



The *in vitro* antioxidant, α -amylase and α -glucosidase inhibitory ability of different parts of passion fruit (*Passiflora edulis*) extract

Joo Young Jeon · Myung Hyun Kim · Young Sil Han

패션프루트 부위별 추출물의 *in vitro* 항산화와 α -amylase 및 α -glucosidase 저해 활성

전주영 · 김명현 · 한영실

Received: 29 August 2022 / Accepted: 11 October 2022 / Published Online: 31 December 2022
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2022

Abstract The purpose of this study is to investigate the various functionalities of the peels, pulps, and seeds of passion fruit. Proximate composition, mineral contents, phenolic acid contents, total polyphenols, total flavonoids, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activities, 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging activities, reducing power, α -glucosidase, and α -amylase inhibitory activities were measured for each part of passion fruit. Proximate composition analysis of the passion fruit indicated that moisture content contained (4.78-8.20%), carbohydrate (68.33-73.23%), protein (8.78-13.63%), fat (1.19-11.60%), and ash (1.51-8.80%). K, Ca, Na and Fe were the predominant mineral in the peels. P and Mg were the predominant mineral in the pulps. All the antioxidant activities (total polyphenols, total flavonoids, DPPH radical scavenging, ABTS radical scavenging, and reducing power) showed high results in the seeds. α -Glucosidase and α -amylase inhibitory activities IC_{50} were in the peels (5.59 and 63.16 mg/mL), in the pulps (3.80 and 31.90 mg/mL), and in the seeds (0.06 and 1.02 mg/mL). These results indicated that the pulps, peels, and seeds of passion fruit have value as natural antioxidants with the high

quality functional components.

Keywords Antioxidant activity · Passion fruit · Proximate analysis

서 론

생활 및 의료 수준의 향상에 따라 노화 지연, 질병 예방, 면역력 증진 등에 대한 관심이 늘어나고 있다[1]. 식물자원은 생체 내에서 다양한 생리활성 물질 생산과 항산화 물질을 생산하는 것으로 알려져 있으며, 이러한 천연물들의 성분과 기능에 대한 과학적인 연구가 활발히 진행되고 있다[2-3].

패션프루트(*Passiflora edulis*)는 시계꽃과에 속하는 다년생 덩굴 작물로 주로 열대 및 아열대 지역의 높은 고지대에서 재배되고 있으며, 당도가 높고 독특한 향기를 가지고 있다. 지구온난화로 국내에서도 재배되기 시작하였고 2012년부터 본격적으로 면적이 전국적으로 확산되었다[4]. 약 500여 종의 패션프루트 속 중 20종 정도만 식용할 수 있으며, 과피색이 자색계통인 패션프루트가 내한성이 강해 우리나라에서는 자색계 패션프루트를 주로 재배하고 있다[4-5]. 패션프루트는 껍질 40%, 과육 48%, 씨 12%로 이루어져 있으며, 보통 씨와 과육을 함께 섭취하지만 주스, 시럽 등으로 가공될 때는 많은 양의 껍질, 씨 폐기물이 발생된다[6-7]. 이러한 과일 부산물은 수분함량이 70-90% 이상으로 높아 부패가 쉽게 일어나고 환경의 오염에도 많은 영향을 미치고 있다[8].

패션프루트는 항산화, 항염증[9], 항박테리아[10], 항진균[11] 및 노화 방지[12] 등의 다양한 생리활성 효과를 가지고 있다. 패션프루트의 주성분은 폴리페놀, triterpenes, carotenoid, cyanogenic, 다당류, 아미노산, 미량 원소 등을 포함하며, 이들 화합물 중

Young Sil Han (✉)
E-mail: kimmh@sookmyung.ac.kr

Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

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.

luteolin, apigenin, quercetin 등이 많이 보고되었다[13]. 부위별로 과즙은 당류, 비타민류, 니아신, 칼륨, 카로틴을, 씨는 고품량의 오일(리놀레산, 올레산, 팔미트산 등)과 단백질 등을 함유하는 기능성 과일로 알려져있으며, 과피는 폴리페놀, 섬유, 미량 원소를 함유하며, 부산물로서 폐기물로 처리되었으나 근래에는 펙틴, 의약 성분 추출, 사료 등 널리 이용되고 있다[14,15].

당뇨병은 대사 장애로 식후 혈당이 비정상적으로 증가하는 것으로 α -amylase 및 α -glucosidase 저해는 당의 소화 및 흡수를 제어하여 식후 혈당 상승을 완화시키는 효과적인 방법이다 [16]. 본 연구에서는 국내산 패션프루트의 부위별 성분분석과 항산화 활성, α -amylase 및 α -glucosidase 저해 활성 측정하여 기능성 소재로서의 가능성을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서 사용한 패션프루트는 2022년 4월 전라남도 담양에서 수확한 것을 구입하였다. 껍질과 과육으로 분리하고, 과육을 착즙(HH-SBF11, Hurom Co., Ltd., Gimhae, Korea)하여 씨를 분리하였다. 패션프루트의 과육, 껍질, 씨는 동결건조기(MCFD 8508, Ilshin Bio Base, Yangju, Korea)에서 72시간 동안 동결시킨 후 믹서기(HMF-3260S, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄하였고, 30 mesh로 체 친 분말을 -40°C 냉동고에 보관하며 이용하였다. 실험에 사용한 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), gallic acid, Folin & Ciocalteu 등의 시약은 Sigma-aldrich chemical Co. (St. Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였으며, 그 외 모든 용매 및 시약은 1급을 사용하였다.

일반성분 분석

패션프루트의 부위별 일반성분은 AOAC(2010)법에 따라 분석하였다[17]. 수분 함량은 적외선 수분측정기(MB45 Moisture Analyzer, Ohaus Corporation, Zurich, Switzerland)를 이용하여 측정하였고, 조단백질은 Kjeldahl법으로 자동질소증류장치 micro-kjeldahl (Kjeltec™ 8400, Foss Co., Slangerupgade, Hillerod, Denmark)을 이용하여 측정하였다. 조지방은 soxhlet 추출법으로 자동 조지방 추출기(Soxtec™ 8000, Foss Co., Slangerupgade, Hillerod, Denmark)를 이용하였고, 조회분은 직접회화법으로 550°C 에서 전기회화로(LEF-105S, Baihan Lab Tech Co., Namyangju, Korea)를 이용하여 분석하였다. 탄수화물 함량은 100에서 수분, 조단백질, 조지방, 조회분의 양을 빼주는 차감법을 이용하여 구하였다. 실험은 3회 반복 측정하였으며, 평균값과 표준편차를 나타내었다.

무기질 함량

패션프루트 부위별 무기질 함량은 AACCC(2012)법에 따라 분석하였다[18]. 건식 분해법으로 시험용액을 제조하였고, ICP-OES spectrometer (OPTIMA 8300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 시료 0.7 g을 $450\text{--}550^{\circ}\text{C}$ 에서 완전 회화시키고, HCl 10 mL를 가하여 6시간 상온분해하였다. 그리고 50 mL volume metric flask에 여과한 후 3차 증류수로 정용하여 시험용액으로 하였다. 실험은 3회 반복 측정하였으며, 평균

값과 표준편차를 나타내었다.

추출물 제조

패션프루트 과육, 껍질, 씨의 항산화 활성 측정을 위하여 초음파 추출을 통해 추출물을 제조하였다. 동결 건조한 부위별 패션프루트 분말과 20배 분량의 70% ethanol을 넣고 초음파 균질기(KUS-650, KBT, Seongnam, Korea)를 이용하여 25°C , 300 W에서 15분간 3회 반복 추출하였다. 추출물은 rotary vacuum evaporator (N-1000, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 감압 농축하였으며, 동결 건조하여 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

패션프루트 부위별 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법을 참고하여 측정하였다 [19]. 시료액 150 μL , 증류수 2,400 μL 와 2 N Folin-Ciocalteu 용액 50 μL 를 첨가하여 교반하였고, 3분간 반응시킨 뒤 1 N sodium carbonate (Na_2CO_3) 300 μL 를 가하였다. 그 후 2시간 동안 암소에서 정치시킨 다음 725 nm에서 흡광도(T60UV, PG Instruments, Wibtot, England)를 측정하였다. Gallic acid를 표준물질로 하여 검량선을 작성한 후 계산하였으며, 실험은 3회 반복 측정하였고 평균값과 표준편차로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량 측정

패션프루트 부위별 총 플라보노이드 함량은 Um과 Kim의 연구 [20] 방법을 참고하여 Davis법으로 측정하였다. 시료액 1 mL에 90% diethylen glycol 10 mL와 1 N NaOH 1 mL를 가하고, 1 시간 동안 37°C 의 water bath (WBT-10, Jeong Bio Tech., Incheon, Korea)에서 반응한 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 rutin (Sigma Co., USA)을 사용하여 검량선을 구한 후 계산하였으며, 실험은 3회씩 반복 측정하였고 평균값과 표준편차로 나타내었다.

DPPH radical 소거활성 측정

패션프루트 부위별 DPPH 라디칼 소거활성은 Blois의 연구[21] 방법에 따라 측정하였다. 희석한 시료액 990 μL 에 DPPH solution (1.5×10^{-4} M) 330 μL 를 가하고 교반한 뒤 암소에서 30분간 방치하였고, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 실험은 3회 반복 측정하였으며 평균값과 표준편차로 나타내었다.

DPPH radical scavenging activity (%)

$$= (1 - \text{sample absorbance/control absorbance}) \times 100$$

ABTS radical 소거활성 측정

패션프루트 부위별 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) 라디칼 소거활성은 Re 등[22]의 방법을 변형하여 실험하였다. 7.0 mM ABTS 용액과 2.45 mM potassium persulfate를 혼합하여 ABTS solution을 제조하고, ABTS radical (ABTS^{\bullet})을 생성하기 위하여 12-16시간 동안 반응시켰다. Radical이 생성된 용액은 흡광도 734 nm에서 0.70 ± 0.02 가 되도록 PBS buffer로 희석하였다. ABTS solution 900 μL 과 시료액 100 μL 를 혼합하였고 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 소거활성은 백분율로 표시하였고, 실험은 3회 반복 측정하였으며 평균값과 표

준편차로 나타내었다.

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = (1 - \text{sample absorbance/control absorbance}) \times 100$$

환원력(Reducing power) 측정

패션프루트 부위별 환원력은 Oyaizu의 연구[23] 방법을 이용하여 측정하였다. 시료액 2.5 mL에 0.2 M sodium phosphate buffer (pH 6.6) 2.5 mL와 1% potassium ferricyanide 2.5 mL를 각각 혼합하였고, 혼합물을 water bath에서 50 °C에서 20분간 반응시켰다. 여기에 10% trichloroacetic acid 2.5 mL를 첨가하여 혼합하고, 상등액 5 mL, 증류수 5 mL, 0.1% ferric chloride 1 mL를 넣어 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 그 값은 환원력으로 나타내었고, 실험은 3회 반복 측정하였으며 평균값과 표준편차로 나타내었다.

α-Glucosidase 저해 활성 측정

패션프루트 부위별 α-glucosidase 저해 활성은 Zhu 등[24]의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 200 μL에 α-glucosidase 10 μL를 넣고 37 °C에서 5분간 incubation (IB-600M, JEIO tech Co., Daejeon, Korea) 한 후, 200 μL 1 mM PNPG 용액을 가하였으며, 37 °C에서 20분간 incubation에서 반응시켰다. 반응 중지를 위하여 500 μL 1 N NaOH를 넣고, 50 mM phosphate buffer (pH 6.8) 590 μL를 첨가한 후 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 acarbose를 사용하였고, 실험은 3회 반복 측정하였으며 평균값과 표준편차로 나타내었다.

α-Amylase 저해 활성 측정

패션프루트 부위별 α-amylase 저해 활성은 Bhandari 등[25]의 방법을 이용하였다. Starch azure 2 mg에 0.01 M CaCl₂를 함유하는 0.5 M tris HCl buffer 1 mL를 혼합하고 5분 동안 가열하였다. 그 후 증류수에 희석한 시료 0.2 mL와 α-amylase 0.2 mL를 가한 후, 0.3 mL starch azure 용액을 가한 후 37 °C에서 10분간 인큐베이터에서 반응시켰다. 50% acetic acid 0.1 mL를 첨가하여 반응을 종결시킨 후 4 °C, 3000 rpm에서 5분간 원심분리하여 상층액의 흡광도를 595 nm에서 측정하였다. 양성대조군으로는 acarbose를 사용하였고, 실험은 3회 반복 측정하였으며 평균값과 표준편차로 나타내었다.

통계처리

실험 결과의 통계분석은 SPSS 프로그램(Statistical Analysis Program, version 25, IBM Co., Amonk, NY, USA)을 이용하

였고, 평균과 표준편차로 나타내었다. 일원배치분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)으로 실험의 유의성 검증을 하였고, 유의성이 있는 경우 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 사후검정을 실시하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

일반성분 분석

패션프루트 부위별 일반성분 결과는 Table 1에 나타내었다. 동결건조한 패션프루트 껍질의 일반성분은 수분 8.20%, 조단백질 13.63%, 조지방 1.19% 조회분 8.80%, 탄수화물 68.33%이었으며, 패션프루트 과육은 수분 11.13%, 조단백질 10.77%, 조지방 2.32%, 조회분 6.16%, 탄수화물 69.72%이었다. 패션프루트 씨는 수분 4.78%, 조단백질 8.78%, 조지방 11.60%, 조회분 1.51%, 탄수화물 73.23%이었다. 패션프루트 껍질의 경우 다른 부위에 비하여 조단백질, 조회분 함량이 많았고 과육은 수분함량, 씨는 조지방, 탄수화물 함량이 많았다. Jeong의 연구[26]에서 씨를 포함하는 패션프루트 과육의 일반성분을 측정하였을 때 수분 5.53%, 조단백질 10.36%, 조지방 17.98%, 조회분 2.82%, 탄수화물 63.32%의 결과가 나왔는데 씨를 포함하여 측정했기 때문에 본 연구와는 다소 차이가 나타났다. 또한 같은 품종이라도 수확 시기, 재배 환경 등 다양한 요인에 따라 차이가 있기 때문으로 판단되었다.

무기질 함량

패션프루트 부위별 무기질 함량은 Table 2에 나타내었다. 동결건조 패션프루트 껍질의 무기질 함량은 K 3958.51 mg, P 242.66 mg, Ca 213.05 mg, Mg 76.82 mg, Na 25.22 mg, Fe 5.54 mg이었고, 과육은 K 1114.83 mg, P 332.92 mg, Mg 122.34 mg, Ca 28.53 mg, Na 16.47 mg, Fe 2.98 mg이었다. 씨는 K 442.87 mg, P 272.43 mg, Mg 92.18 mg, Ca 28.17 mg, Na 15.92 mg, Fe 1.86 mg이었다. 껍질에 Ca, Fe, K, Na이 높게 나타났고 과육은 Mg, 씨에는 P의 함량이 높게 나타났다. 동결건조한 껍질의 무기질을 분석한 결과 K 1051.00 mg, P 14.52 mg, Ca 18.48 mg, Mg 10.56 mg, Na 8.03 mg, Fe 0.43 mg의 함량을 보여 패션프루트의 무기질 함량이 비교적 많은 것으로 확인되었다[27]. 과일은 미량 영양소의 급원이며, 무기질은 생물의 구성 성분으로 생체 내에서 체조직 형성, pH 조절을 통한 완충작용, 여러 가지 효소의 구성성분 등 다양한 역할을 한다 [27,28]. 따라서 패션프루트는 식품 소재로서 건강상 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

Table 1 Proximate composition of passion fruit parts

Composition (DW, %)	Peel	Pulp	Seed
Moisture	8.20±0.26 ¹⁾¹⁾²⁾	11.13±0.50 ^a	4.78±0.21 ^c
Crude protein	13.63±0.48 ^a	10.77±0.85 ^b	8.78±0.13 ^c
Crude fat	1.19±0.01 ^c	2.32±0.57 ^b	11.60±0.92 ^a
Crude ash	8.80±0.10 ^a	6.16±0.01 ^b	1.51±0.01 ^c
Carbohydrate	68.33±0.33 ^b	69.72±0.70 ^b	73.23±0.34 ^a

¹⁾All values are expressed as mean ± SD (n = 3)

²⁾Values with different letters (a-c) in a row are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

Table 2 Mineral contents of passion fruit parts

Contents (mg/100 g)	Peel	Pulp	Seed
K	3958.51±14.14 ^{1)a2)}	1114.83±5.50 ^b	442.87±1.28 ^c
P	242.66±0.18 ^c	332.92±1.28 ^a	272.43±0.76 ^b
Ca	213.05±2.02 ^a	28.53±0.57 ^b	28.17±0.11 ^b
Mg	76.82±0.64 ^c	122.34±1.87 ^a	92.18±0.17 ^b
Na	25.22±3.01 ^a	16.47±0.18 ^b	15.92±2.12 ^b
Fe	5.54±0.15 ^a	2.98±0.01 ^b	1.86±0.01 ^c

¹⁾All values are expressed as mean ± SD (n=3)

²⁾Values with different letters (a-c) in a row are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

Table 3 Extraction yield, total polyphenol, total flavonoid, DPPH, ABTS and reducing power of passion fruit parts

	Peel	Pulp	Seed
Extraction yield (%)	40.00 ^{1)b}	62.50 ^a	23.50 ^c
Total phenolic content (mg GAE ^{3)/g)}	17.57±0.28 ^{b2)}	3.41±0.02 ^c	116.99±3.57 ^a
Total flavonoid content (mg RE ^{4)/g)}	6.28±0.68 ^b	0.17±0.01 ^c	21.34±1.05 ^a
DPPH radical scavenging activity IC ₅₀ (µg/mL)	124.67±0.91 ^b	1597.74±189.72 ^a	28.15±0.24 ^b
ABTS radical scavenging activity IC ₅₀ (µg/mL)	579.74±32.60 ^b	4126.29±19.19 ^a	83.00±3.70 ^c
Reducing power (O.D)	1.02±0.03 ^b	0.15±0.01 ^c	2.04±0.02 ^a

¹⁾All values are mean ± SD (n=3)

²⁾Values with different letters (a-c) in a row are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

³⁾GAE: gallic acid equivalent

⁴⁾RE: rutin equivalent

추출 수율

패션프루트 부위별 추출물의 수율은 Table 3에 나타내었다. 초음파 추출은 초음파 진동에 의한 cavitation에 의하여 세포벽을 파괴시키고 식물 세포 내 유용물질의 전달 효율이 향상되어 기존의 추출방법보다 추출시간이 짧고 추출 속도와 효율을 높여 준다[29,30]. 따라서 본 실험에서는 70% 에탄올을 추출용매로 초음파 추출을 이용하였다. 패션프루트의 수율은 과육 62.50%, 껍질 40.00%, 씨 23.50%의 순으로 나타났($p < 0.001$). 물 추출한 비파의 수율 결과 과실 54.00%, 과피 24.00%, 씨 16.00%이었고, 70% 에탄올로 추출한 거봉의 수율은 씨 29.50-34.50%, 과피 31.30-47.80%로 주로 과육, 껍질, 씨 순으로 수율이 높았고 본 실험에서도 씨와 껍질보다 과육에서 수율이 높아 유사한 경향이 나타났[31,32].

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

패션프루트 부위별 추출물의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 Table 3에 나타내었다. 폴리페놀은 식물계 널리 분포된 2차 대사산물로, 수산기를 가지기 때문에 단백질 및 기타 거대 분자들과 쉽게 결합하며, 항균, 항암, 항산화 등의 다양한 생리활성을 가지는 것으로 알려져있다[33]. 플라보노이드는 페놀성 화합물 중에 하나로 노란색 또는 담황색 계통의 색소 화합물로서 채소류, 곡물 및 과일류 등에 풍부하게 함유되어있다[34]. 패션프루트 부위별 총 폴리페놀 측정 결과 껍질 17.57 mg GAE/g, 과육 3.41 mg GAE/g, 씨 116.99 mg GAE/g이었고, 플라보노이드 함량은 껍질 6.28 mg RE/g, 과육 0.17 mg RE/g, 씨 21.34 mg RE/g이었다($p < 0.001$). 씨, 껍질, 과육 순으로 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 높게 나타났다. 패션프루트의 씨는 전체 중량의 12%이지만, 패션프루트의 총 폴리페놀 함량의 88%

가 씨에 함유되어있어 껍질이나 과육과 비교하여 더 많은 폴리페놀이 함유되어있다고 보고하였다[6]. 본 논문에서도 씨에서 폴리페놀, 플라보노이드 모두 높은 함량을 보여 유사한 결과가 나타났다. 동결건조한 패션프루트의 piceatannol을 측정해보았을 때 과육과 껍질에서는 검출되지 않았고, 씨에는 4.80 mg/g으로 다량 검출되었다. piceatannol은 resveratrol의 유도체로 resveratrol보다 강력한 항산화제며, 항염증, 항암 등에 효과가 있다고 알려져있다. 블루베리와 비교해보았을 때도 0.14-0.42 µg/g으로 패션프루트 씨가 50배 이상 함량이 높아 씨가 껍질과 과육에 비하여 훨씬 높은 항산화 활성에 영향을 주었다고 생각된다[6,35,36]. 과일씨의 총 폴리페놀을 측정한 결과 참외 씨[37]는 0.26 mg GAE/g, 자두 씨[38]는 52.42-65.76 mg GAE/g, 복숭아 유과 씨[39]는 18.33-27.08 mg GAE/g으로 패션프루트의 씨의 총 폴리페놀 함량이 상대적으로 높은 값을 보였다.

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성 측정

패션프루트 부위별 추출물의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성은 Table 3에 나타내었다. 노화 및 암 발병의 주된 원인의 하나로 free radical과 관련된 많은 보고가 나왔으며, 다양한 형태의 free radical에 대한 관심이 커지고 있다. 전자공여능은 지질 과산화 반응의 연쇄반응에 관여하는 산화성 free radical에 전자를 제공하여 연쇄반응을 정지시킨다. DPPH는 항산화 물질의 전자 공여능으로 인해 방향족 화합물 및 방향족 아민류에 의해 환원되어 짙은 자색이 탈색되는 정도를 나타내는 지표이다[40]. DPPH와 ABTS 라디칼 소거활성을 IC₅₀으로 나타내었으며, DPPH 소거활성은 껍질 124.67 µg/mL, 과육 1597.74 µg/mL, 씨 28.15 µg/mL으로 나타났($p < 0.001$). ABTS 라디칼 소거활성은 껍질 579.74 µg/mL, 과육 4126.29 µg/mL, 씨 83.00 µg/

Table 4 α -Glucosidase and α -amylase inhibitory activity of passion fruit parts

	Peel	Pulp	Seed
α -Glucosidase inhibitory activity IC ₅₀ (mg/mL)	5.59±0.03 ^{1)a2)}	3.80±0.02 ^b	0.06±0.00 ^c
α -Amylase inhibitory activity IC ₅₀ (mg/mL)	63.16±0.13 ^a	31.90±0.02 ^b	1.02±0.01 ^c

¹⁾All values are expressed as mean ± SD (n=3)

²⁾Values with different letters (a-c) in a row are significantly different by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

mL로 나타냈다($p < 0.001$). 브라질에서 재배된 패션프루트를 부위별로 메탄올 추출하였을 때, DPPH 소거활성의 IC₅₀값은 과육 869.05 μ g/mL, 씨 49.71 μ g/mL, 껍질 225.29 μ g/mL으로 나와 씨, 껍질, 과육 순으로 높은 활성을 보여 본 실험과 동일한 경향을 보였다[41]. 값에는 다소 차이가 나타났는데 본 연구에서는 70% 에탄올을 이용하여 추출하였고, 같은 품종이라도 수확 시기, 재배지, 재배 환경 등 다양한 요인에 따라 차이가 있기 때문으로 판단되었다. 열대, 아열대 과일인 그린키위, 석류, 엘로우망고, 용과, 파인애플, 파파야의 DPPH 소거활성을 측정 한 결과 1000 μ g/mL에서 13.52-61.73%의 활성을 보였고 석류가 61.73% 나머지가 25% 이하의 활성을 보였다[42]. ABTS 소거활성은 2500 μ g/mL에서 18.15-78.40%의 활성을 보였고 석류가 78.40% 나머지는 40% 이하의 활성을 보였다. 열대과일과 패션프루트 부위별 항산화 활성을 비교하였을 때, 패션프루트 씨와 껍질은 더 높은 소거활성을 보였으며 패션프루트 과즙은 DPPH 라디칼 소거활성이 1000 μ g/mL에서 약 46%, ABTS가 2500 μ g/mL에서 34% 소거활성을 보여 다른 열대과일들과 비슷한 수치가 나타났다. DPPH와 ABTS 라디칼 소거능을 비교하면 DPPH에서 IC₅₀값이 더 낮았는데 이는 ABTS는 양이온 라디칼을, DPPH는 음이온 라디칼을 생성하므로 기질과 반응물질의 결합 정도가 서로 달라 측정 결과가 다르게 나타났다고 판단되었다[43].

환원력 측정

패션프루트 부위별 추출물의 환원력은 Table 3에 나타내었다. 환원력은 DPPH assay, ABTS assay와 마찬가지로 산화 환원 반응으로 시료의 환원력에 의한 free radical 소거능을 흡광도로써 확인하는 방법이다. 철 이온을 환원($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$)시키는 능력을 측정하는 것으로, 흡광도 수치 그 자체가 시료의 환원력을 나타내고 높은 항산화 활성을 가질수록 수치가 높게 나타난다[44]. 패션프루트 부위별 환원력 측정 결과 2.5 mg/mL 농도에서 껍질 1.02 O.D., 과육 0.15 O.D., 씨 2.04 O.D.의 값이 나왔다($p < 0.001$). Katsube 등[45]에서 페놀성 물질과 항산화 활성 간에는 높은 상관관계가 있다고 하였다. 본 실험에서 총 폴리페놀, 플라보노이드, DPPH, ABTS 결과 모두 패션프루트 씨, 껍질, 과육 순으로 높은 항산화 활성을 보였고 환원력에서도 씨, 껍질, 과육 순으로 높은 항산화 활성을 보였다.

α -Glucosidase 및 α -amylase 저해 활성 측정

패션프루트 부위별 추출물의 α -glucosidase 저해 활성은 Table 4에 나타내었다. α -Glucosidase는 이당류, 다당류 등의 탄수화물을 단당류 형태로 가수분해하는 효소로서 소장 brush-border membrane에 존재한다. α -glucosidase 저해제는 소장점막 미세음모막에 존재하는 이당류의 분해효소를 가역적으로 억제하여 탄

수화물의 흡수를 지연시키는 역할을 하며, 소장 전체에 포도당이 흡수되어 식후 혈당 상승을 완만하게 한다[46]. α -Amylase는 탄수화물의 α -D-(1,4)-glucan 결합을 분해하는 효소로서, 탄수화물 대사 작용에 필수적이다[47]. 따라서 소장의 α -glucosidase와 α -amylase를 저해함으로써 포도당의 흡수를 지연시킬 수 있으며, 혈당수치 상승 억제의 지표로 사용된다[48]. α -Glucosidase 및 α -amylase 저해 활성을 IC₅₀으로 나타내었으며, 패션프루트 부위별 α -glucosidase 저해 활성 측정 결과 껍질 5.59 mg/mL, 과육 3.80 mg/mL, 씨 0.06 mg/mL으로 나타났고, α -amylase 저해 활성은 껍질 63.16 mg/mL, 과육 31.90 mg/mL, 씨 1.02 mg/mL로 나타냈다($p < 0.001$). 본 논문에서 씨에서 높은 항산화 활성을 보였고, 페놀과 플라보노이드 화합물은 α -glucosidase 및 α -amylase 효소 억제 활성과 밀접한 관계가 있다[49]. 패션프루트 씨의 주요 생리활성 화합물 중 하나인 piceatannol도 당뇨병 증상의 예방과 개선에 도움이 된다 보고되어, α -glucosidase 및 α -amylase 저해 활성 측정 결과 씨에서 높게 나타났다고 여겨졌다[50]. 과일은 파이토케미컬, 항산화제, 섬유소의 급원식품으로 섭취를 권장하고 있으나, 당뇨병 환자에게 있어서 이러한 과일 섭취의 좋은 점이 과일 속 혈당 상승을 이유로 예외 취급되기도 한다[51]. 그러나 과일 속 다양한 영양소는 당뇨병 환자의 인슐린 저항성을 개선하며 산화적 스트레스를 줄이고 혈압을 낮추는 등 혈당조절과 합병증 예방에 도움이 된다. 따라서 당뇨병 환자의 과일 섭취는 필요하며, 1일 약 100-300 g 범위 내에서 식습관, 기호도 등을 고려하여 섭취하는 것이 좋다[52]. 가압열수추출 열대과일 씨의 α -glucosidase 저해 활성 결과(IC₅₀) 두리안 씨 0.15 mg/mL, 파파야 씨 0.34 mg/mL, 망고 씨 0.30-0.40 mg/mL로 보고하였다[53]. 양성대조군인 acarbose와도 비교해보았을 때 α -glucosidase의 IC₅₀값이 0.39 mg/mL로 패션프루트 씨가 더 높은 저해 활성을 나타내었고, 적당량의 패션프루트를 씨와 함께 먹으면 혈당상승을 감소시키며 다양한 영양소 섭취도 할 수 있다 여겨졌다.

초 록

본 연구는 패션프루트 껍질, 과육, 씨의 다양한 기능성과 식품 소재로서의 활용 가능성을 알아보고자 패션프루트 부위별 일반 성분, 무기질 등의 영양성분과 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능, 환원력 등의 항산화 활성, α -glucosidase와 α -amylase 저해 활성 등을 측정하였다. 패션프루트 부위별 일반성분을 측정 한 결과 수분 4.78-8.20%, 탄수화물 68.33-73.23% 단백질 8.78-13.63%, 지방 1.19-11.60%, 회분 1.51-8.80%이었다. 패션프루트 부위별 무기질 함량은 껍질에서 K, Ca, Na, Fe이 높게 나타났고 과육에서

는 P, Mg이 높게 나타났다. 패션프루트 부위별 항산화 활성을 분석한 결과, 총 폴리페놀 함량은 껍질 17.57 mg GAE/g, 과육 3.41 mg GAE/g, 씨 116.99 mg GAE/g이었고, 총 플라보노이드는 껍질 6.28 mg RE/g, 과육 0.17 mg RE/g, 씨 21.34 mg RE/g이었다. DPPH 라디칼 소거활성(IC₅₀)은 껍질 124.67 µg/mL, 과육 1597.74 µg/mL, 씨 28.15 µg/mL로 나타났다. ABTS 라디칼 소거활성(IC₅₀)은 껍질 579.74 µg/mL, 과육 4126.29 µg/mL, 씨 83.00 µg/mL로 나타났다. 패션프루트의 씨, 껍질, 과육 순으로 항산화 활성이 좋게 나타났으며, 특히 씨가 높은 활성을 보였다. α-Glucosidase 저해 활성(IC₅₀)은 껍질 5.59 mg/mL, 과육 3.80 mg/mL, 씨 0.06 mg/mL이었고 α-amylase 저해 활성(IC₅₀)은 껍질 63.16 mg/mL, 과육 31.90 mg/mL, 씨 1.02 mg/mL로 나타나 씨가 가장 높은 활성을 나타내었다. 기능성이 확인된 패션프루트의 과육과 부산물인 껍질과 씨는 버려지는 자원으로 활용 가능성이 높으며, 기능성이 향상된 식품으로서 발전 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한 과일 부산물의 활용은 환경 친화적인 면에서도 다양한 개발과 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Keywords 일반성분 · 패션프루트 · 항산화 활성

References

- Hong HD, Cho CW, Rhee YK, Choi HD, Lee HS (2012) Status on technology development using immuno-modulating polysaccharide. Food Sci Ind 45: 2–11. doi: 10.23093/FSI.2012.45.1.2
- Han SH, Woo NRY, Lee SD, Kang MH (2006) Antioxidative and antibacterial activities of endemic plants extracts in Korea. Korean J Medicinal Crop Sci 14: 49–55
- Hwang SJ, Park SJ, Kim JD (2013) Component analysis and antioxidant activity of *Oenanthe javanica* extracts. Korean J Food Sci Technol 45: 227–234. doi: 10.9721/KJFST.2013.45.2.227
- Lee SM, Kwon HY, Kim HJ, Lee BB, Cho KC, Jeong HJ, Jo HS (2021) Development of techniques for improving fruit high quality and overwintering cultivation in passionfruit (*Passiflora edulis Sims*) grown in the plastic film house. Rural Development Administration (RDA), Jeonju
- Lee MH, Kang SM (2018) The antioxidation effect of *Passiflora edulis f. edulis* rind extract and its influence on cell bioactivity. J Invest Cosmetol 14: 429–439
- Matsui Y, Sugiyama K, Kamei M, Takahashi T, Suzuki T, Katagata Y, Ito T (2010) Extract of passion fruit (*Passiflora edulis*) seed containing high amounts of piceatannol inhibits melanogenesis and promotes collagen synthesis. J agric food chem 58: 11112–11118. doi: 10.1021/jf102650d
- Kulkarni SG, Vijayanand P (2010) Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa L.*). LWT-Food Sci Technol 43: 1026–1031. doi: 10.1016/j.lwt.2009.11.006
- Yook HS, Kim KH, Jang SA (2010) Quality characteristics of grape pomace with different drying methods. J Korean Soc Food Sci Nutr 39: 1353–1358. doi: 10.3746/jkfn.2010.39.9.1353
- Teng H, He Z, Li X, Shen W, Wang J, Zhao D, Sun H, Xu X, Li C, Zha X (2022) Chemical structure, antioxidant and anti-inflammatory activities of two novel pectin polysaccharides from purple passion fruit (*Passiflora edulis Sims*) peel. J Mol Struct 1264: 133309. doi: 10.1016/j.molstruc.2022.133309
- Santos MS, Orlandelli RC, Polonio JC, dos Santos Riberiro MA, Sarragiotto MH, Azevedo JL, Pamphile JA (2017) Endophytes isolated from passion fruit plants: molecular identification, chemical characterization and antibacterial activity of secondary metabolites. J Appl Pharm Sci 7: 38–43
- Pelegri PB, Noronha EF, Muniz MAR, Vasconcelos IM, Chiarello MD, Oliverira JTA, Franco OL (2006) An antifungal peptide from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds with similarities to 2S albumin proteins. Biochim Biophys Acta Proteins Proteom 1764: 1141–1146. doi: 10.1016/j.bbapap.2006.04.010
- Hartanto S, Lister INE, Fachrial E (2019) A comparative study of peel and seed extract of passion fruit (*Passiflora edulis*) as anti collagenase. ASRJETS 54: 42–48
- Rai S, Nagar JC, Mukim M (2022) Pharmacological and medicinal importance of *passiflora edulis*: a review. Int J Res Rev 9: 341–349. doi: 10.52403/ijrr.20220442
- An HJ, Lim CK, Jeon MK, Oh HS (2020) Characteristics of Growth according to Tree shape for Improving the Quality of Passion Fruit. Hortic Sci Technol 11: 142–142
- He X, Luan F, Yang Y, Wang Z, Zhao Z, Fang J, Wang M, Zuo M, Li Y (2020) *Passiflora edulis*: An insight into current researches on phytochemistry and pharmacology. Front pharmacol 11: 617. doi: 10.3389/fphar.2020.00617
- Tan Y, Chang SK, Zhang Y (2017) Comparison of α-amylase, α-glucosidase and lipase inhibitory activity of the phenolic substances in two black legumes of different genera. Food Chem 214: 259–268. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.06.100
- AOAC (2010) Official method of analysis of AOAC. Association of official analysis chemists. Gaithersburg
- AACC (2012) Approved methods of AACC. 10th ed. Method 40-75.01. American association for clinical chemistry. St. Paul
- Swain T, Hillis WE (1959) The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. - The quantitative analysis of phenolic constituents. J Sci Food Agric 10: 63–68. doi: 10.1002/jsfa.2740100110
- Um HJ, Kim GH (2007) Studies on the flavonoid compositions of *Elsholtzia* spp. Korean J Food Nutr 20: 103–107
- Blois MS (1958) Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature 181: 1199–1200. doi: 10.1038/1811199a0
- 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: 1231–1237. doi: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3
- Oyaizu M (1986) Studies on products of browning reaction: antioxidant activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. Jap J Nutr 986: 307–315. doi: 10.5264/eiyogakuzashi.44.307
- Zhu YP, Yin LJ, Cheng YQ, Yamaki K, Mori Y, Su YC, Li LT (2008) Effect of sources of carbon and nitrogen on production of α-glucosidase inhibitor by a newly isolate strain of *Bacillus subtilis* B2. Food Chem 109: 737–742. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.01.006
- Bhandari MR, Anurakkun NJ, Hong G, Kawabata J (2008) α-Glucosidase and α-amylase inhibitory activities of Nepalese medicinal herb Parkhanbhed (*Bergenia ciliata*, Haw.). Food Chem 106: 247–252. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.05.077
- Jeong KO (2018) Quality characteristics of tea thermally processed from passion fruit (*Passiflora edulis Sims.*) peel. Dissertation, Honam University
- Kim JH, Kim MJ, Oh HK, Chang MJ, Kim SH (2007) Seasonal variation of mineral nutrients in Korean common fruits and vegetables. J East Asian Soc Dietary Life 17: 860–875
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, National Institute of Agricultural Science (2016) Korean Food Composition Table, 9th revision, Sejong
- Vilkhu K, Mawson R, Simons L, Bates D (2008) Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry—A review. Innov Food Sci Emerg Technol 9: 161–169. doi: 10.1016/j.ifset.2007.04.014
- Melecchi MIS, Péres VF, Dariva C, Zini CA, Abad FC, Martinez MM,

- Caramão EB (2006) Optimization of the sonication extraction method of *Hibiscus tiliaceus* L. flowers. Ultrason sonochem 13: 242–250. doi: 10.1016/j.ultsonch.2005.02.003
31. Bae YI, Chung YC, Shim KH (2002) Antimicrobial and antioxidant activities of various solvent extract from different parts of loquat (*Eriobotrya japonica*, Lindl.). Korean J Food Preserv 9: 97–101
32. Park SJ, Oh DH (2003) Free radical scavenging effect of seed and skin extracts of black olympia grape (*Vitis labruscana* L.). Korean J Food Sci Technol 35: 121–124
33. Tsao R (2010) Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. Nutrients 2: 1231–1246. doi: 10.3390/nu2121231
34. Böhm H, Boeing H, Hempel J, Raab B, Kroke A (1998) Flavonols, flavone and anthocyanins as natural antioxidants of food and their possible role in the prevention of chronic diseases. Z Ernahrungswiss 37: 147–163. doi: 10.1007/pl00007376
35. Rimando AM, Kalt W, Magee JB, Dewey J, Ballington JR (2004) Resveratrol, pterostilbene, and piceatannol in vaccinium berries. J Agric Food Chem 52: 4713–4719. doi: 10.1021/jf040095e
36. Lee SK, Mbwambo ZH, Chung H, Luyengi L, Gamez EJ, Mehta RG, Kinghorn AD, Pezzuto JM (1998) Evaluation of the antioxidant potential of natural products. Comb chem high throughput screen 1: 35–46
37. Kim HS, Kang YH (2010) Antioxidant activity of ethanol extracts of non-edible parts (stalk, stem, leaf, seed) from Oriental Melon. Korean J Plant Res 23: 451–457
38. Park JW, Lee TJ, Lee SO (2021) Anti-browning effect of plum seed extracts from different cultivars. J Korean Soc Food Sci Nutr 50: 362–368
39. Kim DM, Kim KH, Kim YS, Koh JH, Lee KH, Yook HS (2012) A study on the development of cosmetic materials using unripe peaches seed extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr 41: 110–115. doi: 10.3746/jkfn.2012.41.1.110
40. Kang MH, Choi CS, Kim ZS, Chung HK, Min KS, Park CG, Park HW (2002) Antioxidative activities of ethanol extract prepared from leaves, seed, branch and aerial part of *Crotalaria sessiflora* L. Korean J Food Sci Technol 34: 1098–1102
41. Morais DR, Rotta EM, Sargi SC, Schmidt EM, Bonafe EG, Eberlin MN, Sawaya ACHF, Visentainer JV (2015) Antioxidant activity, phenolics and UPLC-ESI (–)MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. Food Res Int 77: 392–399. doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.036
42. Chung HJ (2015) Comparative study of antioxidant activity of imported tropical and subtropical fruits. Korean J Food Preserv 22: 577–584. doi: 10.11002/kjfp.2015.22.4.577
43. Kim MJ, Park EJ (2011) Feature analysis of different in vitro antioxidant capacity assays and their application to fruit and vegetable samples. J Korean Soc Food Sci Nutr 40: 1053–1062. doi: 10.3746/jkfn.2011.40.7.1053
44. Kwak JH, Choi GN, Park JH, Kim JH, Jeong HR, Jeong CH, Heo HJ (2010) Antioxidant and neuronal cell protective effect of purple sweet potato extract. J Agric Life Sci 44: 57–66
45. Katsube T, Tabata H, Ohta Y, Yamasaki Y, Anurad E, Shiwaku K, Yamane Y (2004) Screening for antioxidant activity in edible plant products: comparison of low-density lipoprotein oxidation assay, DPPH radical scavenging assay, and Folin-Ciocalteu assay. J Agric Food Chem 52: 2391–2396. doi: 10.1021/jf035372g
46. Kim HY, Lim SH, Park YH, Ham HJ, Lee KJ, Park DS, Kim KH, Kim SM (2011) Screening of α -amylase, α -glucosidase and lipase inhibitory activity with Gangwon-do wild plants extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr 40: 308–315. doi: 10.3746/jkfn.2011.40.2.308
47. Kim JH, Kim MU, Cho YJ (2007) Isolation and identification of inhibitory compound from *Crataegi* fructus on α -amylase and α -glucosidase. J Appl Biol Chem 50: 204–209
48. Puls W, Keup U (1973) Influence of an α -amylase inhibitor (BAY d 7791) on blood glucose, serum insulin and nefa in starch loading tests in rats, dogs and man. Diabetologia 9: 97–101. doi: 10.1007/BF01230687
49. Liu S, Ai Z, Qu F, Chen Y, Ni D (2017) Effect of steeping temperature on antioxidant and inhibitory activities of green tea extracts against α -amylase, α -glucosidase and intestinal glucose uptake. Food Chem 234: 168–173. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.151
50. Dos santos FAR, Xavier JA, Da Silva FC, Jose merlin JP, Goulart MOF, Vasantha rupasinghe HP (2022) Antidiabetic, antiglycation, and antioxidant activities of ethanolic seed extract of *Passiflora edulis* and Piceatannol In Vitro. Molecules 27: 4064. doi: 10.3390/molecules27134064
51. Slavin JL, Lloyd B (2012) Health benefits of fruits and vegetables. Adv Nutr 3: 506–16. doi: 10.3945/an.112.002154
52. Lee EY (2019) Intake of fruits for diabetics: Why and how much? J Korean Diabetes 20: 106–111. doi: 10.4093/jkd.2019.20.2.106
53. Islam MR Haque AR, Kabir MR, Hasan MM, Khushe KJ, Hasan SM (2021) Fruit by-products: the potential natural sources of antioxidants and α -glucosidase inhibitors. J Food Sci Technol 58: 1715–1726. doi: 10.1007/s13197-020-04681-2