J Korean Soc Food Sci Nutr
43(9), 1357~1362(2014)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2014.43.9.1357

토종 복분자 *Rubus coreanus*와 외래종 복분자 *Rubus occidentalis* 추출물의 항산화능 비교

김이선 · 윤상혁 · 김지연
서울과학기술대학교 식품공학과

Comparative Study on Antioxidant Effects of Extracts from *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*

Lee Seon Kim, Sang Hyuck Youn, and Ji Yeon Kim
Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT This study compared the antioxidant effects of two kinds of black raspberry extract, obtained from fruits of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*, which can be found in Korea. The fruits of *R. coreanus* and *R. occidentalis* were each extracted with 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% ethanol (EtOH). Among the extracts of these two varieties, 50% EtOH extract of *R. occidentalis* showed the highest contents of total polyphenols (46.96±2.78 mg/g) and flavonoid compounds (11.77±0.81 mg/g). The 50% EtOH extract of *R. occidentalis* showed the highest antioxidant activity (84.77±0.97%) in terms of DPPH radical scavenging activity. On the contrary, 25% EtOH extract of *R. occidentalis* showed the best antioxidant activity (29.65±2.41%) in terms of ABTS radical scavenging activity. In the results of ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay, 50% EtOH extract of *R. occidentalis* showed the highest antioxidant activity (0.49±0.02%). In the cytotoxicity test stimulated with H_2O_2, the extracts of 75% and 100% EtOH from *R. occidentalis* showed the highest cell viability (93.54±3.37% and 97.19±0.74%, respectively). According to our results, extracts of *R. occidentalis* showed higher antioxidant activities than extracts of *R. coreanus*. Especially, total polyphenol and flavonoid contents of *R. occidentalis* showed the highest significant correlation with FRAP by Pearson's correlation (P=0.005 and P=0.013, respectively).

Key words: *Rubus coreanus*, *Rubus occidentalis*, antioxidant, polyphenol, flavonoid

서 론

복분자(*Rubus coreanus*)는 장미과에 속하고 우리나라 중부 이남의 산기슭 양지에서 자라는 식물로, 흰 분으로 덮인 줄기와 갈고리 모양의 가시가 특징이고 높이는 2~3 m 정도이다. 5~6월에 꽃이 피며 7~8월에 열매가 성숙되어 둥글고 붉은 색으로 익다가 나중에 흑색으로 완숙된다(1). 복분자의 생리활성 성분은 열매, 잎, 줄기에서 다르게 나타난다. 열매의 생리활성 성분으로는 sanguiin H-4, sanguiin H-6와 gallic acid가 보고되었으며(2), 잎의 생리활성 성분으로는 2종의 가수성 tannin(ellagic acid, sanguiin H-5)과 4종의 flavonoids(kaempferol, quercetin, quercetin 3-*O*-β-D-glucuronide-sodium salt, quercetin 3-*O*-β-D-glucuronide-sodium carboxylate)가 보고되었다(3). 줄기에서는 epicatechin, catechin, procyanidin B-4 및 sanguiin H-4가 생리활성 성분으로 보고되었다(4). 같은 복분자라는 이름을 가지고 있어도 품종이 다르면 나타나는 효과도 다르며, 재배지, 성숙도 및 추출 방법에 따라 유효성분 함유량에 차이를 보인다(5-7). 토종 복분자인 *R. coreanus*는 한방에서 당뇨병(diabetes mellitus), 성욕감퇴(sexual disinclination), 정액루(spermatorrhea), 유뇨증(enuresis), 천식(asthma) 및 알레르기 관련 질병 치료에 이용하고 있다(8). 이와 비교해 외래종 복분자로 알려져 있는 *R. occidentalis*는 항산화(antioxidation), 혈관신생억제(anti-angiogenesis) 및 식도암(esophageal cancer)에 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(9-11). 국내에는 북미산 black raspberry(*R. occidentalis*)가 도입되어 재배 생산된 것이 대부분이며 근래에는 국내산 야생 산딸기를 수집, 선별하여 시범 재배를 시작한 다음 횡성, 곡성, 광양 등 일부 지역에서 국내산 토종 복분자 딸기가 재배 육성되고 있다. 세계에는 600여 종의 나무딸기가 있는데 국내에 1960년대 말 북미산 품종이 도입되어 전북 고창군을 중심으로 재배되기 시작하였다. 안토시아닌과 페놀화합물의 기능성이 알려지면서 생과와 다양한 가공제품들의 판매로 재배가 증가되기 시작하여 전북, 전남뿐 아니라 전국으로 확산 재배되고 있다(12). 현재 우리나라

Received 2 May 2014; Accepted 22 June 2014
Corresponding author: Ji Yeon Kim, Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea
E-mail: jiyeonk@seoultech.ac.kr, Phone: +82-2-970-6740

에서 널리 재배되고 있는 복분자는 *R. occidentalis*로서 전통적으로 사용하던 복분자인 *R. coreanus*와는 다른 종으로 알려져 있다. *R. coreanus*는 곡성 지역에서만 일부 재배되고 있는 것으로 알려져 있으며 실제 제품으로 유통되고 있지는 않는 것으로 추정된다. 최근 연구 결과에 의하면 이들 두 가지 복분자들은 항염증 활성에 차이가 있으며 토종 복분자가 외래종보다 높은 항염증 활성을 가지고 있다고 보고되고 있다(13). 토종 및 외래종 복분자에 대한 각각의 항산화 활성을 본 연구 결과는 일부 있으며, 토종의 경우 에탄올 추출이 열수 추출물보다 항산화 활성이 높고 외래종의 경우 미성숙과의 에탄올 추출물이 성숙과의 에탄올 추출물보다 활성이 높았다(14,15). 하지만 이들 두 종 추출물의 항산화 활성을 비교한 연구는 발표된 것이 없다. 따라서 본 연구에서는 이들 두 가지 품종 복분자들의 항산화 활성 및 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량을 비교해보고자 한다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에 사용한 시약인 DMSO, ethyl alcohol, $NaNO_2$, $AlCl_3$, HCl, phosphoric acid, potassium persulfate ($K_2S_2O_8$), NaOH는 대정약품(Namyangju, Korea), sodium carbonate는 덕산약품(Ansan, Korea), ascorbic acid와 ferric chloride($FeCl_3$)는 Junsei Chemical(Tokyo, Japan), sulfanilamide, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), naphthylethylenediamine은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

복분자 추출물 제조

동결건조 된 곡성(토종) 및 고창(외래종) 복분자는 모두 농촌진흥청(Suwon, Korea)에서 제공받아 사용하였다. 두 가지 복분자는 수확되어 spectrophotometer를 이용해 완숙된 과일을 선별하였다. 선별된 복분자를 세척하고 동결건조 하였다. 두 가지 복분자의 동결건조 된 분말을 0%, 25%, 50%, 75%, 100% 농도별 에탄올로 추출하고 감압 농축기로 농축한 다음 진공건조기로 건조하여 사용하였다. 건조된 복분자는 최종 농도가 1,000 μg/mL가 되도록 증류수 및 DPBS에 녹여 사용하였다.

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

총 폴리페놀 화합물은 Folin-Ciocalteu 방법(16,17)을 약간 변형하여 분석하였다. 토종 및 외래종 복분자의 에탄올 비율별 추출물 300 μL와 증류수 250 μL, 2 N Folin-Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich Co.)를 160 μL 넣고 실온에서 5분간 방치한 다음 10% sodium carbonate를 300 μL씩 첨가하고 실온으로 암실에서 30분간 방치한 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 이용하여 검량곡선을 작성한 후 함량 계산에 활용하였고 각각의 모든 sample은 triplicates로 분석하였다.

총 플라보노이드 함량은 Marinova 등(18)의 방법에 따라 분석하였다. 총 플라보노이드 함량을 측정하기 위해 토종 및 외래종 복분자 에탄올 비율별 추출물을 4 mL의 증류수가 들어있는 15 mL conical tube에 첨가하였다. 여기에 5% $NaNO_2$ 300 μL를 넣고 상온에서 5분간 방치하였다. 그 후 10% $AlCl_3$ 300 μL를 가하고 상온에서 6분간 방치한 다음 1 M NaOH 2 mL를 첨가한 후 총 용량이 10 mL가 되도록 증류수를 첨가하였다. 어두운 곳에서 혼합용액을 잘 섞고 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. Catechin(Sigma-Aldrich Co.)을 이용하여 검량곡선을 작성한 후 함량 계산에 활용하였고 각각의 모든 sample은 triplicates로 분석하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성 측정

DPPH radical 소거능은 Goupy 등(19)의 방법에 따라 측정하였다. DPPH working solution은 methanol 50 mL에 용해한 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl을 빛을 차단하여 얼음에 보관하며 사용했다. 96 well plate에 각 추출물 시료를 50 μL씩 분주한 후 DPPH working solution 150 μL를 가하여 빛을 차단한 상태로 상온에서 30분간 방치하여 515 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신 methanol을 넣어 측정하였다. DPPH radical 소거능은 다음과 같은 계산식에 의해 환산하여 표시하였다.

DPPH radical scavenging activity (%)=

$$\left(1-\frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Control absorbance}}\right)\times 100$$

ABTS 라디칼 소거 활성

ABTS 라디칼 소거 활성 측정은 Jeon 등(20)의 방법에 따라서 측정하였다. ABTS 용액(2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, Fluka, Neu-Ulm, Germany) 7 mM 5 mL와 140 mM potassium persulfate($K_2S_2O_8$) 88 μL를 섞고 어두운 곳에서 16시간 동안 방치한 후, 이 용액 1 mL에 ethanol 88 mL를 첨가하여 혼합용액을 만들었다. 혼합용액 1 mL와 시료 50 μL를 넣고 섞어준 후 2분 30초 동안 방치시켰다. 734 nm에서 흡광도를 측정하였다.

ABTS radical scavenging activity (%)=

$$\left(1-\frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Control absorbance}}\right)\times 100$$

Ferric reducing antioxidant capacity(FRAP)

FRAP는 Benzie와 Strain(21)의 방법에 따라 측정하였다. FRAP reagent는 acetate buffer(300 mM, pH 3.6)와 40 mM HCl에 용해한 10 mM 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine(TPTZ, Sigma-Aldrich Co.), 20 mM ferric chlor-

ide($FeCl_3$)를 10:1:1의 비율로 섞은 후 37°C에서 보관하여 사용하였다. 제조된 FRAP reagent 150 μL에 각 농도별 시료 20 μL를 넣고 593 nm에서 0분과 4분 후에 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신 증류수를 넣어 측정하였고 standard로 ascorbic acid를 시료 대신 넣어 측정하였다.

$$\text{FRAP value} = (\text{0 to 4 min sample absorbance change} / \text{0 to 4 min standard absorbance change}) \times \text{FRAP value (ascorbic acid=2)}$$

Caco-2 cell line 배양

Caco-2(대장 상피세포, KCLB30037.1)는 한국세포주은행(KCLB, Korea Cell Line Bank, Seoul, Korea)에서 분양받아서 사용하였다. 각각의 세포는 10%의 fetal bovine serum(FBS, Cellgro, Manassas, VA, USA)과 1% penicillin-streptomycin(Gibco, Grand Island, NY, USA)이 함유된 minimum essential medium(MEM) 배지를 사용하였으며 37°C, 5% CO_2 incubator에서 배양하였다.

세포독성 실험

배양된 세포를 96 well plate에 1×10^4개씩 200 μL 분주한 다음 incubator에서 24시간 배양한 후에 추출물의 최종 농도가 1,000 μg/mL가 되도록 20 μL씩 분주하였다. Incubator에서 12시간 배양한 후 과산화수소의 최종 농도가 2 mM이 되도록 20 μL씩 분주하여 24시간 동안 배양하였다. DPBS에 녹인 5 mg/mL MTT(thiazolyl blue tetrazolium bromide, Sigma-Aldrich Co.) 용액을 well당 20 μL씩 분주하였다. 4시간 배양 후 상층액을 전부 제거하고 DMSO 100 μL를 분주하여 Digital Rotator에서 몇 분간 shaking 하고 560 nm에서 흡광도를 측정하였다.

$$\%\ \text{inhibition} = \left(1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Control absorbance average}}\right) \times 100$$

통계처리

측정된 결과는 SPSS program(18.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석을 실시한 후 유의적 차이가 있는 경우 다중비교분석법인 Duncan's multiple range test를 활용하여 유의수준 $P<0.05$에서 비교하였다. Pearson 상관계수 역시 SPSS program(18.0, SPSS Inc.)을 이용하여 이변량 상관계수를 활용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 비교

토종 및 외래종 복분자의 물 또는 에탄올 추출물의 폴리페놀 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 외래종 복분자의 경우 50% 에탄올 추출물에서 총 폴리페놀 함량이 46.97± 2.79 mg/g으로 가장 높았으며, 토종 복분자는 물 추출물에서 31.00±1.49 mg/g으로 가장 높은 함량을 보였다. 전체적으로 외래종 복분자의 총 폴리페놀 함량이 토종 복분자에 비해 유의적으로 높은 것을 알 수 있었다.

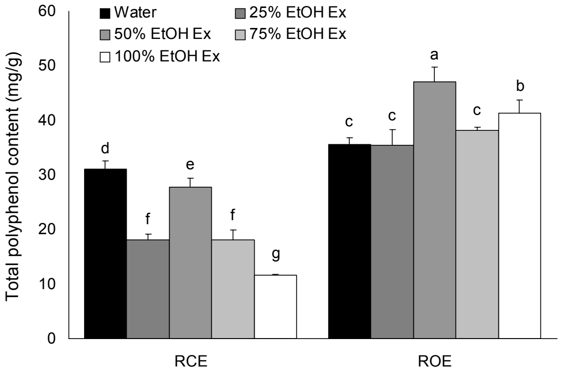

Fig. 1. Total polyphenol content of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*. Different letters on bars mean significant differences by Duncan's multiple range test ($P<0.05$, n=3). RCE: ethanol extract of *Rubus coreanus*, ROE: ethanol extract of *Rubus occidentalis*.

에탄올 추출 농도에 따른 토종 및 외래종 복분자의 총 플라보노이드 함량을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 외래종 50%, 75%, 100% 에탄올 추출물(11.78±0.81 mg/g, 10.91±1.17 mg/g, 11.78±0.19 mg/g)에서 총 플라보노이드 함량이 가장 높았다. 토종 복분자 중에는 0%, 50% 에탄올 추출물(4.32±0.19 mg/g, 4.63± 0.37 mg/g)에서 함량이 높았다. 총 플라보노이드 함량 역시 외래종 복분자가 토종 복분자에 비해 2배 정도 높은 함량을 가지고 있음을 본 실험에서 확인할 수 있었다. Yang 등(13)의 연구에서는 복분자의 주요 지표성분으로 알려진 ellagic acid의 함량을 성숙도에 따라 비교하였다. 이 결과에서는 토종 복분자 중 half ripened 복분자의 에탄올 추출물이 유의하게 높은 ellagic acid 함량을 보이고 이외의 추출물에서는 복분자의 성숙도에 관계없이 유사한 함량을 보이고 있었다. 이번 연구에서는 특정한 화합물이 아닌 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드를 비교한 결과로서 본 연구에서 사용한 성

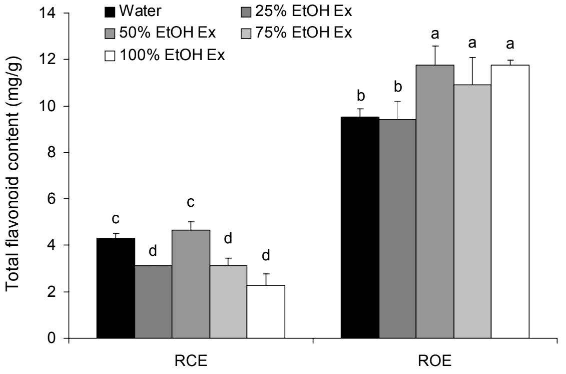

Fig. 2. Total flavonoid content of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*. Different letters on bars mean significant differences by Duncan's multiple range test ($P<0.05$, n=3). RCE: ethanol extract of *Rubus coreanus*, ROE: ethanol extract of *Rubus occidentalis*.

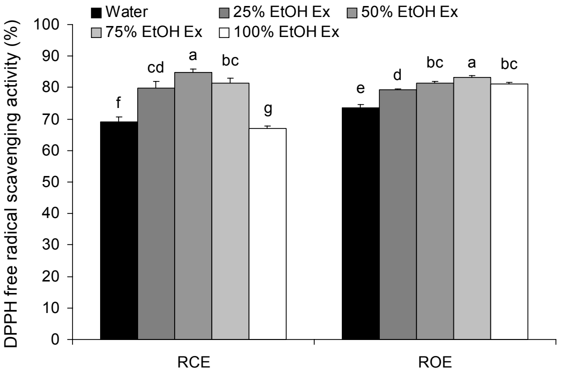

Fig. 3. DPPH free radical scavenging activities of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*. Different letters on bars mean significant differences by Duncan's multiple range test (P<0.05, n=3). RCE: ethanol extract of *Rubus coreanus*, ROE: ethanol extract of *Rubus occidentalis*.

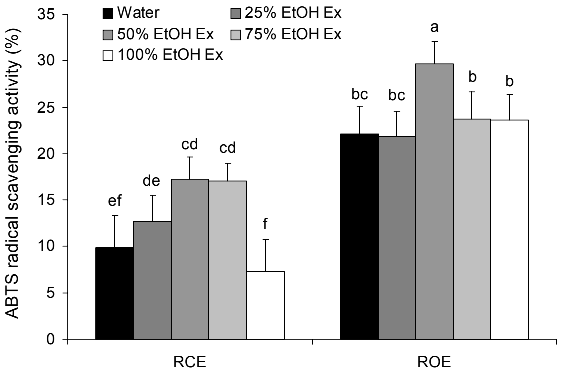

Fig. 4. ABTS radical scavenging activities of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*. Different letters on bars mean significant differences by Duncan's multiple range test (P<0.05, n=3). RCE: ethanol extract of *Rubus coreanus*, ROE: ethanol extract of *Rubus occidentalis*.

숙한 복분자에는 토종 복분자에 비해 외래종 복분자의 플라보노이드 함량이 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 ellagic acid가 주요한 복분자의 플라보노이드 성분이라 하더라도 다른 생리활성이 높은 플라보노이드가 많이 함유되어 있는 것으로 추정되므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

DPPH 라디칼 소거 활성 비교

DPPH는 비교적 안정한 free radical로 ascorbic acid, tocopherol, polyhydroxy 방향족 화합물, 방향족 아민류에 의해 환원되어 보라색이 탈색되는 원리를 이용하여 항산화 활성을 측정하는 방법으로써(22) 식물 추출물의 항산화 활성을 간단하게 측정할 수 있어 많이 이용되는 방법이다(23). 에탄올 추출 농도에 따른 토종 및 외래종 복분자의 DPPH 라디칼 소거 활성을 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 토종 복분자의 경우 50% 에탄올 추출물(84.8±2.15%)에서 DPPH 라디칼 소거 활성이 가장 높았다. 외래종 복분자 중에서는 75% 에탄올 추출물(83.17±0.62%)에서 DPPH 라디칼 소거 활성이 높았다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 결과와는 다르게 토종 및 외래종 복분자 모두 모든 추출물에서 유사한 DPPH 라디칼 소거 활성을 보였다. 페놀성 화합물의 hydroxyl group은 DPPH와 반응하기 쉬운 입체구조를 갖는 것으로 알려져 있는데(24), hydroxyl group의 위치와 개수 등에 따라 화합물들의 항산화능에 차이가 난다고 알려져 있다(25). 따라서 총 폴리페놀 함량과 DPPH 결과와의 차이는 복분자 추출물들에 함유되어 있는 폴리페놀들의 종류에 따라 나타나는 것으로 판단된다.

ABTS 라디칼 소거 활성 비교

ABTS는 peroxyl radical이나 산화제에 의해 양이온 radical로 산화되며(26), 이때 추출물에 존재하는 항산화 물질이 peroxyl radical이나 산화제의 역할을 한다. 토종 복분자와 외래종 복분자 추출물의 ABTS 라디칼 소거능을 비교한 결과는 Fig. 4와 같다. 외래종 복분자 50% 에탄올 추출물(29.65±2.41%)에서 ABTS 라디칼 소거 활성이 가장 높았다. 토종 복분자 중에는 50%, 75% 에탄올 추출물(17.23±2.39%, 17.08±1.85%)에서 비교적 높은 ABTS 라디칼 소거 활성을 보였다. 토종 복분자 추출물들과 외래종 복분자 추출물들의 ABTS 라디칼 소거 활성을 비교해 보면 모든 추출물에서 외래종 복분자의 ABTS 라디칼 소거 활성이 토종 복분자에 비해 유의적으로 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 DPPH 라디칼 소거 활성과는 다르게 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량의 결과와 일치하는 경향을 보임을 확인할 수 있었다.

FRAP assay

FRAP value의 측정에서는 추출물에 존재하는 항산화 물질이 산화제로 작용해 산화-환원 반응에 사용된다. Ferric 2,4,6-tripyridyl-S-triazine의 $[Fe(III)-(TPTZ)_2]^{2+}$ 화합물은 산화-환원 반응에 의해 파란색을 띠는 ferrous complex $[Fe(III)-(TPTZ)_2]^{3+}$로 변한다(27). 이 파란색은 593 nm에서 흡광도 측정이 가능하다. 측정된 파란색의 강도는 추출물의 항산화 물질 양과 관련이 있다(28). 에탄올 농도에 따른 토종 및 외래종 복분자 추출물의 FRAP value 분석을 한 결과는 Fig. 5와 같다. FRAP value와 환원력은 비례하며 FRAP value가 높을수록 항산화능이 높다. ABTS에서와 마찬가지로 외래종 복분자 50% 에탄올 추출물(0.49±0.02%)에서 FRAP value가 가장 높았으며 전반적으로 외래종 복분자의 FRAP value가 토종 복분자의 FRAP value보다 높았다. 반면 토종 복분자의 경우 ABTS와 다르게 물 추출물(0.23±0.02%)에서 FRAP value가 높았다. Jun 등(29)의 연구에서는 60% 아세톤으로 복분자를 추출한 결과 또한 물분획물의 reducing power가 가장 높았다. 본 연구에서는 ABTS와 FRAP의 결과가 다른 경향을 보였다. 이는 식물체 내에 있는 다양한 항산화 성분들이 그들의 특성에 따라 다른 항산화 활성을 나타낼 수 있기 때문(30)으로 보인다.

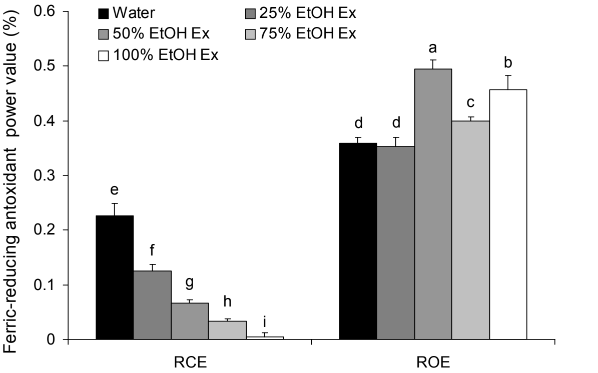

Fig. 5. Ferric-reducing antioxidant power value of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*. Different letters on bars mean significant differences by Duncan's multiple range test (P<0.05, n=3). RCE: ethanol extract of *Rubus coreanus*, ROE: ethanol extract of *Rubus occidentalis*.

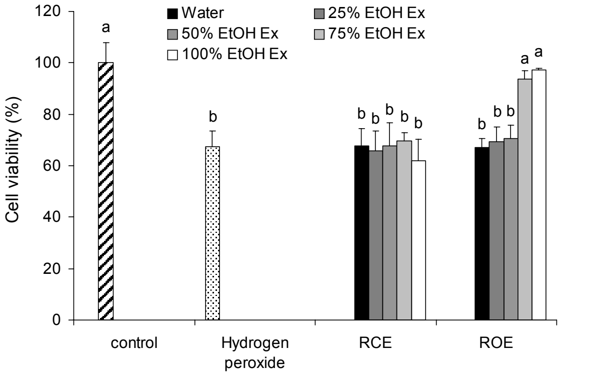

Fig. 6. Protective effects of *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis* on Caco-2 cell against oxidative stress caused by H_2O_2 (2 mM) in MTT reduction assay. Different letters on bars mean significant differences by Duncan's multiple range test (P<0.05, n=3). RCE: ethanol extract of *Rubus coreanus*, ROE: ethanol extract of *Rubus occidentalis*.

과산화수소에 의한 장세포 산화스트레스 보호

장세포에서의 산화스트레스 보호 효과를 확인하기 위해 토종 및 외래 복분자 추출물을 미리 처리한 다음 과산화수소수로 산화스트레스를 유발한 후 세포의 생존율을 비교하였다. 대조군에 비해서 과산화수소군의 세포 생존력이 유의하게 감소하고, 외래종 75%, 100% 에탄올 추출물을 미리 처리한 군에서 각각 93.54±3.37%, 97.19±0.74%로 유의하게 높은 세포 생존율을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 이는 총 플라보노이드 함량 및 환원력 결과와 일치하는 경향을 보임을 알 수 있다. 외래종 복분자 75% 및 100% 에탄올 추출물은 비교적 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 높았던 추출물들로서 ABTS, DPPH, FRAP assay에서도 높은 항산화능을 보인 추출물이다.

항산화 성분과 항산화 활성의 상관관계

항산화 활성을 평가하는 *in vitro* 방법은 기전에 따라 크게 5가지 유형으로 수소공여기전, 금속이온 킬레이팅, 일중항산소 제거기전, 산소 소거기전 및 항산화성 효소기전 등으로 나누어 볼 수 있다(31,32). 본 연구에서는 두 가지 복분자의 항산화 성분과 항산화 활성 및 세포독성을 평가하였으며, 실험 결과를 바탕으로 항산화 성분과 각 항산화 활성에 대한 상관관계를 비교하였다(Table 1). ABTS, FRAP 및 세포독성 실험에 대해서는 P-value가 0.01 수준에서 유의하고 DPPH에 관해서는 0.05 수준에서 유의한 것으로 나타나 이들 방법들 모두 총 폴리페놀 및 플라보노이드 성분들과 유의하게 양의 상관관계를 보이는 것으로 확인되었다. 특히 이들 항산화 활성 방법 중 FRAP value가 총 플라보노이드와 폴리페놀 함량과 0.9 이상의 높은 상관관계를 보이는 것으로 확인되었다.

요 약

본 연구에서는 토종 복분자와 외래종 복분자의 항산화 활성과 장세포 산화스트레스 보호의 차이를 알아보기 위해 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능, FRAP assay를 이용한 환원력을 비교 조사하였고, 사람의 장내 세포인 Caco-2 cell에 과산화수소를 이용하여 자극시켜 장세포 산화스트레스 보호를 확인하였다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 외래종 복분자가 유의적으로 높은 것으로 나타났다. ABTS 라디칼 소거능과 FRAP assay을 이용한 환원력에서도 외래종 복분자가 유의적으로 높은 것으로 나타났으나 DPPH 라디칼 소거능은 토종과 외래종 복분자 모두 비슷하게 나타났다. 장세포 산화스트레스 보호 역시 외래종 복분자가 유의적으로 높게 나타났다. 항산화 성분과 항산화 활성의 상관관계는 모두 유의하게 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났으며, FRAP value가 가장 높은 상관관계를 보이는 것으로 확인되었다. 따라서 FRAP value가 높았던 외래종 복분자 100% EtOH 추출물이 폴리페놀 함량, 플라보노이드 함량, ABTS 라디칼 소거능, DPPH 라디칼 소거능, 장세포 산화스트레스 보호능 모두 높은 추출물로 확인되었다.

Table 1. Pearson correlations between total polyphenol or flavonoids and *in vitro* antioxidant capacities

		DPPH	ABTS	FRAP	Cell viability
Total polyphenol	Pearson correlation	0.363	0.809	0.931	0.510
	P-value	0.049	0.000	0.000	0.004
Total flavonoid	Pearson correlation	0.334	0.824	0.955	0.614
	P-value	0.036	0.000	0.000	0.000

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Bae GH. 2000. *The medicinal plants of Korea*. Kyohak Publishing Co., Seoul, Korea. p 231.
2. Pang KC, Kim MS, Lee MW. 1996. Hydrolyzable tannins from the fruits of *Rubus coreanum*. *Kor J Pharmacogn* 27: 366-370.
3. Lee MW. 1995. Phenolic compounds from the leaves of *Rubus coreanum*. *Yakhak Hoeji* 39: 200-204.
4. Lee YA, Lee LM. 1995. Tannins from *Rubus coreanum*. *Kor J Pharmacogn* 26: 27-30.
5. Bogs J, Downey MO, Harvey JS, Ashton AR, Tanner GJ, Robinson SP. 2005. Proanthocyanidin synthesis and expression of genes encoding leucoanthocyanidin reductase and anthocyanidin reductase in developing grape berries and grapevine leaves. *Plant Physiol* 139: 652-663.
6. Koundouras S, Marions V, Gkoulioti A, Kotseridis Y, van Leeuwen C. 2006. Effects on wine phenolic and aroma components. *J Agric Food Chem* 54: 5077-5086.
7. Watson R, Wright CJ, Mcburney T, Taylor AJ, Linforth RS. 2002. Influence of harvest date and light integral on the development of strawberry flavour compounds. *J Exp Bot* 53: 2121-2129.
8. Moon GS. 1991. *Constituents and uses of medicinal herbs*. Ilweolseogak, Seoul, Korea. p 310-311.
9. Wang SY, Lin HS. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *J Agric Food Chem* 48: 140-146.
10. Liu Z, Schwimer J, Liu D, Greenway FL, Anthony CT, Woltering EA. 2005. Raspberry extract and fractions contain angiogenesis inhibitors. *J Agric Food Chem* 53: 3909-3951.
11. Stoner GD, Chen T, Kresty LA, Aziz RM, Reinemann T, Nines R. 2006. Protection against esophageal cancer in rodents with lyophilized berries: potential mechanisms. *Nutr Cancer* 54: 33-46.
12. Kim JM. 2011. Characteristics of *Rubus coreanus* Miq. fruits at different ripening stages. *Korean J Food Sci Technol* 43: 341-347.
13. Yang HM, Lim SS, Lee YS, Shin HK. 2007. Comparison of the anti-inflammatory rffects of the extracts from *Rubus coreanus* and *Rubus occidentalis*. *Korean J Food Sci Technol* 39: 342-347.
14. Lee S, You Y, Kim K, Park J, Jeong C, Jhon DY, Jun W. 2012. Antioxidant activities of native Gwangyang *Rubus coreanus* Miq. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 327-332.
15. Park Y, Choi S, Kim SH, Han JG, Chung HG. 2007. Changes in antioxidant activity, total phenolics and vitamin C content during fruit ripening in *Rubus occidentalis*. *Korean J Plant Res* 20: 461-465.
16. Hayes JE, Allen P, Brunton N, O'Grady MN, Kerry JP. 2011. Phenolic composition and *in vitro* antioxidant capacity of four commercial phytochemical product: olive leaf extract (*Olea europaea* L.), lutein, sesamol and ellagic acid. *Food Chem* 126: 948-955.
17. Mandrioli R, Mercolini L, Ferranti A, Fanali S, Raggi MA. 2011. Determination of aloe emodin in *Aloe vera* extracts and commercial formulations by HPLC with tandem UV absorption and fluorescence detection. *Food Chem* 126: 387-393.
18. Marinova D, Ribarova F, Atanassova M. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *J Univ Chem Technol Metall* 40: 255-260.
19. Goupy P, Hugues M, Boivin P, Amiot MJ. 1999. Antioxidant composition and activity of barley (*Hordeum vulgare*) and malt extracts and of isolated phenolic compounds. *J Sci Food Agric* 79: 1625-1634.
20. Jeon YS, Jo BS, Park HJ, Kang SA, Cho YJ. 2012. Screening of biological activity of *Caragana sinica* extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1211-1219.
21. Benzie IF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239: 70-76.
22. Thongchai W, Liawruangrath B, Liawruangrath S. 2009. Flow injection analysis of total curcuminoids in turmeric and antioxidant capacity using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay. *Food Chem* 112: 494-499.
23. Zhang L, Liu C, Li D, Zhao Y, Zhang X, Zeng X, Yang Z, Li S. 2013. Antioxidant activity of an exopolysaccharide isolated from *Lactobacillus plantarum* C88. *Int J Biol Macromol* 54: 270-275.
24. Chen HJ, Ho CH. 1997. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *J Agric Food Chem* 45: 2374-2378.
25. Yang HY, Steele WF. 1958. Removal of excessive anthocyanin pigment by enzyme. *Food Technol* 12: 517-519.
26. Re R, Pellegrinni N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1996. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26: 1231-1237.
27. Loganayaki N, Suganya N, Manian S. 2012. Evaluation of edible flowers of agathi (*Sesbania grandiflora* L. Fabaceae) for *in vivo* anti-inflammatory and analgesic, and *in vitro* antioxidant potential. *Food Sci Biotechnol* 21: 509-517.
28. Joung CH, Bac YI, Prak SJ, Lee SK, Hur SJ. 2012. Antioxidant activity of aqueous extracts from three cultivars of guava leaf. *Food Sci Biotechnol* 21: 1557-1563.
29. Jun HI, Kim YA, Kim YS. 2014. Antioxidant activities of *Rubus coreanus* Miquel and *Morus alba* L. fruits. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 381-388.
30. Moure A, Cruz JM, Franco D, Domínguez JM, Sineiro J, Domínguez H, José Núñez M, Parajó JC. 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chem* 72: 145-171.
31. Yang HJ, Park MJ, Lee HS. 2011. Antioxidative activities and components of *Gardenia jasminoides*. *Korean J Food Sci Technol* 43: 51-57.
32. Lee MY, Yoo MS, Whang YJ, Jin YJ, Hong MH, Pyo YH. 2012. Vitamin C, total polyphenol flavonoid contents and antioxidant capacity of several fruit peels. *Korean J Food Sci Technol* 44: 540-544.