



차나무 부위별 추출물의 이화학적 특성

임상휘¹ · 김주성^{2†}

Physicochemical Properties of Extracts from Different Parts of *Camellia sinensis*

Sang Hwi Im¹ and Ju Sung Kim^{2†}

ABSTRACT

Received: 2022 May 9

1st Revised: 2022 May 25

2nd Revised: 2022 June 13

3rd Revised: 2022 June 15

Accepted: 2022 June 15

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.



Background: There are various physiologically active substances in *Camellia sinensis* leaves, and much research has been conducted on it, however, the properties of other parts such as branch, flower, seed, and root are still unknown. Therefore, in this study, we checked the physicochemical properties of each part of *C. sinensis*.

Methods and Results: In this study, we prepared a 70% ethyl alcohol extract of each part of *C. sinensis* and determined their yield, total polyphenol and total flavonoid contents, antioxidant activity, components [using high performance liquid chromatography (HPLC)], and α -glucosidase inhibitory activity. The yield was highest in the flower extract, and the total polyphenol content and antioxidant activity tended to be high in the order of leaf, root, branch, flower, and seed. Analysis of the catechin compounds using HPLC, confirmed that epigallocatechin (EGC) and epigallocatechin gallate (EGCG) were mostly present in the leaf, but epicatechin (EC), gallic acid (GA), and gallic acid gallate (GAG) were present in varying concentrations in each part. The inhibitory activity of α -glucosidase was higher than that of acarbose, a hypoglycemic agent, in all parts except the seed, which showed no activity. Furthermore, significantly higher α -glucosidase inhibitory activity was confirmed in the root.

Conclusions: Apart from the leaves, which have been widely used and studied in the industry, the *C. sinensis* root and branches showed high activity. In particular, the α -glucosidase inhibitory activity was very high, confirming the possibility of using the roots and branches discarded by the tea leaf industry as an antidiabetic material.

Key Words: *Camellia sinensis*, Antioxidant, Flavonoid, α -Glucosidase, High Performance Liquid Chromatography, Polyphenol

서 언

차나무 (*Camellia sinensis*)는 아열대 상록 관목의 다년생 식물로 우리나라를 포함하여 열대지방, 아열대 지방 등 다양한 지역에서 재배하고 있다. 국내에서는 전라도, 경상도를 비롯한 남부지역에서 재배하고 있으며 보성, 하동 지역과 제주도도 차 생산지로 유명하다. 차나무 잎은 녹차로 가공하여 섭취하고 있으며 오랫동안 가장 많이 소비되는 음료 중 하나로 자리매김해 왔다 (Kim *et al.*, 2014b).

녹차는 인도와 중국 등의 지역에서 약용 목적으로 사용되어 왔으며 최근에는 항산화, 항균, 항암, 고혈압 예방 등 다양한 효능들이 과학적으로 규명되었다 (Kim *et al.*, 2016). 녹차가 가진 건강증진 효능과 각종 질병 예방 효과가 보고된 이후 소비자들의 건강에 관한 관심이 더욱 증가하여 녹차뿐만 아니라 녹차 가공품의 소비량도 증가하고 있으며, 현재에 이르러서는 전 세계적으로 연간 250만 톤 이상의 차잎이 생산, 가공 및 소비되고 있다 (Chacko *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2018).

녹차에는 플라보놀, 플라보노이드 및 페놀산 등 많은 생리

[†]Corresponding author: (Phone) +82-64-754-3314 (E-mail) aha2011@jejunu.ac.kr

¹제주대학교 농학과 석사과정생 / Master's degree student, Department of Agriculture Graduate School, Jeju National University, Jeju 63243, Korea.

²제주대학교 식물자원환경전공 교수 / Professor, Major in Plant Resource and Environment College of Agriculture and Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea.

활성 물질이 들어 있으며 특히 폴리페놀류에 속하는 catechin 이 상당량 함유되어 있다. 녹차에 들어있는 catechin의 종류로는 epicatechin (EC), epicatechin gallate (ECG), epigallocatechin (EGC), epigallocatechin gallate (EGCG), gallo catechin (GC) 및 gallo catechin gallate (GCG) 등이 있다 (Park *et al.*, 2002).

차나무 잎에서 유래한 catechin은 체지방 분해, 암세포 성장 억제, 자외선에 의한 피부 손상 억제 등의 효과가 있으며 catechin 중 항암성분으로 알려진 EGCG는 녹차 한 잔에 150 mg - 200 mg 정도가 함유되어 있다고 알려졌다 (Lee *et al.*, 2001; Lin *et al.*, 2005; Yoon *et al.*, 2005).

현재까지의 차나무에 관한 연구는 잎에 관한 연구가 주를 이루고 있으나 차나무의 잎 외에도 가지, 꽃, 뿌리, 씨 등 다른 부위에서 각종 생리활성 물질과 효능이 있는 것으로 확인되고 있다.

차나무 가지에는 칼슘과 칼륨 등의 미네랄 성분과 glucose (43%), xylose (16%), mannose (10%)와 galactose (6%) 등이 함유되어 있으며 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성이 있고 caffeine, (-)-epicatechin 및 (-)-epicatechin gallate와 같은 생리활성 성분이 확인되었다는 보고가 있다 (Lee *et al.*, 2019; Sanz *et al.*, 2020).

차나무 꽃에는 항산화, 항균, 항염, 항암 활성 및 상당한 양의 catechin (EGCG, EGC, EC, ECG 등)과 caffeine이 함유되어 있는 것으로 보고되었다 (Lin *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2018).

Na 등 (2018)의 연구에 의하면 차나무 뿌리 추출물에는 피부에 대해 다양한 효능을 나타낸다고 알려진 γ -aminobutyric acid (GABA)가 상당량 존재하며, 총 순수 사포닌이 54%로 인삼 추출물보다 더 많은 사포닌을 함유하고 있고 대기오염 물질에 의해 유발되는 피부질환에 대해 보호효과가 있다고 하였다.

차나무 씨에는 각종 피부염이나 여드름 등에 효과가 있는 vitamin A, B2, B6, C, E, biotin, niacin 등이 함유되어 있으며 민간에서는 주로 녹차씨 오일로 가공되어 식용 및 화장품 원료로 사용되고 있다 (Cha *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2016).

녹차씨 오일은 포화지방산이 25%, 불포화지방산이 75% 함유되어 있고 지방산의 종류로는 oleic acid 47.5%, palmitic acid 31.78%, linoleic acid 17.61%, stearic acid 1.31%, linolenic acid 1.16% 및 gadoleic acid 0.64%로 구성되어 있으며, 불포화지방산이 다량 함유된 것을 확인할 수 있다 (Yahaya *et al.*, 2011; Serin *et al.*, 2013).

본 실험에서는 주로 활용되는 차나무 잎을 포함하여 가지, 꽃, 씨, 뿌리 등 5 가지 부위에 대한 생리활성 검증을 통해 산업계에서 활용될 수 있는 기초 데이터를 제공하고자 실행하

였으며 각 기능성 물질의 추출을 최대화할 수 있고, 산업적으로 이용가능한 70% 에탄올을 사용하여 추출한 뒤 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, catechin류 화합물 함량 분석 및 항산화 활성과 항효소 실험을 통해 생리활성을 검증하였다 (Jo *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017; Na *et al.*, 2018).

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용한 샘플은 제주다원에서 직접 채취하여 실험에 사용하였다.

차나무 (*Camellia sinensis*) 잎, 가지, 꽃, 씨, 뿌리를 채취하기 위해 제주다원을 각기 다른 일자에 방문하였고, 각각 다른 장소에서 3 회 반복하여 무작위로 채취한 뒤 열풍건조기 (PFC-P0-91, Nihon-freezer, Namyangju, Korea)를 이용하여 60°C에서 48 시간 동안 건조하였다. 건조된 시료는 분쇄기를 이용하여 분말화를 하였고 실험 시료로써 사용하였다.

2. 추출물 제조

차나무 부위별 시료를 각각 15 g씩 취하고 무게 대비 20 배의 70% 에탄올을 가한 후 초음파세척기 (Powersonic 520, Hwashin Tech Co., Ltd., Seoul, Korea)을 이용하여 1 시간 동안 추출하였고 이를 3 회 반복하였다. 이후 filter paper를 이용하여 여과한 뒤 회전식감압농축기 (Hei-VAP Precision, Heidolph, Schwabach, Germany)로 농축하였고 동결건조 후에는 실험 샘플로 사용하였으며 모든 과정은 3 회 반복하여 실시하였다.

3. 총 폴리페놀 함량 측정

페놀은 벤젠에 하이드록시기(-OH)가 붙어 있는 것이며 한 분자 내에 2 개 이상의 하이드록시기가 붙어 있는 방향족 화합물을 폴리페놀이 라고 한다 (Ko *et al.*, 2017). 총 폴리페놀 함량의 측정은 Ko 등 (2018)의 방법을 활용하여 측정하였다.

각 추출물 20 μ l 에 증류수 700 μ l 와 Folin ciocalteu 시약 100 μ l 를 혼합한 후 2 시간 동안 반응하였다. 반응 후에는 20% sodium carbonate를 100 μ l 씩 가하여 1 시간 동안 정 치하고 microplate reader (i-Mark 168-1135, Bio-Rad Inc., Hercules, CA, USA)를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정 하였다. 총 폴리페놀 함량은 gallic acid를 표준물질로 표준 검량곡선을 작성하여 gallic acid equivalent (GAE)로 나타 내었다.

4. 총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Ko 등 (2018)의 방법을 사용하여

분석하였다. 각 추출물 100 μl 에 에탄올 300 μl , 10% aluminum nitrate 20 μl , 1 M potassium acetate 20 μl 를 혼합하였으며 이후 혼합액에 증류수 560 μl 를 가하여 1 시간 동안 반응시킨 후 microplate reader (i-Mark 168-1135, Bio-Rad Inc., Hercules, CA, USA)를 사용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 quercetin을 표준물질로 표준검량곡선을 작성하여 quercetin equivalent (QE)로 나타내었다.

5. 차나무 부위별 추출물의 성분 분석

차나무 부위별 추출물의 catechin류 화합물은 HPLC (e2695, Waters Co., Milford, MA, USA)를 사용하여 분석하였다. Column은 Sunfire C18 (5 μm , 4.6 mm \times 250 mm, Waters Co., Milford, MA, USA)을 사용하였고 이동상은 A와 B 두 가지 종류의 용액을 사용하였다.

이동상 A는 0.1% trifluoroacetic acid in distilled water, 이동상 B는 0.1% trifluoroacetic acid in acetonitrile을 사용하였다. 용매 조건은 0 분에서 20 분까지 이동상 A를 90%로 용리하였고 20 분에서 25 분까지 이동상 A를 70%가 되도록 한 뒤, 25 분에서 35 분까지 이동상 A를 30%가 되도록 하고 35 분에서 38 분까지 이동상 A를 5%로 유지하였으며 이후 45 분까지 이동상 A를 90%로 한 후 분석을 완료하였다.

샘플의 성분 분리를 위한 이동상의 유속 조건은 1 ml/min, column 온도는 40°C로 고정하였고 시료의 주입량은 20 μl , 검출 파장은 280 nm 조건으로 분석을 수행하였다. 각 standard는 methanol에 녹여 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 및 200 $\mu\text{g/ml}$ 로 만들어 검량선을 작성하였다.

6. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical 소거 활성 측정

DPPH는 짙은 보라색을 띠고 517 nm 부근에서 강한 흡수를 나타내는 안정한 자유 라디칼이다. 항산화제로부터 전자나 수소를 공여받아 free radical을 소거하게 되면 보라색이 노란색으로 변화함으로써 항산화 활성을 분광 광도계로 측정할 수 있게 된다 (Akar *et al.*, 2017).

차나무 부위별 추출물의 DPPH radical 소거능은 Blois (1958)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 40 μl 에 메탄올에 녹인 0.15 mM DPPH를 160 μl 를 혼합하여 암조건에서 30 분 동안 반응하였다. 이후 microplate reader를 이용하여 490 nm에서 흡광도를 측정하였다.

추출물의 DPPH radical 소거능을 계산할 때 DPPH 농도를 50% 감소시키는 시료의 양인 RC₅₀을 기준으로 항산화능을 측정하였다. 추출물의 DPPH radical 소거능을 비교하기 위한 양성대조군으로 butylated hydroxytoluene (BHT)을 사용하였다.

7. Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) 측정

TEAC는 ABTS·라디칼을 소거하는 항산화능을 측정하는 방법이며 ABTS가 과산화물과 반응하게 되면 radical이 형성되고 청록색을 띠게 된다. ABTS radical 함성용액은 항산화 활성을 가진 물질과 반응하게 되면 radical이 소거되고 탈색이 진행되며 이것의 흡광도를 측정하여 항산화 활성을 확인하는 방법이며 DPPH는 free radical을 측정하지만 ABTS는 cation radical을 측정한다 (Re *et al.*, 1999; Villaño *et al.*, 2007).

TEAC는 Zulueta 등 (2009)의 방법을 변형하여 측정하였다. ABTS radical을 생성시키기 위해 7 mM ABTS와 2.45 mM potassium persulfate를 혼합하여 암소에 24 시간 방치시켰으며 실험에 사용하기 직전에 ABTS radical 용액을 750 nm 파장에서 흡광도 값이 0.70 ± 0.02 가 되도록 증류수로 희석하였다.

각 추출물 10 μl 에 ABTS radical 혼합용액 200 μl 를 혼합하여 5 분간 방치 후 microplate reader를 사용해 750 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. 표준물질로 trolox를 사용하였으며 작성된 표준검량곡선을 그려 건조시료 1 g당 trolox 농도 (mM·TE/g)로 나타내었다.

8. Ferric reducing antioxidant power (FRAP) 측정

FRAP은 ferric tripyridyltriazine [Fe(III)-TPTZ] 복합체가 항산화 물질에 의해 3.6의 낮은 pH 조건에서 ferrous tripyridyltriazine [Fe(II)-TPTZ]로 환원되는 과정에서 발생하는 흡광도를 측정하는 방법이다 (Benzie and Strain, 1996). FRAP는 항산화 활성보다는 철 이온을 기반으로 환원력을 측정하는 방법으로 시료의 색상에 영향을 받고 실험과정에서 oxygen electrode 안정성을 잃을 수도 있다는 단점이 있지만 쉽고 저렴하다는 장점이 있어서 널리 사용되는 실험방법이다 (Yoo *et al.*, 2007).

차나무 부위별 추출물의 FRAP 측정은 Benzie와 Strain (1996)의 방법을 변형하여 측정하였다. 실험 직전에 300 mM sodium acetate buffer (pH 3.6), 10 mM 2,4,6-tripyridyltriazine와 20 mM FeCl₃를 10 : 1 : 1 비율로 혼합하였고 37°C에서 30 분 동안 반응시킨 뒤 FRAP working solution을 제조하였다.

추출물 50 μl 에 FRAP working solution 150 μl 를 가하여 37°C에서 15 분간 반응시킨 뒤 microplate reader를 이용해 595 nm에서 흡광도 값을 측정하였다. FeSO₄를 이용하여 표준검량곡선을 작성한 뒤 시료 1 g당 FeSO₄ 환원력 (mM·FE/g)으로 나타내었다.

9. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) 측정

ORAC는 생체 내의 세포막에 존재하는 지질의 산화 상태를 보는 방법으로 1992년 미국 농무부에서 개발되었다 (Cao *et al.*, 1993). ORAC는 일정 시간에 따라 활성산소에 의해 손상

되어 발색되는 형광값을 측정하는 방법이며, 수용성과 지용성 물질 모두 측정 가능하다는 장점이 있고 식품의 항산화력을 측정할 때 주로 사용하고 있다 (Schaich *et al.*, 2015).

차나무 부위별 추출물의 ORAC 측정은 Zulueta 등 (2009)의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 50 μ l에 78 nM fluorescein 150 μ l를 가하고 37°C에서 10 분간 반응시킨 다음에 221 mM 2,2'-azobis(2-amino-propane)dihydrochloride를 첨가하였으며 excitation 파장 485 nm, emission 파장 535 nm에서 1 분 간격으로 60 분간 형광도를 측정하였다. 표준물질로 trolox를 사용하였고 표준검량곡선을 그려 건조 시료 1 g 당 trolox 농도 (mM·TE/g)로 나타내었다.

10. α -Glucosidase 저해활성 측정

차나무 부위별 추출물의 α -glucosidase에 대한 저해활성 측정은 *p*-nitrophenyl α -D-glucopyranoside (*p*NPG)를 이용하여 측정하였다 (Ko *et al.*, 2017).

추출물 20 μ l에 20 mM potassium phosphate buffer (pH 6.8) 120 μ l와 α -glucosidase (0.5 U/ml) 50 μ l를 혼합한 뒤 incubator에서 37°C 조건으로 10 분 동안 배양하였다. 이후 혼합용액에 2 mM *p*NPG 10 μ l를 가하여 37°C에서 10 분 동안 반응시켰다. 이 반응액에 0.1 M sodium carbonate 100 μ l를 넣어 반응을 정지시킨 뒤 microplate reader를 사용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하여 추출물의 저해율을 구하였으며 α -glucosidase 활성을 50% 저해하는데 필요한 샘플의 양을 GIC₅₀으로 표기하였다.

11. 통계처리

본 연구의 실험은 3 회 반복하여 실시하였다. 통계분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 Duncan의 다중범위검정 (Duncan's Multiple Range Test, DMRT)을 실시함으로써 통계학적으로 유의성을 분석하였다 ($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 차나무 부위별 추출 수율

추출물의 수율과 효능은 항상 일치하는 것은 아니다. 추출물의 특성에 따라 수율이 높더라도 효능이 낮을 수도 있으며 반대로 효능이 높더라도 수율 자체는 낮을 수도 있다. 하지만 추출물의 효능이 높더라도 수율이 낮으면 경제적 측면에서 산업화에 어려운 점이 있어서 추출 수율은 산업화에서 중요한 척도가 될 수 있다. 차나무 (*Camellia sinensis*) 부위별 추출물의 수율은 Table 1에 표기하였다.

꽃의 수율은 58.02%로 가장 높았으며 이후 잎 (46.98%), 가지 (28.84%), 씨 (21.52%), 뿌리 (14.20%) 순으로 높은 값

을 나타내었다. 꽃은 함유된 꿀로 인하여 높은 당 함량을 나타내며 본 실험에서 용매로 사용한 70% 에탄올에 당 성분이 다량으로 같이 추출되었기 때문에 가장 높은 수율을 나타낸 것으로 생각한다.

Kim 등 (2021)의 연구에서 각기 다른 농도의 에탄올로 금화귀 꽃을 추출했을 때 본 실험과 동일한 70% 에탄올 추출물에서 가장 높은 당 함량을 나타내었으며, Park 등 (2015)의 연구에서도 추출 수율이 꽃, 잎, 뿌리 순서로 높게 나타나 본 실험 결과와 유사한 경향을 보여주었다.

2. 차나무 부위별 총 폴리페놀 함량

폴리페놀은 구조적 특성으로 인해 항산화능과 밀접한 관련이 있다고 알려져 있으며 phenolic acid, flavonoid, stilbene, lignan과 tannins 등으로 분류할 수 있다 (Gani *et al.*, 2012).

차나무 부위별 추출물에 포함된 총 폴리페놀 함량은 Table 1에 나타내었다. 차나무 잎에는 chlorogenic acid, EC, ECG, EGC, EGCG, GC, GCG, gallic acid, theobromine, theogallin 등 다양한 종류의 폴리페놀 화합물이 함유되어 있다고 알려져 있다 (Yao *et al.*, 2004). 차나무 잎의 총 폴리페놀 함량은 201.75 mg·GAE/g으로 확인되었다. 그 다음으로는 뿌리 (175.37 mg·GAE/g), 가지 (128.94 mg·GAE/g), 꽃 (91.13 mg·GAE/g) 및 씨 (21.29 mg·GAE/g) 순으로 함량을 확인할 수 있었다.

3. 차나무 부위별 총 플라보노이드 함량

차나무 부위별 추출물의 총 플라보노이드 함량은 잎 (65.28 mg·QE/g), 꽃 (13.36 mg·QE/g), 가지 (10.56 mg·QE/g), 씨 (9.14 mg·QE/g) 및 뿌리 (7.17 mg·QE/g) 순으로 총 폴리페놀 함량과는 다른 양상을 보였다 (Table 1). 차나무 잎은 총 폴리페놀 함량과 마찬가지로 가장 높은 총 플라보노이드 값을 나타내었다.

이는 차나무 잎에 들어있는 플라보노이드류 화합물인 catechin, 3-(*p*-hydroxyphenyl)-propionic acid, *p*-coumaric acid, quercetin과 kaempferol 등의 영향에 기인한 것으로 생각된다 (Yao *et al.*, 2004). 잎과 씨를 제외한 나머지 부위에서는 총 폴리페놀 함량과는 다른 경향을 보였는데 이는 함유된 폴리페놀 화합물의 종류가 비플라보노이드 계열이었기 때문에 총 플라보노이드 함량이 낮게 나타난 것으로 생각한다.

4. 차나무 부위별 추출물의 성분

HPLC를 이용하여 차나무 부위별 추출물의 catechin류 화합물의 성분 분석 결과는 Table 2에 나타내었다.

총 5 종의 catechin 화합물을 표준물질로 선정하여 분석을 진행하였다 (Zhao, 2003; Park *et al.*, 2012). EGC와 EGCG는 모든 추출물에서 검출되었고 차나무 잎 추출물에서 각각

Table 1. Total polyphenol, flavonoid content and yield of extracts from different parts of *C. sinensis*.

Parts	Yield (%)	TPC (mg·GAE/g) ¹⁾	TFC (mg·QE/g) ²⁾
Leaf	46.98±1.86 ^b	201.75±8.43 ^a	65.28±4.72 ^a
Branch	28.84±1.12 ^c	128.94±10.29 ^c	10.56±2.03 ^b
Flower	58.02±2.24 ^a	91.13±7.27 ^d	13.36±1.58 ^b
Seed	21.52±5.01 ^d	21.29±0.73 ^e	9.14±1.85 ^b
Root	14.20±0.79 ^e	175.37±21.46 ^b	7.17±1.83 ^b

^aMeans with different letters (a - e) in the same column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). ¹⁾TPC; total polyphenol content. mg·GAE/g (mg gallic acid equivalent per sample 1 g). ²⁾TFC; total flavonoid content. mg·QE/g (mg quercetin equivalent per sample 1 g).

6.99 mg/g과 15.71 mg/g로 가장 높은 함량을 나타내었다. EC는 가지 추출물에서 4.00 mg/g으로 높은 값을 나타내었으며 씨 추출물에서는 확인되지 않았다. GCG는 뿌리에서 0.74 mg/g으로 높은 함량을 나타내었지만, 잎과 씨 추출물에서는 검출되지 않았으며, GC는 가지 추출물에서 3.02 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다.

일반적으로 잎에서 가장 다양하고 많은 catechin 화합물을 함유하고 있다고 알려졌지만 본 실험에서는 잎 추출물에서 GCG는 검출되지 않았으며, 각 화합물의 함량에 따른 경향성은 EGCG > EGC > EC > GC 순서로 나타났는데 이는 Lee 등 (2015)의 연구에서 나타난 경향성과 일치하였다. 또한 선행연구에서 확인된 차나무 catechin 화합물의 함량과 본 실험에서 나타난 차나무 추출물의 catechin 화합물 함량의 차이를 확인할 수 있었으며 이는 채취 시기 및 지역에 의해 발생한 것으로 생각한다 (Lee and Lee, 2013; Lee *et al.*, 2015).

5. 차나무 부위별 추출물의 항산화 활성

차나무 부위별 추출물의 DPPH radical 소거활성은 Table 3에 나타내었다. 차나무 부위별 추출물의 DPPH RC₅₀의 값은 씨를 제외한 모든 부위에서 합성 항산화제인 BHT (132.85 µg/ml)보다 높은 저해율을 보여주었다.

저해율은 잎 (18.39 µg/ml), 뿌리 (22.34 µg/ml), 가지 (35.71 µg/ml), 꽃 (39.86 µg/ml), 씨 (421.35 µg/ml) 순서로 나타났으며 이는 총 폴리페놀 함량과 일치하는 경향을 나타내었다. 차나무 각 부위에는 다양한 종류의 폴리페놀 화합물이 함유되어 있으며 그 함량과 활성에 따라 항산화 활성에도 영향을 준 것으로 생각한다.

추출물의 TEAC 값은 DPPH 저해활성과 같은 경향성을 보였으며 잎 (2,202.93 mM·TE/g), 뿌리 (1,882.28 mM·TE/g), 가지 (1,308.66 mM·TE/g), 꽃 (1,038.96 mM·TE/g) 및 씨 (167.43 mM·TE/g) 순서로 높은 값을 확인하였다. 차나무 부위별 추출물의 FRAP 값 범위는 144.93 mM·FeSO₄/g - 2,930.62 mM·FeSO₄/g로 각 부위별 추출물 간의 유의적인 차이를 나타냈으며 DPPH radical 소거 활성과 같은 경향을 나타냈다. 차나무 잎에서 2,930.62 mM·FeSO₄/g으로 가장 높은 FRAP 값을 보였지만 차나무 씨에서는 144.93 mM·FeSO₄/g으로 가장 낮은 값을 확인할 수 있었다. 이는 마찬가지로 총 폴리페놀 함량에 근거하여 차나무에 함유된 다양한 페놀화합물에 의한 영향으로 판단된다.

차나무 부위별 추출물의 ORAC 값은 잎에서 3,645.84 mM·TE/g으로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음으로는 뿌리와 가지에서 각각 2,962.93 mM·TE/g, 2,793.38 mM·TE/g으로 확인되었다. 꽃에서는 2,054.15 mM·TE/g으로 나타났고 씨에서는 755.88 mM·TE/g으로 가장 낮은 항산화 활성을 나타내었다.

항산화 활성 측정법인 DPPH, TEAC, FRAP, ORAC 방법으로 측정된 차나무 부위별 추출물의 항산화 효과는 총 폴리페놀 함량과 유의한 상관관계를 나타내었으며 이는 폴리페놀 화합물이 항산화 활성과 밀접한 관계가 있다는 보고와 유사한 경향성을 나타내었다 (Kim *et al.*, 2004).

활성산소종 (reactive oxygen speices, ROS)은 라디칼과 비라디칼 형태의 대사과정에서 발생하는 산물로 모든 호기성 유기체의 정상적인 산화 과정에서 생성된다. 낮은 수준의 ROS는 세포의 신호 유도 등 중요한 역할을 하지만 높은 수준의 ROS가 생성되면 식물체의 세포 단백질, 지질, 핵산 등에 산화

Table 2. Catechin compounds content of extracts from different parts of *C. sinensis*.

Parts	Catechin compounds (mg/g)				
	EGC ¹⁾	EC ²⁾	EGCG ³⁾	GCC ⁴⁾	GC ⁵⁾
Leaf	6.99±0.95 ^a	3.88±0.15 ^a	15.71±0.50 ^a	ND ⁶⁾	2.04±0.46 ^{ab}
Branch	0.88±0.10 ^b	4.00±0.75 ^a	0.51±0.01 ^c	0.39±0.09 ^a	3.02±1.49 ^a
Flower	0.97±0.31 ^b	2.08±0.34 ^b	4.79±1.11 ^b	0.14±0.02 ^a	2.79±0.47 ^a
Seed	0.28±0.02 ^b	ND	0.12±0.01 ^c	ND	0.22±0.01 ^c
Root	0.30±0.01 ^b	2.17±0.80 ^b	0.22±0.23 ^c	0.74±0.46 ^a	0.53±0.05 ^{bc}

^aMeans with different letters (a - c) in the same column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$). ¹⁾EGC; epigallocatechin, ²⁾EC; epicatechin, ³⁾EGCG; epigallocatechin gallate, ⁴⁾GCC; gallocatechin gallate, ⁵⁾GC; gallocatechin, ⁶⁾ND; not detected.

스트레스를 가하기 때문에 식물은 이 산화스트레스에 대항하기 위해 자연적으로 항산화 방어 시스템을 개발하여 ROS에 의한 손상을 억제한다 (Mittler, 2017).

ROS는 자외선, 염분, 고온, 중금속, 가뭄 등 환경적 스트레스에 의해 많이 생성되는데 본 실험에서는 차나무 부위 중 생육기간 동안 잎이 외부에 가장 많이, 긴 시간 동안 노출되었기 때문에 여러 가지 환경 스트레스에 의해 식물체에 손상을 줄 수 있는 수준의 ROS가 생성되었고 이에 대항하기 위한 항산화 방어 시스템으로 식물의 저항성을 높일 수 있는 폴리페놀 화합물이 생성되어 항산화 기전을 나타내었기 때문에 외부 노출이 적은 다른 부위에 비해 가장 높은 항산화 활성을 나타낸 것으로 생각한다 (Hasanuzzaman *et al.*, 2013; Hussain *et al.*, 2016; Ali *et al.*, 2019).

식물체의 뿌리는 토양에서 물과 각종 영양소를 흡수하여 잎과 줄기에 전달하는 역할을 하므로 다량의 영양소가 함유되어 있다. 또한 뿌리에는 생장점이 있는데 세포분열을 통해 성장하기 위해 식물 체내의 영양소가 다시 뿌리로 모이게 된다. 그리고 뿌리는 토양 내의 다양한 박테리아, 균, 선충 등과 상호작용 또는 저항하거나 가뭄, 염분, 중금속 등의 외부적인 스트레스로 인해 2차 대사산물 같은 각종 화학물질을 만들며 이것이 항산화 활성을 나타내기도 한다 (Bian and Jiang, 2009; Tripathi *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2015; Lareen *et al.*, 2016). 이러한 이유로 인하여 차나무 잎 다음으로 뿌리에서 높은 항산화 활성을 나타낸 것으로 생각한다.

가지 및 줄기는 식물의 영양분이 이동하는 통로 역할을 한다. 뿌리에서 흡수된 영양분과 수분은 체관과 물관을 타고 올라가 잎으로 전달되고 잎에서 광합성을 통해 생성된 당분 등은 체관을 통해 이동한다. 영양분과 수분이 이동하는 가지와 줄기에는 각종 영양분이 함유되어 있으며 예로부터 구황 식품으로 섭취해오기도 하였다 (Kim and Cha, 2013). 또한, 가지 및 줄기의 껍질 부분에 각종 생리활성 물질이 함유되어 있다고 보고된 바 있다 (Cho *et al.*, 2020).

본 실험 결과 대체로 차나무 잎과 뿌리에서 높은 항산화 활성을 보여주었는데 차나무 잎에는 다양한 종류의 폴리페놀 화합물이 함유되어 있으며 특히 EGCG와 같은 catechin류 화합물이 많이 들어있다고 알려져 있다. 실제로 본 연구에서도 성분분석 결과 잎에는 EGCG와 EGC 등이 많이 함유되어 있었으며, 이러한 성분들로 인하여 높은 항산화 활성을 나타낸 것으로 생각된다. Sur 등 (2001)의 연구에서는 차나무 뿌리에서 분리한 사포닌 화합물에서 높은 항산화 활성을 확인할 수 있었다. 선행연구와 본 실험을 참고하였을 때 차나무에는 다양한 종류의 생리활성 성분이 들어있다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 항산화 실험 결과에도 영향을 준 것으로 생각된다.

6. 차나무 부위별 α-glucosidase 저해활성

당뇨병은 세계적으로 유행하는 질병 중 하나이다. 당뇨병 환자 수는 지속적으로 증가해왔으며 2019년에는 전 세계 당뇨병 인구는 약 4 억 명으로 추산되었고 2045년에는 7 억 명이 될 것으로 예측되었다 (Teo *et al.*, 2021).

당뇨병은 면역체계가 췌장세포를 공격 및 파괴하여 발생하는 자가면역질환인 인슐린 의존성 1형과 인체가 인슐린과 당분 축적에 저항하는 인슐린 비의존성 2형으로 나눌 수 있으며, 전체 당뇨병 환자의 90% 정도는 2형 당뇨병에 해당한다 (Papoutsis *et al.*, 2021). 2형 당뇨병은 식이 및 생활습관의 변화로 예방 가능한 것으로 간주되어왔지만 그마저도 불가능할 때는 주로 약물 치료에 의존하고 있다 (Rosak *et al.*, 2012).

α-Glucosidase는 다당류, 이당류 등을 단당류로 분해하여 소장에서 탄수화물의 흡수를 촉진하는 효소이다 (Kim *et al.*, 2014a). α-Glucosidase 억제제는 이 효소의 활성을 억제하여 소장의 상위 부분에서 흡수되던 단당류를 전체 소장에서 흡수하는 방식으로 탄수화물의 흡수를 지연시켜 식후 고혈당을 감소시키는 작용을 한다 (Yoo, 2012). 대표적인 약제로는 acarbose, voglibose 및 miglitol 등이 있다 (Derosa and

Table 3. Antioxidant activity of extracts from different parts of *C. sinensis*.

Parts	DPPH (RC ₅₀ , μg/ml) ¹⁾	TEAC (mM·TE/g) ²⁾	FRAP (mM·FeSO ₄ /g) ³⁾	ORAC (mM·TE/g) ⁴⁾
Leaf	18.39±1.67 ^a	2,202.93±49.84 ^a	2,930.62±86.33 ^a	3,645.84±116.97 ^a
Branch	35.71±2.27 ^{bc}	1,308.66±188.25 ^c	1,294.52±88.18 ^c	2,793.38±179.88 ^b
Flower	39.86±2.73 ^c	1,038.96±64.48 ^d	1,170.54±138.13 ^c	2,054.15±207.09 ^c
Seed	421.35±17.20 ^e	167.43±13.05 ^e	144.93±15.99 ^d	755.88±171.82 ^d
Root	22.34±3.76 ^{ab}	1,882.28±167.73 ^b	1,560.32±122.45 ^b	2,962.93±376.60 ^b
BHT ⁵⁾	132.85±1.15 ^d			

^aMeans with different letters (a - e) in the same column are significantly different by Duncan's Multiple Range Test (DMRT, *p* < 0.05). ¹⁾DPPH; amount required for a 50% reduction of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radicals. ²⁾TEAC; trolox equivalent antioxidant capacity was analyzed as trolox equivalent (TE) mM/g of extract. ³⁾FRAP; ferric reducing antioxidant power was analyzed as ferrous sulfate equivalent (FE)·mM/g of extract. ⁴⁾ORAC; oxygen radical absorbance capacity was analyzed as trolox equivalent (TE)·mM/g of extract. ⁵⁾BHT; butylated hydroxytoluene.

Table 4. α -Glucosidase inhibitory activity of extracts from different parts of *C. sinensis*.

Parts	GI _{C50} ¹ (μ g/ml)
Leaf	190.38 \pm 28.10 ^b
Branch	150.24 \pm 4.81 ^{ab}
Flower	389.36 \pm 74.79 ^c
Seed	ND ²
Root	47.71 \pm 2.09 ^a
Acarbose	739.91 \pm 18.65 ^d

^aMeans with different letters (a - d) in the same column are significantly different by Duncan Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$).

¹GI_{C50}; concentration required to reduce 50% of α -glucosidase.

²ND; Not detected.

Maffioli, 2012).

차나무 부위별 추출물의 α -glucosidase 저해활성은 Table 4 와 같다. α -Glucosidase 저해활성은 47.71 μ g/ml - 389.36 μ g/ml 의 범위로 씨를 제외한 모든 추출물에서 약제로 사용되는 acarbose (739.91 μ g/ml)의 저해활성보다 높은 저해율을 나타내었다. 특히 뿌리 추출물 (47.71 μ g/ml)에서 그 활성이 가장 두드러지게 나타났으며 가지 (150.24 μ g/ml), 잎 (190.38 μ g/ml), 꽃 (389.36 μ g/ml) 순으로 높은 활성을 보여주었고 씨에서는 활성을 나타내지 않았다.

Jang 등 (2015)의 연구에서는 뽕나무 4 가지 부위 (열매, 잎, 가지 및 뿌리) 에탄올 추출물의 α -glucosidase 저해활성을 측정한 결과 뿌리, 가지, 잎 및 열매 순으로 높은 활성이 나타내었다고 보고하여 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다.

차 산업에서는 고품질의 차잎을 생산하기 위해 매년 2 번씩 전정 작업을 하고 있는데 전정 시 발생하는 부산물인 차나무 가지는 마땅한 활용 방법이 없기 때문에 경제적 가치가 없는 폐기물로 버려지고 있으며 이를 활용할 수 있는 방법이 요구되는 실정이다 (Zhang *et al.*, 2021).

차나무 뿌리의 경우에는 땅을 파서 채취해야하기 때문에 다른 부위에 비해 채취 난이도가 있는 편이지만 차나무의 수령이 오래되어 교체해주거나 녹차 농장이 폐원하여 차나무를 폐기할 경우에는 다량으로 얻을 수 있다.

차나무의 가지, 꽃, 씨, 뿌리 등은 생산량에 비하면 산업계에서 활용도가 낮고 연구 또한 상대적으로 미비하며, 현재 차 산업에서는 전반적으로 잎을 위주로 활용하고 있고 잎 생산을 위해 나머지 부위에 대해서는 대부분이 폐기되고 있는 실정이다.

현재 전 세계적으로 당뇨 환자는 증가하는 추세에 있으며, 이를 개선하기 위한 경제적 비용 또한 높아지고 있다 (Basu *et al.*, 2018). 기업에서는 당뇨 환자를 대상으로 한 건강식품을 개발하고자 노력하고 있고, 항당뇨 활성을 나타내는 다양한 제품을 출시하고 있다. Djamil과 Putri (2018)의 연구에서

는 바나바잎 70% 에탄올 추출물의 α -glucosidase 저해활성의 값이 78.6 μ g/ml로 확인되었고, 본 연구에서는 차나무 뿌리 추출물의 저해활성이 47.71 μ g/ml 으로 확인되어 혈당케어 제품으로 활용되는 바나바잎 추출물보다 높은 항당뇨 활성을 보여주고 있다.

본 실험을 통해 차나무 잎 외에도 가지와 뿌리 등 나머지 부위에 대해서도 우수한 생리활성을 확인하였으며, 재배 과정에서 생산되는 부산물이기 때문에 값싼 단가와 우수한 효능을 감안했을 때 항당뇨 효능을 나타내는 건강식품의 원료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Akar Z, Küçük M and Doğan H.** (2017). A new colorimetric DPPH· scavenging activity method with no need for a spectrophotometer applied on synthetic and natural antioxidants and medicinal herbs. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry.* 32:640-647.
- Ali MA, Fahad S, Haider I, Ahmed N, Ahmad S, Hussain S and Arshad M.** (2019). Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants: Production, metabolism, signaling and defense mechanisms. Wiley-Blackwell. Hoboken, NJ, USA. p.353-370.
- Basu S, Yudkin JS, Kehlenbrink S, Davies JI, Wild SH, Lipska KJ, Sussman JB and Beran D.** (2019). Estimation of global insulin use for type 2 diabetes, 2018-30: A microsimulation analysis. *The Lancet Diabetes and Endocrinology.* 7:25-33. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213858718303036>. (cited by 2022 April 14).
- Benzie IFF and Strain JJ.** (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry.* 239:70-76.
- Bian S and Jiang Y.** (2009). Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae.* 120:264-270.
- Blois MS.** (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature.* 181:1199-1200.
- Cao G, Alessio HM and Cutler RG.** (1993). Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine.* 14:303-311.
- Cha WS, Cho MJ, Ding JL and Shin HJ.** (2008). Nutritional component analysis of green tea tree's root and seed. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal.* 23:387-391.
- Chacko SM, Thambi PT, Kuttan R and Nishigaki I.** (2010). Beneficial effects of green tea: A literature review. *Chinese Medicine.* 5:13. <https://cmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1749-8546-5-13> (cited by 2022 April 20).
- Chen Y, Zhou Y, Zeng L, Dong F, Tu Y and Yang Z.** (2018). Occurrence of functional molecules in the flowers of tea (*Camellia sinensis*) plants: Evidence for a second resource. *Molecules.* 23:790. <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/4/790> (cited by 2022 April 20).
- Cho EG, Kim HW, Oh CJ, Oh DS and Kim J.** (2020). A study

- of antioxidant and antitumor activity of *Mallotus japonicus* bark extracts with different solvents. *Journal of Advanced Engineering and Technology*. 13:95-100.
- Choi SR, Kim YG, Kim HM, Ko JA, Seo BS, Kim YS, Song EJ and Seo KW.** (2011). Physiological activities of methanol extracts from *Camellia sinensis* L. by harvesting parts. *Journal of the Korean Tea Society*. 17:48-55.
- Derosa G and Maffioli P.** (2012). α -Glucosidase inhibitors and their use in clinical practice. *Archives of Medical Science*. 8:899-906.
- Djamil R and Putri YE.** (2018). Determination of quality parameters, toxicity test, antioxidant activity, and α -glucosidase inhibitory activity of 70% ethanol extract bungur leaves (*Lagerstroemia speciosa* L. Pers.). *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 11:217-221.
- Gani A, Wani SM, Masoodi FA and Hameed G.** (2012). Whole-grain cereal bioactive compounds and their health benefits: A review. *Journal of Food Processing and Technology*. 3:146-156.
- Hasanuzzaman M, Nahar K, Gill SS and Fujita M.** (2013). Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. *Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance*. Wiley-Blackwell. Hoboken, NJ, USA. p.209-250.
- Hussain T, Tan B, Yin Y, Blachier F, Tossou MCB and Rahu N.** (2016). Oxidative stress and inflammation: What polyphenols can do for us? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2016:7432797. <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2016/7432797/> (cited by 2022 April 20).
- Jang YJ, Leem HH, Jeon YH, Lee DH and Choi SW.** (2015). Isolation and identification of α -glucosidase inhibitors from *Morus* root bark. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 44:1090-1099.
- Jo C, Son JH, Son CB and Byun MW.** (2003). Functional properties of raw and cooked pork patties with added irradiated, freeze-dried green tea leaf extract powder during storage at 4°C. *Meat Science*. 64:13-17. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174002001316> (cited by 2022 April 20).
- Jung BK, Lim JH, An CH, Kim YH and Kim SD.** (2012). Selection and identification of phytohormones and antifungal substances simultaneously producing plant growth promoting rhizobacteria from microbial agent treated red-pepper fields. *Microbiology and Biotechnology Letters*. 40:190-196.
- Kim EY, Baik IH, Kim JH, Kim SR and Rhyu MR.** (2004). Screening of the antioxidant activity of some medicinal plants. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 36:333-338.
- Kim JH, Lee SY, Park JM, Park JH, Kwon OJ and Lee JY.** (2014a). Antioxidant activity and inhibition activity against α -amylase and α -glucosidase of *Juniperus rigida* Sieb extracts. *Korean Journal of Food Preservation*. 21:396-403.
- Kim JS, Lee JE, Seo SG, Lee CH, Woo SY and Kim SH.** (2015). Gene expression profile affected by volatiles of new plant growth promoting rhizobacteria, *Bacillus subtilis* strain JS, in tobacco. *Genes and Genomics*. 37:387-397.
- Kim KB, Jo BS, Park HJ, Park KT, An BJ, Ahn DH, Kim MU, Chae JW and Cho YJ.** (2012). Healthy functional food properties of phenolic compounds isolated from *Ulmus pumila*. *Korean Journal of Food Preservation*. 19:909-918.
- Kim KS and Ryu MJ.** (2017). Physiological activity of the *Glycyrrhiza uralensis* extracts as a cosmetic product. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*. 15:11-22.
- Kim NI, Choi MH, Park GS and Shin HJ.** (2021). Analysis of antioxidant activity and component contents of *Aurea helianthus* flower extracts with different extraction methods. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*. 36:130-138.
- Kim SH, Lee MH and Jeong YJ.** (2014b). Current trends and development substitute tea and plan in the Korean green tea industry. *Food Industry and Nutrition*. 19:20-25.
- Kim SW and Cha GH.** (2013). Famine relief during the late chosun dynasty in 『Limwonggyungjeji』 『Injeji』. *Journal of the Korean Society of Food Culture*. 28:213-233.
- Kim YH, Kim WS, Kim JM, Choi SI, Jung TD, Lee JH, Kim JD, Lim JK and Lee OH.** (2016). Optimization of extraction conditions for mixture of *Camellia sinensis* L. and *Artemisia argyi* by response surface methodology. *Journal of Food Hygiene and Safety*. 31:278-285.
- Ko HM, Eom TK, Kim KC, Yoo JH, Lim JD, Yoo CY and Kim JS.** (2018). Biological activity investigation of supercritical fluid extract of fermented mountain ginseng adventitious root. *Journal of Advanced Engineering and Technology*. 11:115-121.
- Ko HM, Eom TK, Song SK, Jo GY and Kim JS.** (2017). Tyrosinase and α -glucosidase inhibitory activities and antioxidant effects of extracts from different parts of *Hypochaeris radicata*. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 25:139-145.
- Lareen A, Burton F and Schäfer P.** (2016). Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. *Plant Molecular Biology*. 90:575-587.
- Lee EH, Lee JK, Hong JT, Jung KM, Kim YK, Lee SH, Chung SY and Lee YW.** (2001). Protective effect of green tea extract, catechin on UVB-induced skin damage. *Journal of Food Hygiene and Safety*. 16:117-124.
- Lee LS, Kim SH, Park JD, Kim YB and Kim YC.** (2015). Physicochemical properties and antioxidant activities of loose-leaf green tea commercially available in Korea. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 47:419-424.
- Lee MH and Lee SU.** (2013). Analysis by HPLC of catechins, alkaloids and antioxidant activities in Hadong green tea leaves. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*. 30:761-769.
- Lee MS, Im HJ, Jeong HS, Cho HJ, Woo HS, Oh YJ, Lee SI, Kim HC, Ahn KW, Kim YS and Kim DW.** (2019). Quantitative determination of marker compounds in the extracts of *Camellia sinensis* L. sub-branches(residual products) by HPLC. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 27:24-29.
- Leigh MB, Fletcher JS, Fu X and Schmitz FJ.** (2002). Root turnover: An important source of microbial substrates in rhizosphere remediation of recalcitrant contaminants. *Environmental Science and Technology*. 36:1579-1583.
- Lin J, Della-Fera MA and Baile CA.** (2005). Green tea polyphenol epigallocatechin gallate inhibits adipogenesis and induces apoptosis in 3T3-L1 adipocytes. *Obesity Research*. 13:982-990.
- Lin YS, Wu SS and Lin JK.** (2003). Determination of tea

- polyphenols and caffeine in tea flowers(*Camellia sinensis*) and their hydroxyl radical scavenging and nitric oxide suppressing effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:975-980.
- Mittler R.** (2017). ROS are good. *Trends in Plant Science*. 22:11-19.
- Na HW, Lee YR, Park JS, Lee TR and Kim HJ.** (2018). Green tea root is a potential natural surfactant and is protective against the detrimental stimulant PM2.5 in human normal epidermal keratinocytes. *Journal of Society of Cosmetic Scientists of Korea*. 44:67-72.
- Papoutsis K, Zhang J, Bowyer MC, Brunton N, Gibney ER and Lyng J.** (2021). Fruit, vegetables, and mushrooms for the preparation of extracts with α -amylase and α -glucosidase inhibition properties: A review. *Food Chemistry*. 338:128119. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620319816> (cited by 2022 April 20).
- Park JH, Cho MH and Lee KH.** (2018). A cross-cultural study of Korean-Chinese-Japanese consumer perceptions about green tea quality attributes and their consumption behavior. *International Journal of Tourism and Hospitality Research*. 32:251-266.
- Park MS, Jeong BR and Bahk GJ.** (2015). Antioxidant activity and cytotoxicity of ethanol extracts from different parts of *Taraxacum coreanum* Nakai cultivated in South Korea. *Korean Journal of Food and Nutrition*. 28:594-601.
- Park SB, Han BK, Oh YJ, Lee SJ, Cha SK, Park YS and Choi HJ.** (2012). Bioconversion of green tea extract using lactic acid bacteria. *Food Engineering Progress*. 16:26-32. <http://foodengprog.kr/journal/article.php?code=7152> (cited by 2022 April 20).
- Park YH, Won EK and Son DJ.** (2002). Effect of pH on the stability of green tea catechins. *Journal of Food Hygiene and Safety*. 17:117-123.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M and Rice-Evans C.** (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26:1231-1237.
- Rosak C and Mertes G.** (2012). Critical evaluation of the role of acarbose in the treatment of diabetes: Patient considerations. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*. 5:357-367.
- Sanz V, Flórez-Fernández N, Domínguez H and Torres MD.** (2020). Valorisation of *Camellia sinensis* branches as a raw product with green technology extraction methods. *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2:20-24.
- Schaich KM, Tian X and Xie J.** (2015). Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *Journal of Functional Foods*. 14:111-125.
- Serin H, Ozcanli M, Gokce MK and Tuccar G.** (2013). Biodiesel production from tea seed(*Camellia Sinensis*) oil and its blends with diesel fuel. *International Journal of Green Energy*. 10:370-377.
- Sur P, Chaudhuri T, Vedasiromoni JR, Gomes A and Ganguly DK.** (2001). Antiinflammatory and antioxidant property of saponins of tea [*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze] root extract. *Phytotherapy Research*. 15:174-176.
- Teo ZL, Tham YC, Yu M, Chee ML, Cheung N, Bikbov MM, Wang YX, Tang Y, Lu Y, Wong LY, Ting DSW, Tan GSW, Jonas JB, Sabanayagam C, Wong TY and Cheng CY.** (2021). Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: Systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 128:1580-1591.
- Tripathi DK, Singh VP, Kumar D and Chauhan DK.** (2012). Rice seedlings under cadmium stress: Effect of silicon on growth, cadmium uptake, oxidative stress, antioxidant capacity and root and leaf structures. *Chemistry and Ecology*. 28:281-291.
- Villaño D, Fernández-Pachón MS, Moyá ML, Troncoso AM and García-Parrilla MC.** (2007). Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*. 71:230-235.
- Yahaya LE, Adebawale KO, Olu-Owolabi BI and Menon ARR.** (2011). Compositional analysis of tea(*Camellia sinensis*) seed oil and its application. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*. 1:153-158.
- Yang EJ, Seon YK and Wee JH.** (2016). Extraction yield and anti-yeast activity of extract from green tea seeds by pre-treatment and extraction conditions. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 45:1351-1357.
- Yao L, Jiang Y, Datta N, Singanusong R, Liu X, Duan J, Raymont K, Lisle A and Xu Y.** (2004). HPLC analyses of flavanols and phenolic acids in the fresh young shoots of tea(*Camellia sinensis*) grown in Australia. *Food Chemistry*. 84:253-263.
- Yoo HJ.** (2012). Pharmacotherapy for postprandial hyperglycemia in type 2 diabetes. *Journal of Korean Diabetes*. 13:39-43.
- Yoo KM, Kim DO and Lee CY.** (2007). Evaluation of different methods of antioxidant measurement. *Food Science and Biotechnology*. 16:177-182.
- Yoon WH, Choi JH, Lee KH and Kim CH.** (2005). Antimicrobial and antitumor activities of seed extracts of *Camellia sinensis* L. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 37:108-112.
- Zhang L, Li M, Li X, Yan P, Zhang L and Han W.** (2021). Summer pruning improves the branch growth and tea quality of tea trees(*Camellia sinensis*). *Acta Physiologiae Plantarum*. 43:65. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-021-03226-0> (cited by 2022 April 20).
- Zhao B.** (2003). Antioxidant effects of green tea polyphenols. *Chinese Science Bulletin*. 48:315-319.
- Zulueta A, Esteve MJ and Frigola A.** (2009). ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*. 114:310-316.