청유자 껍질 분말 이용 기능성 타블렛 제조 및 이화학적 특성과 기능성 분석

임애은¹ · 조혜성² · 이보배² · 조윤섭² · 남승희¹

¹전남대학교 농업과학기술연구소

²전남농업기술원 파수연구소

Production of Green Yuzu Peel Tablet and Its Physiochemical or Functional Characterization

Ae Eun Im¹, Hae-Sung Cho², Bo-Bae Lee², Youn-Sup Cho², and Seung-Hee Nam¹

¹Institute of Agricultural Science and Technology, Chonnam National University

²Fruit Research Institute of Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services

ABSTRACT Yuzu peel, especially unripe peel (green) has many beneficial compounds such as vitamin C, hesperidin, narirutin, and limonin. We compared ripe (yellow) and unripe (green) yuzu peel with regard to dietary profiles and functional flavonoids using an high-performance liquid chromatography (HPLC). We also explored their antioxidant activity or tyrosinase inhibition effects. Furthermore, green yuzu peel was used to produce yuzu tablets with 10% collagen and characterized with respect to physical properties, product stabilities, and physiological function. Compared to the yellow yuzu peel, the green yuzu peel showed 1.65 times higher dietary fibers, 1.76 times higher narirutin or hesperidin content, and 2.2 times stronger tyrosinase inhibition. Green yuzu tablets were produced with 10% collagen and green yuzu peel powder (10%, 15%, and 20% addition) and then an evaluation of physical properties (acidity, soluble solids, color, hardness) and product stability (solubility, hygroscopicity, disintegration, water or oil holding capacity, and swelling power) was carried out. The tablet with 15% green yuzu peel showed optimum physical and product stability with quality values similar to a widely available commercial product. This green yuzu tablet exhibited 2.5~3 times higher DPPH scavenging activity (53~65%) and tyrosinase inhibitory activities (52~64%) compared to the commercial product. Thus, these results indicate that green yuzu peel powder could find application in food or cosmetic products due to its antioxidant and whitening properties.

Key words: green yuzu peel, yuzu tablet, physiochemical property, tyrosinase inhibition

서 론

유자(*Citrus junos*)는 감귤류의 일종으로 상큼한 향과 특유의 산미를 지니고 있어 주로 과육 및 과피를 사용하여 유자청으로 제조되고 있으며 예로부터 감기 예방을 위한 전통차로 이용되었다(Ji 등, 2008). 유자는 주로 과육만 이용하는 다른 감귤류와는 달리 과육과 과피 모두 이용하므로 과피에 함유된 유효성분을 쉽게 섭취할 수 있는 장점이 있다. 또한 유자 껍질(과피)은 펙틴과 식이섬유로 인해 생분해성이 높아 화장품 및 의약품에도 사용되며 과육보다 영양학적으로 가치 있고 생리활성 성분을 더 많이 함유하고 있다(Park 등, 2001a; Yoo와 Moon, 2016). 유자의 과피에는 다양한

생리 기능성을 가지는 limonene, naringin, hesperidin이 다량 함유되어 있다(Yoo 등, 2004). 정유 성분인 limonene은 향균 작용을 가지고 있으며(Hirota 등, 2010), 플라보노이드인 naringin은 항산화 효과와 항염증 효과, hesperidin은 혈압강하 작용, 혈중 콜레스테롤 수치 개선 작용 등의 기능성을 가진다(Cha와 Cho, 2001).

이와 유사하게 운향과(*Rutaceae*), 감귤 속(*Citrus*)의 식용식물인 감귤 역시 폴리페놀류, 비타민류 등의 기능성 성분을 많이 함유하고 있으며(Lee 등, 2005) 과육보다 과피에서 폴리페놀, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성의 함량이 높다고 알려진 바 있다(Park 등, 2011). 또한 감귤 미숙과는 완숙과에 비해 유기산, 식이섬유, 플라보노이드 함량이 높다고

Received 25 May 2021; Revised 29 July 2021; Accepted 29 July 2021

Corresponding author: Seung-Hee Nam, Department of Food Science & Technology & Institute of Agricultural Science and Technology, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea, namsh1000@jnu.ac.kr

Author information: Ae Eun Im (Researcher), Seung-Hee Nam (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

보고되어 있다(Park 등, 2011; Kim, 2009). 유자 역시 미숙 과가 완숙과에 비해 식이섬유 함량이 높으며, 특히 수용성 식이섬유인 펙틴 함량이 높은 것으로 알려져 있다(Nam 등, 2021). 미숙 유자인 청유자에는 hesperidin과 naringin 함량(1.84 mg/g F.W, 1.48 mg/g F.W)이 황유자(0.76 mg/g F.W, 0.39 mg/g F.W)에 비해 약 2.5~4배 높다고 보고되었다(Moon 등, 2015). 또한 청유자는 콜레스테롤 억제, 항염증, 항균, 항산화 및 지방간 개선 등의 생리활성 효과가 높다고 보고되어 있다(Nam 등, 2021; Zhang 등, 2014).

유자를 식품 소재로 활용한 연구는 과즙 관련으로는 마요네즈(Kim 등, 2014), 된장(Shin 등, 2008), 과편(Nam 등, 2004), 아이스크림(Kim 등, 2004) 등이 있으며, 과피 관련으로는 쿠키(Kim과 Kong, 2006), 침출차(Ji 등, 2008), 소시지(Lee 등, 2004) 등 황유자를 활용한 많은 연구가 있는 반면에 청유자를 활용한 가공품 개발에 대한 연구는 전무한 실정이다. 또한 식품 산업에서 상용되고 있는 가공 기술 중 타블렛(tablet) 제조 기술을 사용한 연구는 김치 타블렛(Park 등, 2001b), 청국장 타블렛(Youn, 2004) 등이 있으며 타블렛 제조 기술을 이용한 유자 또는 청유자 가공품 개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 청유자 껍질의 활용 가능성을 살펴보기 위하여 황유자 껍질과 청유자 껍질의 생리활성 물질과 기능성 비교를 통해 청유자 껍질의 우수성을 조사하였다. 또한 청유자 껍질 분말과 collagen을 혼합해 타블렛을 제조한 후 품질 특성, 항산화 효능 및 tyrosinase 저해능을 조사하여 기능성이 높은 청유자 껍질 분말의 식품에서 기능성 소재로의 가능성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에 사용된 청유자(미숙)와 황유자(완숙)는 다진금품종으로 각각 2019년 9월 25일, 11월 25일에 채취하였으며 전라남도 농업기술원 과수 연구 시험장 완도 시험지로부터 얻었다. 채취한 시료를 과육, 과피를 분리하여 과피를 동결건조(Freeze dryer, Mareuda, Gwangju, Korea) 후 분말화하여 시료로 사용하였다. ABTS(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)는 Bio Basic Co. (Markham, Canada)에서 구입하였고, DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), folin-denis reagent, gallic acid, quercetin, ascorbic acid는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. Narirutin, naringin, hesperidin, neohesperidin, naringenin, hesperetin은 Chroma Dex(Irvine, CA, USA)에서 구입하여 사용하였다. 타블렛 제조에 들어가는 식품 원료들은 ES 식품원료(ES Food, Pochon, Korea)에서 구입하였다.

청유자와 황유자 껍질의 식이섬유 정량, 정성 분석

조단백질, 조회분, 식이섬유는 AOAC(1980)법에 의하여 분석하였다. 시료 분말 1 g에 phosphate buffer(pH 6.0) 50 mL를 넣은 후 α -amylase, protease, amyloglucosidase를 이용하여 전분과 단백질을 제거하여 효소 분해물을 얻었다. 불용성, 수용성 식이섬유 및 총 식이섬유 함량 계산 시 잔사의 무게 중 단백질 및 회분량을 보정해주었다. 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber)는 효소 분해물을 여과하여 잔사(residue)를 70°C의 증류수로 세척하고 그 무게를 확인하여 구하였다. 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber)는 효소 분해물을 여과하여 60°C, 95% EtOH로 침전시킨 후 여과하여 잔류물을 78% EtOH, 95% EtOH, acetone으로 세척한 후 105°C에서 건조하고 무게(residue)를 확인하여 구하였다. 총 식이섬유(total dietary fiber)는 불용성 식이섬유와 수용성 식이섬유의 함량의 합으로 구하였다.

lignin, cellulose, hemicellulose는 Van Soest와 Wine(1967)법과 AOAC(1980)법에 의하여 분석하였다. 시료 분말 0.5 g에 72% H_2SO_4 15 mL와 증류수 190 mL를 첨가한 후, 100°C에서 3시간 환류 추출한 다음 G2 glass filter로 여과하여 뜨거운 증류수 150 mL로 세척하였다. 그 후 잔사를 105°C에서 건조 후 무게를 측정하여 lignin을 구하였고, ADF(acid detergent fiber), NDF(neutral detergent fiber)를 구하여 cellulose, hemicellulose의 함량을 구하였다.

플라보노이드 분석(HPLC)

시료 5 g을 250 mL 둥근 플라스크에 넣고 80% MeOH 100 mL를 첨가하여 3시간 환류 추출한 다음 Whatman filter paper(No. 2, Whatman International, Buckinghamshire, UK)로 여과하여 HPLC(Agilent 1216 infinity LC, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 컬럼은 ZORBAX Eclipse plus C18(Agilent Technologies, 4.6×250 mm)을 사용하였고, 이동상은 MeOH-ACN(50:50, v:v)을 A 용매로, 0.1% formic acid를 B 용매로 하여 gradient를 주었고, 유속은 0.5 mL/min, 시료는 10 μ L를 injection하여 분석하였다. 이동상의 용매 구배는 A: 20%, B: 80%로 시작하여 5분에 A: 40%, B: 60%, 10분에 A: 50%, B: 50%, 15분에 A: 70%, B: 30%, 20분에 A: 100%, B: 0%로 하여 25분까지 분석한 후 280 nm에서 측정하였다. 표준용액으로 narirutin, naringin, hesperidin, neohesperidin, naringenin, hesperetin을 농도별로 제조하여 peak 면적을 구하고 회귀방정식을 이용한 검량선을 작성하여 정량하였다.

총 페놀, 플라보노이드 함량

총 페놀 함량은 Folin과 Denies 법(2012)으로 구하였다. MeOH 추출물 30 μ L에 증류수 32.5 μ L를 첨가한 후 folin-denis reagent 12.5 μ L를 첨가하여 6분간 암소에서 방치하고, 7% sodium carbonate 12.5 μ L와 증류수 250 μ L를

첨가하여 60분간 암소에서 반응 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 검량선은 표준물질로 gallic acid를 사용하였다. 플라보노이드 함량은 MeOH 추출물 20 μ L에 diethylene glycol 200 μ L와 2 N NaOH 20 μ L를 첨가한 후 37°C에서 30분 동안 방치하고 420 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 구하였다. 검량선은 표준물질로 quercetin을 사용하였다.

항산화능 측정

DPPH 라디칼 소거능은 Blois(1958) 방법을 변형하여 측정하였다. 1 mM DPPH를 absolute ethanol 100 mL에 녹인 후, absolute ethanol 용액을 대조구로 하여 517 nm에서 DPPH 용액의 흡광도를 약 1.8이 되도록 희석하여 사용하였다. 표준물질로는 ascorbic acid를 사용하여 0~10 mM로 검량곡선을 구한 후, 96 well plate에 시료 50 μ L, DPPH 용액 250 μ L를 첨가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 Microplate reader(UV-1601, BioTek Instruments Korea Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 3회 반복 측정하였으며 DPPH 라디칼 소거능은 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}}\right) \times 100$$

ABTS 라디칼 소거능 측정은 2.5 mM potassium persulfate 50 mL와 7 mM 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) 950 mL를 혼합한 ABTS⁺ 용액을 냉암소에서 12시간 동안 보관 후 실험에 사용하였다. 그 후 ABTS⁺ 용액은 735 nm에서 흡광도 0.75~1.05 값이 나올 때까지 ethanol에 희석하였다. 표준물질로는 ascorbic acid를 사용하여 0~10 mM로 검량곡선을 구한 후, 시료 50 μ L에 ABTS⁺ 희석액 250 μ L를 가한 후 암소에서 30분간 방치하고 735 nm에서 흡광도를 측정하여 ABTS 라디칼 소거능을 다음 식으로 구하였다.

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}}\right) \times 100$$

Tyrosinase 저해능

0.1 M sodium phosphate buffer(pH 7.0) 100 μ L에 100 unit mushroom tyrosinase(Sigma-Aldrich Co.) 50 μ L와 저해제로 시료 50 μ L를 순서대로 첨가 후 37°C에서 10분간 반응시켰다. 그 후 기질로서 L-DOPA 50 μ L를 첨가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 465 nm에서 20분간의 흡광도 변화를 측정하였으며, 다음 식으로 tyrosinase 저해능을 구하였다.

$$\text{Tyrosinase inhibition activity (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}}\right) \times 100$$

청유자 타블렛 제조

Collagen 첨가량에 따른 청유자 타블렛은 청유자 껍질 분말(green yuzu peel powder) 15%에 collagen 분말 5%, 10%, 15%, 20%씩 각각 다른 비율로 첨가하였고, 청유자 껍질 첨가량에 따른 청유자 타블렛은 collagen 10%에 청유자 껍질 분말의 10%, 15%, 20%씩 각각 다른 비율로 첨가하였다. 타블렛은 garcinia cambogia extract 10%, 나머지 함량은 isomalt, xylitol, vitamin C 및 magnesium stearate를 채워 배합하였다. 타블렛을 타정 전에 배합 소재들의 균일도를 높이기 위해 80% 주정을 사용하여 고속 믹서기(KM1, Keumsung machinery Co., Ltd., Ansan, Korea)로 혼합 후에 20 mesh 크기의 체로 균질화한 다음 50°C에서 3시간 건조하였다. 그 후 20 mesh 크기의 체로 과립화한 후 여기에 magnesium stearate 일정량을 혼합하여 타정기(CPR-6 single punch tablet press machine, Dott Bonapace, Cusano Milanino, Italy)로 타정하여 타블렛을 제조하였다.

청유자 타블렛 품질 특성

청유자 타블렛의 품질은 무게, 두께, 지름, 경도를 조사하였다. 무게는 전자저울(FX-2000, A&D, Seoul, Korea)로 소수 둘째 자리까지 측정하였으며, 두께 및 지름은 디지털 두께 측정기(Carbon Fiber Composites Digital Caliper, Fisher Scientific, Hampton, NH, USA)로 3회 반복하여 평균값과 표준편차로 나타내었다. 경도(hardness)는 textutremeter(XforceP, Zwick/Roell, Ulm, Germany)를 사용하여 측정하였으며, 6 mm 직경 실린더 모양인 probe(SMSP/6)를 사용하여 start position speed 100 mm/min, pre-load speed 2.0 mm/s 측정 조건으로 구하였다. 물리적 특성인 pH, 당도, 색도는 타블렛 시료를 믹서에 곱게 분말 형태로 간 것 1 g을 증류수 10 mL에 용해하여 제조한 시료를 실험에 사용하였다. pH는 pH meter(Ion S220, METTLER TOLEDO, Columbus, OH, USA)로 측정하였으며, 당도는 디지털당도계(Pocket refractometer PAL-1, ATAGO Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하였다. 색도는 시료 1 mL를 표준 백색 L=96.29, a=-0.44, b=1.32로 교정한 색차계(NS 800 Spectrophotometer, 3nh, Shiyang, China)를 이용하여 L(Lightness), a(redness), b(yellowness) 및 ΔE (color difference)를 측정하였다. 산도는 타블렛 시료를 곱게 분말 형태로 간 것 1 g을 증류수 25 mL에 용해한 시료 5 mL에 0.1% 페놀프탈레인 50 μ L를 첨가하고 0.1 N NaOH 첨가 시 적색을 나타내는 시점의 소비된 NaOH 양(mL)을 구연산을 기준으로 환산하여 백분율로 표시하였다.

청유자 타블렛 제형 안정도

제형 안정도를 조사하기 위해 타블렛의 용해도(solubility), 흡습성(hygroscopicity), 붕해도(disintegration), 수분 흡수력(water holding capacity), 지방 흡수력(oil hold-

ing capacity), 팽윤력(swelling power)을 조사하였다. 용해도는 시료 분말 0.5 g에 증류수 10 mL를 첨가하고 교반기를 사용하여 상온에서 100×g로 1시간 교반한 다음, 4,000×g에서 15분간 원심분리한 후 펠렛과 상등액을 분리하였다. 그 후 105°C에서 완전히 건조된 펠렛 무게를 측정하고 시료 무게에서 건조된 펠렛 무게를 뺀 값에 시료 무게로 나누어 % 값으로 환산하여 용해도를 구하였다. 흡수성은 청유자 타블렛의 무게를 잰 후, 데시케이터 안에 증류수 200 mL가 담긴 비커와 함께 타블렛을 넣어 24시간이 지난 후의 타블렛 무게에서 처음 타블렛의 무게를 뺀 값에 처음 청유자 타블렛의 무게로 나누어 % 값으로 환산하였다. 붕해도는 청유자 타블렛 무게를 잰 후, 증류수 10 mL에 첨가 후 37°C에서 90×g로 1시간 동안 교반 후 무게를 측정하여 타블렛 무게에서 교반 후의 무게를 뺀 값에 처음 타블렛 무게로 나누어 % 값으로 환산하여 구하였다. 수분 흡수력을 측정하기 위해 시료 분말 0.5 g에 증류수 10 mL를 첨가하고 25°C에서 24시간 방치한 다음, 4,000×g에서 10분간 원심분리한 후 분리된 상등액을 제거하여 침전된 잔사 무게를 측정하였다. 지방 흡수력을 측정하기 위해 시료 분말 0.5 g에 올리브 오일 5 mL를 가하고 4°C에서 1시간 방치한 후 4,000×g에서 15분간 원심분리한 다음 분리된 상등액을 제거하여 침전된 잔사 무게를 측정하였다. 수분 흡수력과 지방 흡수력은 각각 잔사 무게에서 시료 무게를 뺀 값을 시료 무게로 나누어 계산하였다. 팽윤력은 시료 분말 0.5 g에 증류수 10 mL를 가하고 4°C에서 1시간 방치한 후의 부피를 측정하였고 측정된 부피에 시료 무게를 나누어 계산하였다.

통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 26.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 두 집단 간의 유의성 검정은 독립표본 t-검정(Two independent samples t-test)을 실시하였고, 세 집단 이상의 유의성 검정은 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시한 후 $P < 0.05$ 의 유의수준에서 Duncan 사후 검정하였다.

결과 및 고찰

청유자와 황유자 껍질의 식이섬유 조성 비교

청유자와 황유자 껍질의 식이섬유 조성 비교는 Table 1에 나타내었다. 청유자 껍질에서의 불용성, 수용성, 전체 식이섬유 함량은 각각 41.54, 16.26, 57.80%이며 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 전체적으로 1.2~1.7배 높았다. 식이섬유 구성 성분 중에 hemicellulose, cellulose, lignin은 청유자가 황유자 대비 각각 33, 95, 64% 더 높게 함유되어 있었다. 전체적으로 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 식이섬유 함량이 많았으며 이는 Nam 등(2021)이 보고한 결과와 유사하였다. 식이섬유 중에서도 불용성 식이섬유는 당뇨 위

Table 1. Dietary fibers composition profiles of green or yellow yuzu peel

Compositions	Green yuzu peel	Yellow yuzu peel
Crude protein (%)	8.11±0.06 ^{*1)}	6.70±0.22
Ash (%)	4.58±0.10 [*]	3.13±0.15
Insoluble dietary fiber (%)	41.54±1.61 [*]	24.45±0.19
Soluble dietary fiber (%)	16.26±3.36 ^{NS}	13.64±1.72
Total dietary fiber (%)	57.80±1.75 [*]	38.09±1.53
Hemicellulose (g/100 g D.W)	4.73±0.65 ^{NS}	3.55±0.47
Cellulose (g/100 g D.W)	4.54±1.38 ^{NS}	2.33±0.01
Lignin (g/100 g D.W)	12.93±0.63 [*]	7.89±0.09
Pectin (g/100 g D.W)	13.65±0.15 [*]	11.15±0.06

¹⁾The value represents the mean±SD (n=3).

^{*}Significant at $P < 0.05$.

NS: not significant.

험을 낮추고 인슐린 감수성을 높이며 장내 변 통과시간을 빠르게 하고, 수용성 식이섬유는 식후 포도당 반응을 낮추고 공복감을 감소시킨다고 알려져 있다(Shin, 2019).

청유자와 황유자 껍질의 총 페놀, 플라보노이드 및 기능성 플라보노이드 성분 비교

청유자와 황유자 껍질의 기능성 성분을 C18 역상 HPLC로 분석하였으며 크로마토그램과 함량은 Fig. 1에 나타내었다. 유자 껍질 중에 플라보노이드 성분인 narirutin, naringin, hesperidin, neohesperidin의 함량은 전체적으로 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 약 1.7배 높았다. 특히 narirutin과 hesperidin 함량이 청유자가 황유자 대비 naringin은 67%, hesperidin은 76% 더 높게 함유되어 있었다. 한편 청귤의 착즙 껍질에서는 naringin과 hesperidin의 함량은 각각 22.32, 7.39 mg/g으로 hesperidin의 함량은 청유자 껍질이 청귤 껍질보다 약 4.9배 높았다(Choi 등, 2019). 이러한 감귤류 대부분의 플라보노이드 화합물은 대표적으로 narirutin, naringin, hesperidin 등이 있으며 narirutin은 다이어트 효과, hesperidin은 혈관계 질환 개선 효과, naringin은 항염증 효과 등을 나타낸다고 알려져 있다(Cha와 Cho, 2001).

Table 2. Functional properties of green or yellow yuzu peel

Functional properties	Green yuzu peel	Yellow yuzu peel
Total phenolic content (mg/g D.W)	5.12±0.01 ^{*1)}	4.56±0.10
Total flavonoid content (mg/g D.W)	132.83±3.00 [*]	94.41±0.81
DPPH radical scavenging activity (Vit C eq. µg)	46.30±1.80 [*]	43.08±0.88
ABTS radical scavenging activity (Vit C eq. µg)	132.87±1.32 [*]	122.37±0.66
Tyrosinase inhibition activity (%)	44.06±4.96 [*]	26.97±2.12

¹⁾The value represents the mean±SD (n=3).

^{*}Significant at $P < 0.05$.

Fig. 1. HPLC chromatogram profile (A) and flavonoid contents (B) of green or yellow yuzu peel. The value represents the mean $\pm$ SD (n=3). *Significant at $P<0.05$.

청유자와 황유자 껍질의 총 페놀과 플라보노이드 함량은 Table 2에 나타내었다. 청유자 껍질과 황유자 껍질에서의 총 페놀 함량은 각각 5.12, 4.56 mg/g으로 유사하였으며, 플라보노이드 함량은 각각 132.83, 94.41 mg/g으로 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 40% 더 높았다. 전체적으로 총 페놀과 플라보노이드 함량은 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 높았으며 이는 Moon 등(2015)의 보고와 유사한 경향을 보였는데, 감귤에서도 성숙할수록 플라보노이드와 총 페놀 함량이 감소하는 경향을 보였다(Kang 등, 2005). 최근에는 비타민과 카로티노이드, 식물로부터 유래한 페놀 및 플라보노이드 등이 항산화 작용의 주요 역할을 하는 성분임이 밝혀졌으며, 시트러스 과실 계열의 주요 페놀 성분인 플라보노이

드는 유의한 건강증진 효과를 나타낸다고 알려져 있다(Carrasco-pancorbo 등, 2005; Yoo와 Moon, 2016). 이를 통해 청유자 껍질이 황유자보다 기능성을 가지는 소재로 더 적합하다고 판단하였다.

청유자와 황유자 껍질의 항산화능 및 tyrosinase 저해능

청유자와 황유자 껍질의 항산화능 및 tyrosinase 저해능은 Table 2에 나타내었다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 각각 청유자 껍질에서 46.30, 132.87 Vit C eq. μ g이며, 황유자 껍질에서 43.08, 122.37 Vit C eq. μ g으로 항산화능은 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 높았다. 청유자 껍질이 황유자 껍질에 비해 항산화능을 가지는 플라보노이드 함량

이 많음에 따라 항산화능도 높은 것으로 보아 이는 항산화 물질의 함량과 항산화능이 비례한다는 결과와 유사한 경향을 보인다(Han 등, 2008).

청유자와 황유자 껍질의 tyrosinase 저해능은 각각 44.06, 26.97%로 청유자 껍질이 황유자 껍질에 비해 약 63.8% 높았다. 이는 tyrosinase 저해능이 페놀 성분의 함량과 상관성이 있다는 결과를 미루어볼 때, 황유자 껍질보다 청유자 껍질이 기능성 성분 함량과 항산화능이 높음을 알 수 있다(Willcox 등, 2004; Valko 등, 2006). 또한 tyrosinase 저해능은 피부암과 미백 능력 때문에 화장품 산업에서 중요하며 식품의 갈변화를 억제하기 위한 방안으로 식품 가공의 측면에서도 중요하므로 청유자 껍질을 기능성 타블렛에 활용할 수 있다고 판단하였다(Kwon 등, 2008; Carcelli 등, 2020; Xu 등, 2017).

청유자 타블렛의 제조 및 품질 특성

주름 예방에 효과가 있다고 알려진 collagen을 청유자 껍질 분말과 혼합하여, 주름 예방과 tyrosinase 저해능 효과를 가지는 타블렛을 제조하고자 하였다. 우선 collagen 첨가 시 타블렛 제형 안정성과 기호도에 부정적인 영향이 있어 최적 조건을 찾고자 하였다. Collagen과 부재료의 배합비를 달리하여 제조한 타블렛의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었다. Collagen 함량별로 제조한 타블렛의 직경, 두께, 무게는 collagen 함량에 따라서는 거의 차이가 없었다. pH와 산도 및 당도 역시 collagen 함량에 따라서 거의 차이가 나지 않았지만, collagen 함량이 많을수록 증가하는 경향을 보였고 경도는 collagen 함량이 10%일 때 25,300 g로 collagen 함량이 20%일 때의 경도 값인 12,233 g보다 약 13,000 g 더 높았다. 이는 collagen을 10% 첨가했을 때와 상업용 제품 CP(콜라 C, 고려은단 헬스케어, Seoul, Korea)의 경도 값인 22,100 g와 유사했으며, 이를 통해 타블렛 제조 시 가장 적합한 collagen 함량은 10%임을 알 수 있었다.

위의 결과를 통해 collagen 함량을 10% 기준으로 청유자 껍질 분말 함량에 따른 품질 특성을 알아보려고 청유자 껍질 분말 배합비를 달리하여 제조하였고, 제조한 타블렛의 물리

적 및 화학적 특성은 Table 4에 나타내었다. 청유자 껍질 함량에 따라서 pH는 상업용 제품에 비해서 전체적으로 높았으며 청유자 껍질 함량이 많을수록 높아지는 경향을 보였다. 산도 역시 청유자 껍질 함량이 많을수록 높아지는 경향을 보였으며 이와 반대로 당도는 감소하는 경향을 보였다. 경도는 청유자 껍질이 15%일 때 25,300 g로 제일 높았으며 20%일 때 6,450 g로 제일 낮았다. 타블렛 색도에서 밝기 L값과 황색도 b값은 청유자 껍질 함량이 많을수록 증가하는 경향을 보였고, 적색도 a값은 음의 값이 클수록 녹색에 가깝다고 볼 수 있는데 청유자 껍질 함량이 많을수록 녹색을 나타내는 -a값이 컸다. 이는 청유자 껍질 함량이 타블렛에서 많을수록 녹색이 증가하는 결과를 나타내었다.

청유자 타블렛의 제형 안정도

청유자 타블렛의 제형 안정도는 Table 4에 나타내었다. 용해도는 청유자 껍질 함량이 10, 15, 20%일 때 각각 95, 92, 83%로 청유자 껍질 함량이 많을수록 감소하는 경향을 보였다.

흡습성(Hygroscopicity)은 물질이 공기 중의 습기를 빨아들이는 성질로 타블렛의 저장 안정성을 알아보기 위해 실험하였다. 청유자 껍질 함량별로 흡습성은 각각 2.14, 3.68, 7.38%로 청유자 껍질 함량이 많을수록 증가하는 경향을 보였으며 15%일 때 상업용 제품의 흡습성과 유사했다. 이는 한라봉 감귤 과립의 흡습성 결과에서 한라봉 감귤주스의 첨가량이 많을수록 증가하는 경향과 같은 경향을 보인다(Lee 등, 2014). 붕해도(Disintegration)는 인체에서 잘 용해되는지 알아보기 위한 척도로 청유자 껍질 함량별로 각각 94.4, 97.4, 93.4%로 유사했지만 15%일 때 가장 높았다. 이는 타블렛의 붕해성은 주로 타정 시의 압력의 영향을 받는데 타블렛 제조 시 같은 압력으로 제조했기 때문이라고 생각된다(Park, 2001b). 수분 흡수력(Water holding capacity) 및 팽윤력(Swelling power)은 청유자 껍질 함량별로 각각 0.75, 1.08, 1.46 g/g 및 1.30, 1.80, 2.50 mL/g으로 청유자 껍질 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 상업용 제품의 수분 흡수력은 0.06 g/g으로 청유자 타블렛이 상업

Table 3. Physical properties for the tablets with various collagen contents

Physical properties	Collagen content				
	CP ¹⁾	S1 (5%)	S2 (10%)	S3 (15%)	S4 (20%)
Diameter (mm)	21.0±0.00 ^{a2)}	15.7±0.06 ^c	15.7±0.06 ^c	15.6±0.06 ^c	15.8±0.06 ^b
Thickness (mm)	5.17±0.06 ^b	6.47±0.06 ^a	6.37±0.06 ^a	6.40±0.00 ^a	6.43±0.06 ^a
Weight (g)	1.99±0.03 ^a	1.09±0.00 ^b	1.10±0.03 ^b	1.09±0.01 ^b	1.06±0.03 ^b
Hardness (g)	22,100±6,003 ^a	18,033±1,159 ^b	25,300±1,609 ^a	12,667±1,002 ^c	12,233±1,436 ^c
pH	3.13±0.01 ^c	4.14±0.01 ^b	4.20±0.01 ^a	4.21±0.03 ^a	4.22±0.02 ^a
Acidity (%)	4.80±0.03 ^a	3.98±0.27 ^c	4.40±0.11 ^b	4.64±0.26 ^{ab}	4.59±0.05 ^{ab}
Soluble solids (°Brix)	8.97±0.12 ^a	8.70±0.10 ^b	8.70±0.00 ^b	8.93±0.06 ^a	8.93±0.06 ^a

¹⁾CP: commercial product manufactured by lemon juice powder, S1: 5% collagen, S2: 10% collagen, S3: 15% collagen, S4: 20% collagen. S1, S2, S3, and S4 containing 15% green yuzu peel + 10% garcinia cambogia extract + 40% xylitol, vitamin C and magnesium stearate. The rest composition was isomalt.

²⁾The value represents the mean±SD (n=3). Means with different letters (a-c) within the same column are significantly different from each other at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 4. Physiochemical properties and product stability of green yuzu peel tablets

Physiochemical properties	Green yuzu peel contents with 10% collagen			
	CP ¹⁾	A (10%)	B (15%)	C (20%)
pH	3.13±0.01 ^{d4)}	4.16±0.01 ^c	4.20±0.01 ^b	4.22±0.01 ^a
Acidity (%)	4.80±0.03 ^b	4.05±0.21 ^d	4.40±0.11 ^c	5.25±0.26 ^a
Soluble solid (°Brix)	8.97±0.12 ^b	9.10±0.00 ^a	8.70±0.00 ^c	8.60±0.00 ^c
Hardness (g)	22,100±6,003 ^a	17,133±851 ^b	25,300±1,609 ^a	6,450±372 ^c
Hunter color values	L	15.5±0.67 ^c	27.6±1.01 ^b	28.6±0.39 ^b
	a	-0.19±0.18 ^a	-2.17±0.18 ^b	-2.60±0.03 ^c
	b	-0.26±0.65 ^c	0.51±0.54 ^c	2.87±0.64 ^b
	ΔE	80.9±0.68 ^a	68.7±1.01 ^b	67.7±0.39 ^b
Solubility (%)	100.0±1.00 ^a	95.0±1.00 ^b	92.0±4.00 ^b	83.0±3.00 ^c
Hygroscopicity ²⁾ (%)	3.92±1.52 ^b	2.14±1.43 ^b	3.68±1.90 ^b	7.38±1.69 ^a
Disintegration ³⁾ (%)	100±0.00 ^{NS}	94.4±3.51	97.4±2.64	93.4±6.56
Water holding capacity (g/g)	0.06±0.00 ^d	0.75±0.01 ^c	1.08±0.02 ^b	1.46±0.00 ^a
Oil holding capacity (g/g)	1.72±0.01 ^c	2.26±0.02 ^b	2.24±0.01 ^b	2.32±0.01 ^a
Swelling power (mL/g)	0.00±0.00 ^d	1.30±0.10 ^c	1.80±0.20 ^b	2.50±0.10 ^a

¹⁾CP: commercial product manufactured by lemon juice powder, A: 10% green yuzu peel, B: 15% green yuzu peel, C: 20% green yuzu peel. A, B, and C containing 10% collagen + 10% garcinia cambogia extract + 40% xylitol, vitamin C and magnesium stearate. The rest composition was isomalt.

²⁾Hygroscopicity: the property that substances absorb moisture in the air.

³⁾Disintegration: the process of breaking down solid preparations into small particles in gastric or intestinal fluid.

⁴⁾The value represents the mean±SD (n=3). Means with different letters (a-d) within the same column are significantly different from each other at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

NS: not significant.

용 제품 보다 약 12.5~24.3배 높았으며, 상업용 제품의 팽윤력은 0.00 mL/g이었다. 지방 흡수력은식이섬유가 체내에서 콜레스테롤 등 지질 성분의 노폐물과 흡착, 체외 배출을 용이하게 하는 것으로 청유자 껍질 함량별로 각각 2.26, 2.24, 2.32 g/g이었다. 전체적으로 청유자 껍질 분말이 함유된 타블렛이 상업용 제품 대비 지방 흡수력이 31% 더 높았다.

청유자 타블렛의 기능성 성분 함량, 항산화능 및 tyrosinase 저해능

청유자 타블렛의 기능성 성분 함량, 항산화능 및 tyrosinase 저해능 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 청유자 껍질이 10%일 때 타블렛의 narirutin, naringin, hesperidin, neo-hesperidin 함량은 각각 2.47, 0.77, 1.53, 0.70 mg/g, 15%일 때는 4.28, 1.35, 3.13, 1.44 mg/g이며 20%일 때는 6.14, 1.94, 4.76, 2.20 mg/g으로 청유자 껍질 함량이 많을수록 기능성 플라보노이드 함량이 증가하였다.

청유자 껍질 타블렛의 DPPH 라디칼 소거능은 청유자 껍질 10, 15, 20%일 때 각각 53.05, 64.12, 65.76%로 상업용 제품인 솔라 C의 DPPH 라디칼 소거능 값인 25.15%에 비해 2배 높았다. Tyrosinase 저해능은 청유자 껍질 함량별로 각각 52.2, 63.2, 64.7%로 상업용 제품의 tyrosinase 저해능 값인 27.1%에 비해 2~2.5배 높았다. 또한 청유자 껍질 함량이 많을수록 DPPH 라디칼 소거능 및 tyrosinase 저해능은 증가하였으며, 이는 앞서 청유자 껍질과 황유자 껍질에서의 플라보노이드 함량이 많을수록 항산화능과 tyrosinase 저해능이 높다는 결과와 경향이 일치한다. 이는 카카

오빈 허스크 분말을 첨가한 쿠키 연구에서도 시료 첨가량에 따라 쿠키의 항산화 활성이 유의적으로 증가했다는 결과와 유사한 경향을 보인다(Kim 등, 2021). 그러나 청유자 껍질 함량이 15%일 때와 20%일 때의 DPPH 라디칼 소거능 및 tyrosinase 저해능은 통계적인 유의차가 없는 것으로 보아 종합적인 결과를 고려했을 때, 타블렛 제조 시 청유자 껍질 함량은 15%일 때 가장 적합하다고 생각된다.

요 약

본 연구에서는 청유자 껍질의 기능성 식품 소재로서의 가능성을 알아보기 위해 식이섬유 조성과 기능성 성분, 플라보노이드, 항산화능, tyrosinase 저해능을 조사하였다. 또한 청유자 껍질 분말과 collagen을 혼합해 타블렛을 제조한 후 품질 특성, 항산화능 및 tyrosinase 저해능을 조사하였다. 전체적으로 청유자 껍질이 황유자 껍질보다 식이섬유 함량이 많았으며 불용성, 수용성, 전체 식이섬유 함량은 청유자 껍질이 황유자 껍질 대비 각각 69, 19, 52% 높았다. 청유자 껍질 분말에 함유된 narirutin, naringin, hesperidin, neo-hesperidin의 함량을 조사한 결과 청유자가 황유자 껍질보다 약 1.7배 높았으며, 그중에서도 naringin은 63%, hesperidin은 76% 많았다. 청유자 껍질의 플라보노이드 함량은 132.83 mg/100 g으로 황유자 대비 41% 높았고, 항산화능은 약간 높았으며 tyrosinase 저해능은 2배 더 높았다. 이를 토대로 항산화능과 tyrosinase 저해능을 보이는 청유자 껍질 분말과 주름 예방에도 좋은 collagen을 혼합하여 기능성 타블렛을 제조하였다. 제형 안정성에 영향을 주는

Fig. 2. Functional characterizations flavonoid contents by HPLC (A), DPPH radical scavenging activity (B) and tyrosinase inhibition activity (C) of green yuzu peel tablets. ¹⁾CP: commercial product manufactured by lemon juice powder, A: 10% green yuzu peel, B: 15% green yuzu peel, C: 20% green yuzu peel. A, B, and C containing 10% collagen+10% garcinia cambogia+40% xylitol, vitamin C and magnesium stearate. The rest composition was isomalt. ²⁾The value represents the mean±SD (n=3). Means with different letters (a-f) within the same column are significantly different from each other at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

collagen 함량을 5~20%까지 첨가 후 품질 특성은 pH, 산도, 당도, 경도, 색도를, 제형 안정성으로는 용해도, 흡습성, 봉해도, 수분 흡수력, 유지 흡수력, 팽윤력을 조사하였다. Collagen 함량별로 제조한 타블렛의 직경, 두께, 무게는 거의 차이가 없었으며 pH, 산도 및 당도는 collagen 함량이 많을수록 증가하는 경향을 보였다. Collagen 함량이 10% 일 때만 경도가 25,300 g로 상업용 제품의 경도 값인 22,100 g와 유사하여 collagen은 10%로 선발하였다. Col-

lagen 10%와 청유자 껍질 분말 10~20% 첨가하여 타블렛을 제조한 후 품질 특성 및 제형 안정성을 조사한 결과, 청유자 껍질 분말 15% 함유한 타블렛이 상업용과 가장 유사한 당도, 산도, 경도를 나타냈다. 또한 타블렛 제형 안정성의 중요 지표인 용해도, 흡습성과 봉해도도 상업용과 가장 유사하였다. 청유자 타블렛의 수분 흡수력은 0.75~1.46 g/g으로 상업용 제품보다 약 12~24배 높았으며, 팽윤력은 청유자 껍질 첨가량에 따라 증가하는 경향을 보였다. 지방 흡수

력은 청유자 껍질 분말이 함유된 타블렛이 상업용 제품보다 31% 더 높았다. 청유자 타블렛의 유용 성분 조사 결과, 청유자 껍질 분말 함량이 높을수록 유용성분 함량이 높았고 15% 첨가된 타블렛이 상업용 제품보다 2~2.5배 높았다. 또한 황유자 대비 청유자의 DPPH 소거능은 64%, tyrosinase 저해능은 63% 높아 품질 특성, 제형 안정성, 그리고 항산화 및 tyrosinase 저해능까지 우수한 청유자 타블렛으로 나타났다. 전반적으로 황유자보다 기능적으로 좋은 청유자 껍질 분말을 첨가한 타블렛을 제조할 시 타블렛에 collagen 10%, 청유자 껍질 추출물 15% 첨가하는 것이 바람직할 것으로 생각되며, 본 연구 결과로부터 청유자 껍질이 기능성 식품 소재로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업인 수출 전용 유자청 제품개발과 포장용기 저온 살균 기술 개발(과제번호: PJ01576620)과 지역특화기술개발연구사업, 유자산업 활성화 및 수출 경쟁력 강화기술개발(과제번호: PJ016161)에서 지원받아 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

- AOAC. Official methods of analysis. 13th ed. Association of official analytical chemists. Washington, DC, USA. 1980. p 342.
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*. 1958. 181:1199-1200.
- Carcelli M, Rogolino D, Bartoli J, Pala N, Compari C, Ronda N, et al. Hydroxyphenyl thiosemicarbazones as inhibitors of mushroom tyrosinase and antibrowning agents. *Food Chem*. 2020. 303:125310. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125310>
- Carrasco-Pancorbo A, Cerretani L, Bendini A, Segura-Carretero A, Del Carlo M, Gallina-Toschi T, et al. Evaluation of the antioxidant capacity of individual phenolic compounds in virgin olive oil. *J Agric Food Chem*. 2005. 53:8918-8925.
- Cha JY, Cho YS. Biofunctional activities of citrus flavonoids. *Appl Biol Chem*. 2001. 44:122-128.
- Choi MH, Kim KH, Yook HS. Analysis of active components of premature mandarin. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2019. 48:557-566.
- Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem*. 1912. 12:239-243.
- Han J, Sung J, Kim DJ, Jeong HS, Lee J. Inhibitory effect of methanol extract and its fractions from grape seeds on mushroom tyrosinase. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2008. 37:1679-1683.
- Hirota R, Roger NN, Nakamura H, Song HS, Sawamura M, Suganuma N. Anti-inflammatory effects of limonene from yuzu (*Citrus junos* Tanaka) essential oil on eosinophils. *J Food Sci*. 2010. 75:87-92.
- Ji EJ, Yoo KM, Park JB, Hwang IK. Preparation of citron peel tea containing yuzu (*Citrus junos* Sieb ex TANAKA) and its antioxidant characteristics. *Korean J Food Cook Sci*. 2008. 24:460-465.
- Kang YJ, Yang MH, Ko WJ, Park SR, Lee BG. Studies on the major components and antioxidative properties of whole fruit powder and juice prepared from premature mandarin orange. *Korean J Food Sci Technol*. 2005. 37:783-788.
- Kim HY, Kong HJ. Preparation and quality characteristics of sugar cookies using citron powder. *Korean J Food Cook Sci*. 2006. 22:712-719.
- Kim KM, Lee JE, Kim JS, Choi SY, Jang YE. Quality characteristics of mayonnaise with varied amounts of yuzu juice added during the storage period. *Korean J Food Preserv*. 2014. 21:799-807.
- Kim NM, Choi JH, Choi HY. Antioxidant activity and quality characteristics of cookies prepared with cacao bean husk (*Theobroma cacao* Linn) Powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2021. 50:45-53.
- Kim SH, Choi DJ, Shin JH, Lee JY, Sung NJ. Nutritional characteristics of ice cream added with citron (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) juice. *Korean J Food Nutr*. 2004. 17:212-219.
- Kim YD, Mahinda S, Koh KS, Jeon YJ, Kim SH. Reactive oxygen species scavenging activity of Jeju native citrus peel during maturation. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2009. 38:462-469.
- Kwon MC, Qadir SA, Kim HS, Ahn JH, Cho NH, Lee HY. UV protection and whitening effects of collagen isolated from outer layer of the squid *Todarodes pacificus*. *J Kor Fish Soc*. 2008. 41:7-12.
- Lee JR, Jung JD, Hah YJ, Lee JD, Jin SK, Lee CY, et al. Effects of addition of citron peel powder on the quality characteristics of emulsion-type sausages. *J Anim Sci Technol*. 2004. 46:849-858.
- Lee SH, Park HJ, Back OH, Chun HK, Rhie SG, Lee GS. Comparison of the nutritional composition of 3 kinds of citrus produced on Jeju island, Korea. *Korean J Community Living Science*. 2005. 16:15-20.
- Lee CW, Kim MB, Oh YJ, Lim SB. Physicochemical properties of *Citrus* Hallabong granules. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2014. 43:537-543.
- Moon SH, Assefa AD, Ko EY, Park SW. Comparison of flavonoid contents and antioxidant activity of yuzu (*Citrus junos* Sieb. ex Tanaka) based on harvest time. *Kor J Hort Sci Technol*. 2015. 33:283-291.
- Nam HW, Hyun YH, Pyun JW. A study on the optimum ratio of starch and dilution factors of yuza extract in preparation of yuza pyun. *J East Asian Soc Diet Life*. 2004. 14:591-597.
- Nam SH, Cho HS, Jeong H, Lee BB, Cho YS, Rameeza F, et al. Physicochemical properties, dietary fibers, and functional characterization of three yuzu cultivars at five harvesting times. *Food Sci Biotechnol*. 2021. 30:117-127.
- Park GH, Lee SH, Kim HY, Jeong HS, Kim E, Yun YW, et al. Comparison in antioxidant effects of four citrus fruits. *J Fd Hyg Safety*. 2011. 26:355-360.
- Park SM, Lee HH, Chang HC, Kim IC. Extraction and physicochemical properties of the pectin in citron peel. *J Korean Soc Food Sci Nutr*. 2001a. 30:569-573.
- Park SR, Choi YO, Youn KS, Kim SD. Preparation and characteristics of kimchi tablet. *Korean J Postharvest Sci Technol*. 2001b. 8:302-307.
- Shin DH. General concept of dietary fiber and its functionality. *Food Science and Industry*. 2019. 52:84-99.
- Shin JH, Choi DJ, Kwon OC. Quality characteristics of *doenjang* prepared with yuza Juice. *Korean J Food Cook Sci*. 2008. 24:198-205.
- Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem Biol Interact*. 2006. 160:1-40.
- Van Soest PJ, Wine RH. Use of detergents in the analysis of

- fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituent. J Assoc Off Anal Chem. 1967. 50:50-55.
- Willcox JK, Ash SL, Catignani GL. Antioxidants and prevention of chronic disease. Crit Rev Food Sci Nutr. 2004. 44:275-295.
- Xu J, Liu J, Zhu X, Yu Y, Cao S. Novel inhibitors of tyrosinase produced by the 4-substitution of TCT. Food Chem. 2017. 221:1530-1538.
- Yoo KM, Lee KW, Park JB, Lee HJ, Hwang IK. Variation in major antioxidants and total antioxidant activity of yuzu (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) during maturation and between cultivars. J Agric Food Chem. 2004. 52:5907-5913.
- Yoo KM, Moon BK. Comparative carotenoid compositions during maturation and their antioxidative capacities of three citrus varieties. Food Chem. 2016. 196:544-549.
- Youn KS. Preparation and quality characteristics of tablet using cheonggukjang powder. J East Asian Soc Diet Life. 2004. 14:495-500.
- Zang L, Shimada Y, Kawajiri J, Tanaka T, Nishimura N. Effects of yuzu (*Citrus junos* Siebold ex Tanaka) peel on the diet-induced obesity in a zebrafish model. J Funct Foods. 2014. 10:449-510.