가 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량과 ABTS 라디칼 소거 활성 및 환원력에서 열풍건조 과피에 비해 우수한 것으로 확인되었으므로, 세포 수준의 생리활성 평가는 동결건조 과피 추출물을 대상으로 수행하였다. 동결건조한 6종 과일 껍질 추출물의 세포 독성을 평가하기 위하여 RAW 264.7 대식세포에 12.5 ~

800 $\mu\text{g/mL}$ 농도로 처리한 후 세포 생존율을 측정한 결과는 Fig. 5와 같다.

WST-8(2-(2-methoxy-4-nitrophenyl)-3-(4-nitrophenyl)-5-(2,4-disulfophenyl)-2H tetrazolium, monosodium salt)는 미토콘드리아 탈수소효소에 의해 고수용성 포르마잔을 생성하는 2세대 테트라졸륨 염으로, 생존 세포에 의해 환원되어 주황색 포르마잔을 생성하여 세포 생존율을 측정하는 방법이다(Kamiloglu et al. 2020). 사과는 농도가 증가함에 따라 점진적으로 상승하여 200 $\mu\text{g/mL}$ 에서 118.83%로 최댓값을 나타내었으나, 800 $\mu\text{g/mL}$ 에서는 26.41%로 급격히 감소하였다. 배는 50 $\mu\text{g/mL}$ 에서 119.96%로 가장 높은 생존율을 보였고 200 $\mu\text{g/mL}$ 까지 100% 이

상을 유지하였으나, 400 및 800 $\mu\text{g/mL}$ 에서 각각 53.66%와 7.27%로 뚜렷한 세포 독성을 나타내었다. 포도는 12.5 ~ 200 $\mu\text{g/mL}$ 범위에서 85.60 ~ 91.68%의 비교적 균일한 생존율을 유지하였으나, 400 $\mu\text{g/mL}$ 이상에서 80% 이하로 감소하였고 복숭아는 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 96.31%로 최대 생존율을 보였으나 400 $\mu\text{g/mL}$ 이상에서는 60% 미만으로 저하되었다. 귤은 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 96.58%로 최댓값을 나타내었으나 200 $\mu\text{g/mL}$ 에서 42.47%로 급격히 감소하였고, 400 및 800 $\mu\text{g/mL}$ 에서 각각 3.33%와 10.49%의 매우 낮은 생존율을 보여 6종 추출물 중 가장 낮은 농도에서부터 세포 독성이 발현되었다. 반면 감은 농도 의존적으로 생존율이 증가하여 400 $\mu\text{g/mL}$ 에서

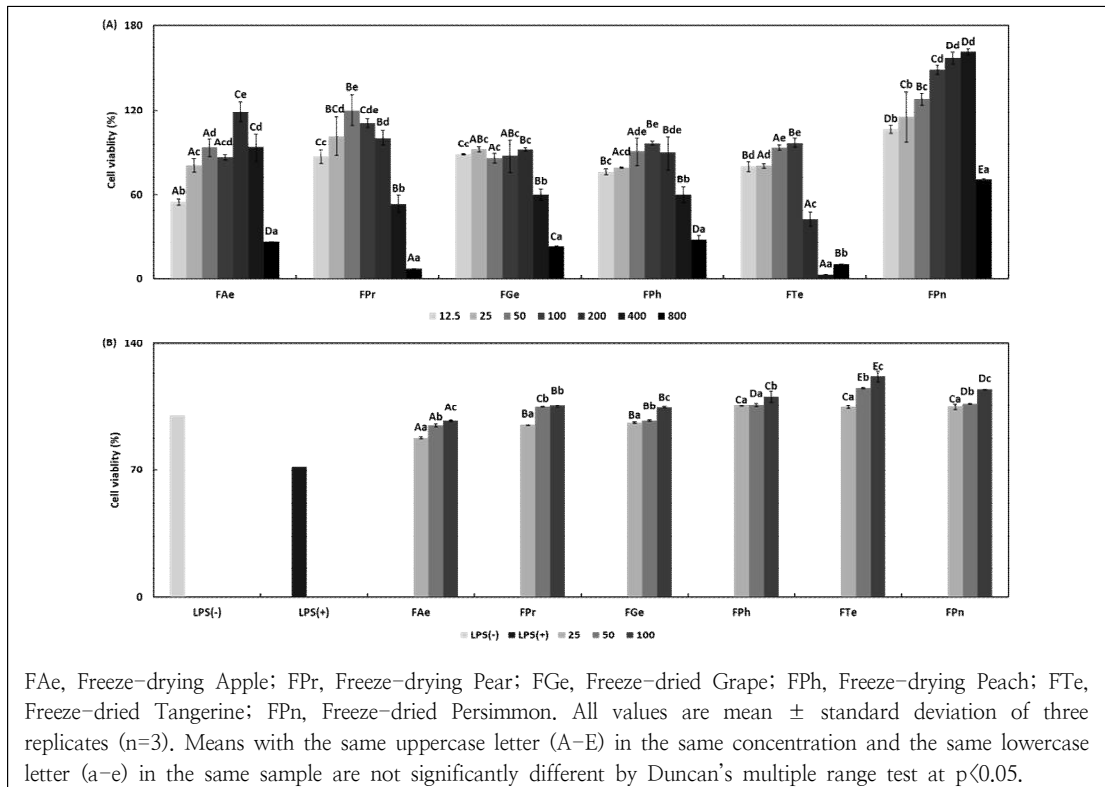


Fig 5. Cell viability of RAW 264.7 cells treated with fruit peel extracts. No treatment with lipopolysaccharide (LPS) (A) and treated with LPS (B).

161.44%로 최댓값을 보였고 800 $\mu\text{g/mL}$ 에서도 70.28%를 유지하여, 6종 중 가장 넓은 농도 범위에서 낮은 세포 독성을 나타내었다. 이처럼 과중에 따라 세포 독성이 발현되는 농도가 상이하였는데, 이는 과피의 페놀성 성분 함량 차이에 일부 기인한 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 세포 생존율 70%를 기준으로 하였을 때(Sinulingga et al. 2021, as cited in Wallin 1998) 사과, 배, 포도 및 복숭아는 200 $\mu\text{g/mL}$ 이하, 귤은 100 $\mu\text{g/mL}$ 이하, 감은 800 $\mu\text{g/mL}$ 이하의 농도에서 RAW 264.7 세포에 대해 유의적인 독성을 나타내지 않는 것으로 확인되었으며 세포 독성 실험 결과를 바탕으로 6종 추출물 모두에서 세포 생존율이 확보되는 25, 50 및 100 $\mu\text{g/mL}$ 을 공통 처리 농도로 선정하여, LPS로 자극한 RAW 264.7 대식세포에 대한 과피 추출물의 항염증 효과를 평가하였다. LPS(lipopolysaccharide)는 그람음성균 외막의 주요 구성 성분으로, 숙주의 선천 면역계를 강력하게 자극하여 TLR4 신호전달을 통한 강력한 염증 반응과 함께 산화·질소화 스트레스 및 세포 손상을 유발하는 것으로 알려져 있다(Page et al. 2022). 따라서 LPS 자극 조건에서의 세포 생존율은 시료의 세포보호 효과를 간접적으로 반영하는 지표로 활용될 수 있으며, 이는 항염증 활성과의 연관 가능성을 시사한다. LPS 단독 처리군의 생존율은 무처리군 대비 71.68%로 유의적으로 감소하였으며, 6종 추출물은 시험한 모든 농도에서 LPS 단독 처리군보다 유의적으로 높은 생존율을 나타내었다. 대부분의 과피에서 처리 농도가 증가함에 따라 생존율이 유의적으로 상승하는 농도 의존적 경향을 보였는데, 그 중 사과 추출물은 25, 50 및 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 각각 88.05%, 94.88%, 97.21%의 생존율을 나타내어 6종 중 가장 낮은 수준을 보

였으나 모든 농도에서 LPS 단독 처리군보다 유의적으로 높았다. 배 추출물은 94.94 ~ 105.26%, 포도 추출물은 96.25 ~ 104.47%의 생존율을 나타내어 50 $\mu\text{g/mL}$ 이상에서 LPS 무처리군과 유사한 수준까지 회복되었다. 복숭아 추출물과 감 추출물의 세포 생존율은 각각 105.49 ~ 110.60%와 104.92 ~ 114.61%로, 모든 시험 농도에서 LPS 무처리군보다 높게 나타났다. 감 추출물이 LPS 자극 조건에서 LPS 단독 처리군보다 높은 생존율을 유지한 것은, 감 과피 폴리페놀이 산화 스트레스가 유도된 세포에서 세포 내 활성산소종 및 nitric oxide 생성을 억제하여 세포 손상을 완화한다는 보고(Yokozawa et al. 2007)와 부합하는 결과이다. 귤 추출물의 경우 25 $\mu\text{g/mL}$ 에서 104.59%, 50 $\mu\text{g/mL}$ 에서 115.32%, 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 121.83%를 나타내어 6종 추출물 중 가장 높은 생존율을 보였다. 감귤류 과피에는 헤스페리딘, 노빌레틴, 탄제레틴 등의 플라보노이드가 풍부하며, 이들 세 성분이 복합적으로 작용하여 LPS로 유도된 염증성 사이토카인 분비를 억제한다(Ho & Kuo 2014). 또한 헤스페레틴 및 그 대사산물은 RAW 264.7 세포에서 LPS에 의해 유도되는 JNK1/2 및 p38의 인산화와 이에 따른 NF- κ B 활성화, iNOS 및 COX-2의 발현을 억제하는 것으로 알려져 있다(Yang et al. 2012). 본 연구에서 귤 과피가 총 플라보노이드 함량이 가장 높았던 점을 고려할 때, 감귤류 유래 플라보노이드가 항염증 활성 가능성이 있는 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 25 ~ 100 $\mu\text{g/mL}$ 범위의 동결건조 과피 추출물은 RAW 264.7 세포에 대해 독성을 나타내지 않으면서 LPS 자극에 의한 세포 생존율 감소를 유의적으로 완화하는 것으로 확인되었으며, 이는 동결건조 과피 추출물이 항염증 효과를 가질 수 있음을 시사한다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라 6대 과일인 사과, 배, 포도, 복숭아, 귤, 감의 껍질을 대상으로 열풍건조와 동결건조 방법에 따른 이화학적 특성, 항산화 활성 및 세포 수준에서의 생리활성을 비교·평가하여, 과일 껍질의 기능성 소재로서의 활용 가능성과 최적 건조 방법을 제시하고자 수행되었다. 수분함량은 포도를 제외한 모든 과일에서 동결건조 과피가 열풍건조 과피에 비해 유의적으로 낮게 나타나, 동결건조가 수분 제거에 더욱 효율적인 것으로 확인되었다. pH는 두 건조 방법 모두에서 포도가 가장 낮고 배가 가장 높았으며, 복숭아와 귤은 동결건조에서, 감은 열풍건조에서 유의적으로 낮은 값을 보였다. 당도는 배가 가장 낮고 복숭아가 가장 높았으며, 사과·포도·귤은 열풍건조 과피에서, 복숭아와 감은 동결건조 과피에서 유의적으로 높은 값을 나타내었다.

총 폴리페놀 함량은 두 건조 방법 모두에서 포도가 가장 높고 감이 가장 낮았으며, 사과를 제외한 모든 과일에서 동결건조 시 유의적으로 증가하였다. 총 플라보노이드 함량은 동결건조한 귤이 6종 과피 중 가장 높은 값을 나타내었고, 귤, 포도 및 감은 열풍건조 대비 동결건조에서 유의적으로 증가하여 열에 민감한 플라보노이드의 보존에 동결건조가 유리함을 확인하였다. 항산화 활성 평가 결과, ABTS 라디칼 소거 활성은 6종 과피 모두에서 동결건조 시 유의적으로 향상되었고 환원력 또한 사과를 제외한 전 과일에서 동결건조가 유의적으로 높아, 동결건조가 항산화능 보존에 유리한 것으로 나타났다. 반면 DPPH 라디칼 소거 활성은 건조 방법에 따른 경향이 과종별로 상이하여 포도와 감은 동결건조가, 복숭아와 귤은 열풍건조에서 높았으며, SOD 유사활성은 포도, 귤, 감의 열풍건조 과피가 높게 측정되었다. 포도는 대부분의 지표

에서 가장 우수한 항산화 활성을 나타내었으며, 감은 DPPH·ABTS 라디칼 소거 활성 및 환원력이 열풍건조에서 가장 낮았으나 동결건조 시 세 지표 모두 유의적으로 증가하여 건조 방법이 항산화능 보존에 미치는 영향이 큰 것으로 확인되었다. 이와 같이 건조 방법의 효과는 항산화 지표 및 과종에 따라 상이하였다. 다만 기능성의 핵심이 되는 총 폴리페놀·플라보노이드 함량, ABTS 라디칼 소거 활성, 환원력은 대부분의 과종에서 동결건조 시 더 잘 보존된 반면, 갈변 물질 형성에 기인하는 것으로 판단되는 SOD 유사활성은 열풍건조에서 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 열에 민감한 항산화 성분의 보존이 목적인 경우 동결건조가, 공정 효율이나 갈변 유래 활성이 중요한 경우 열풍건조가 상대적으로 유리할 수 있음을 시사한다.

한편 동결건조 과피 추출물의 RAW 264.7 대식세포에 대한 세포 독성을 평가한 결과, 세포 생존율 70%를 기준으로 하였을 때 사과·배·포도·복숭아는 200 $\mu\text{g/mL}$ 이하, 귤은 100 $\mu\text{g/mL}$ 이하, 감은 800 $\mu\text{g/mL}$ 이하의 농도에서 유의적인 독성을 나타내지 않았다. 이를 바탕으로 선정된 25 ~ 100 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 6종 추출물은 모두 LPS 단독 처리군에 비해 유의적으로 높은 생존율을 나타내었으며, 복숭아와 감은 시험한 모든 농도에서 LPS 무처리군을 상회하는 생존율을 유지하였다. 특히 귤 추출물은 농도 의존적인 증가 폭이 가장 뚜렷하여 6종 중 가장 높은 생존율을 나타내어, LPS에 의한 세포 손상을 효과적으로 완화하는 것으로 확인되었다.

종합적으로 본 연구의 결과는 6종 과일 껍질이 우수한 항산화 활성 및 LPS 조건에서의 대사활성 회복 가능성을 지닌 기능성 소재로 활용될 가능성을 보여주며, 과일 껍질을 고부가가치 기능성 식품 소재로 활용하기 위해서는 목적으로 하는 기능성 성분이나 활성 지표에 따라 적합한 건조 방법을

선택적으로 적용하는 가공 전략이 필요할 것으로 판단된다.

References

- Abbas M, Saeed F, Anjum FM, Afzaal M, Tufail T, Bashir MS, Ishtiaq A, Hussain S, Suleria HAR(2017) Natural polyphenols: an overview. *Int J Food Prop* 20(8), 1689-1699. doi:10.1080/10942912.2016.1220393
- Babich H, Schuck AG, Weisburg JH, Zuckerbraun HL(2011) Research strategies in the study of the pro-oxidant nature of polyphenol nutraceuticals. *J Toxicol* 2011, 467305. doi:10.1155/2011/467305
- Casanova A, Wevers A, Navarro-Ledesma S, Pruimboom L(2023) Mitochondria: it is all about energy. *Front Physiol* 14, 1114231. doi:10.3389/fphys.2023.1114231
- Ding T, Cao K, Fang W, Zhu G, Chen C, Wang X, Wang L(2020) Evaluation of phenolic components (anthocyanins, flavanols, phenolic acids, and flavonols) and their antioxidant properties of peach fruits. *Sci Hort* 268, 109365. doi:10.1016/j.scienta.2020.109365
- European Commission(1995) Understanding the biological effects of dietary complex phenols and tannins and their implications for the consumer's health and well-being. Available from <https://cordis.europa.eu/project/id/FAIR950653> [cited 2026 July 27]
- Gao Y, Xia W, Shao P, Wu W, Chen H, Fang X, Mu H, Xiao J, Gao H(2022) Impact of thermal processing on dietary flavonoids. *Curr Opin Food Sci* 48, 100915. doi:10.1016/j.cofs.2022.100915
- García-Alonso M, de Pascual-Teresa S, Santos-Buelga C, Rivas-Gonzalo JC(2004) Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chem* 84(1), 13-18. doi:10.1016/S0308-8146(03)00160-2
- Ho SC, Kuo CT(2014) Hesperidin, nobiletin, and tangeretin are collectively responsible for the anti-neuroinflammatory capacity of tangerine peel (*Citri reticulatae* pericarpium). *Food Chem Toxicol* 71, 176-182. doi:10.1016/j.fct.2014.06.014
- Kamiloglu S, Sari G, Ozdal T, Capanoglu E(2020) Guidelines for cell viability assays. *Food Front* 1(3), 332-349. doi:10.1002/fft2.44
- Kim AR, Lee HJ, Jung HO, Lee JJ(2014) Physicochemical composition of ramie leaf according to drying methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43(1), 118-127. doi:10.3746/jkfn.2014.43.1.118
- Kim GC, Lee SY, Kim KM, Kim Y, Kim JS, Kim HR(2011) Quality characteristics of hot-air and freeze dried apples slices after osmotic dehydration. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40(6), 848-852. doi:10.3746/jkfn.2011.40.6.848
- Langner E, Rzeski W(2014) Biological properties of melanoidins: a review. *Int J Food Prop* 17(2), 344-353. doi:10.1080/10942912.2011.631253
- Lee BJ, Cho YS(2014) Effects of drying temperature on the saponin and free sugar contents of *Platycodon grandiflorum* Radix. *Korean J Food Sci Technol* 46(6), 769-772. doi:10.9721/KJFST.2014.46.6.769
- 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(5), 540-544. doi:10.9721/KJFST.2012.44.5.540
- Lee NH, Jung BM, Kim YM(2026) Comparative analysis of nutritional components and antioxidant properties of peel powders from commercial citrus, apple, and grape. *Food Sci Preserv* 33(1), 104-118. doi:10.11002/fsp.2026.33.1.104
- Litvin S, Mannheim CH, Miltz J(1998) Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying. *J Food Eng* 36(1), 103-111. doi:10.1016/S0260-8774(98)00054-5
- Malik F, Iqbal A, Zia S, Ranjha MMAN, Khalid W, Nadeem M, Selim S, Hadidi M, Moreno A, Manzoor MF, Kowalczewski PŁ, Aadil RM(2023) Role and mechanism of fruit waste polyphenols in diabetes management. *Open Chem* 21(1), 20220272. doi:10.1515/chem-2022-0272
- Manful CF, Fordjour E, Subramaniam D, Sey AA, Abbey L, Thomas R(2025) Antioxidants and reactive oxygen species: shaping human health and disease outcomes. *Int J Mol Sci*

- 26, 7520. doi:10.3390/ijms26157520
- Marklund S, Marklund G(1974) Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur J Biochem* 47(3), 469-474. doi:10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (2025) Major statistics of agriculture, food and rural affairs 2025. Sejong: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, pp348-349
- Page MJ, Kell DB, Pretorius E(2022) The role of lipopolysaccharide-induced cell signalling in chronic inflammation. *Chronic Stress* 6, 1-18. doi:10.1177/24705470221076390
- Park MH, Kim B(2018) Antioxidant and anti-inflammatory activities in freeze-dried and hot air-dried aronia (*Aronia melanocarpa*) extracts. *Food Eng Prog* 22(4), 315-320. doi:10.13050/foodengprog.2018.22.4.315
- Park SJ, Choi YB, Ko JR, Rha YA, Lee HY(2014) Effects of drying methods on the quality and physiological activities of blueberry (*Vaccinium ashei*). *Culi Sci Hos Res* 20(1), 55-64. doi:10.20878/cshr.2014.20.1.005
- Park YS, Lee HC, Kim YK, Kang SS, Kang SH, Lee B(2020) Quality characteristics and antioxidant activities of 'Chuwangbae' (*P. pyrifolia* Nakai) dried with different methods. *Korean J Food Preserv* 27(1), 25-31. doi:10.11002/kjfp.2020.27.1.25
- Perrone P, D'Angelo S(2025) Hormesis and health: molecular mechanisms and the key role of polyphenols. *Food Chem Adv* 7, 101030. doi:10.1016/j.focha.2025.101030
- Piscopo A, De Bruno A, Zappia A, Poiana M (2014) Antioxidant activity of dried green olives (*Carolea* cv.). *LWT Food Sci Technol* 58(1), 49-54. doi:10.1016/j.lwt.2014.03.013
- Pisoschi AM, Pop A(2015) The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review. *Eur J Med Chem* 97, 55-74. doi:10.1016/j.ejmech.2015.04.040
- Ranjha MMAN, Amjad S, Ashraf S, Khawar L, Safdar MN, Jabbar S, Nadeem M, Mahmood S, Murtaza MA(2020) Extraction of polyphenols from apple and pomegranate peels employing different extraction techniques for the development of functional date bars. *Int J Fruit Sci* 20(Suppl 3), S1201-S1221. doi:10.1080/15538362.2020.1782804
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C(1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26(9-10), 1231-1237. doi:10.1016/S0891-5849(98)00315-3
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G(1996) Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med* 20(7), 933-956. doi:10.1016/0891-5849(95)02227-9
- Sinulingga K, Sirait M, Siregar N, Doloksaribu ME(2021) Investigation of antibacterial activity and cell viability of Ag/Mg and Ag/Zn co-doped hydroxyapatite derived from natural limestone. *ACS Omega* 6(49), 34185-34191. doi:10.1021/acsomega.1c05921
- Somjai C, Siriwoharn T, Kulprachakarn K, Chaipoot S, Phongphisutthinant R, Wiriyaacharee P(2021) Utilization of Maillard reaction in moist-dry-heating system to enhance physicochemical and antioxidative properties of dried whole longan fruit. *Heliyon* 7(5), e07094. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07094
- Son H, Hwang ES(2024) Quality characteristics and antioxidant activity of burdock according to the drying method and extraction solvent used. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 53(12), 1286-1293. doi:10.3746/jkfn.2024.53.12.1286
- Tikhonova A, Ageeva N, Globa E(2021) Grape pomace as a promising source of biologically valuable components. *BIO Web Conf* 34, 06002. doi:10.1051/bioconf/20213406002
- Wang Y, Wang Z(2025) Dietary hormesis: beyond nutrition and energy supply. *NPJ Sci Food* 9, 144. doi:10.1038/s41538-025-00518-4
- Yang HL, Chen SC, Senthil Kumar KJ, Yu KN, Chao PDL, Tsai SY, Hou YC, Hseu YC(2012) Antioxidant and anti-inflammatory potential of hesperetin metabolites obtained from hesperetin-administered rat serum: an ex vivo approach. *J Agric Food Chem* 60(1), 522-532. doi:10.1021/jf2040675
- Yokozawa T, Kim YA, Kim HY, Lee YA, Nonaka GI(2007) Protective effect of persimmon peel polyphenol against high glucose-induced oxidative stress in LLC-PK1 cells. *Food Chem Toxicol* 45(10), 1979-1987. doi:10.1016/j.fct.2007.04.018