

# 품종을 달리한 오디 추출물의 Resveratrol 및 기능성 성분과 항산화 활성

최일숙<sup>1</sup> · 문용선<sup>2</sup> · 곽은정<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 식품영양학과, <sup>2</sup>영남대학교 원예생명과학과, <sup>3</sup>영남대학교 식품학부

## Composition of Resveratrol and Other Bioactive Compounds, and Antioxidant Activities in Different Mulberry Cultivars

IL Sook Choi<sup>1</sup>, Yong Sun Moon<sup>2</sup>, and Eun Jung Kwak<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, KyungHee University, Seoul 130-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Horticulture and Life Science, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

<sup>3</sup>Department of Food Science and Technology, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

**Abstract.** To develop high value added healthy functional resource from Korean mulberry, the bioactive compounds and antioxidant activities of three different mulberry cultivars were investigated and compared with blueberry and strawberry. Total phenolics, total flavonoids, and trans-resveratrol of ‘Daesungppong’ were the highest than the ‘Suwonppong’, whereas those of the strawberries were the lowest. In case of total anthocyanins, ‘Daesungppong’ was also the highest and followed by blueberry. The antioxidant activities of ‘Daesungppong’ using DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), ABTS (2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline -6-sulphonic acid), and FRAP (Ferric reducing antioxidant power) assays were the highest followed by ‘Suwonppong’. Meanwhile, there were no significant differences in the antioxidant activities between ‘Cheongilppong’ and blueberry, and the activities of strawberry were the lowest. Furthermore, there was a strong correlation ( $r = 0.764-0.897$ ) between DPPH, ABTS, and FRAP assays with the bioactive compounds such as total phenolics, total flavonoids, and total anthocyanins. Therefore, Korean mulberry, especially ‘Daesungppong’ demonstrated interesting biological properties that suggest its use as a potential source and high value added of natural antioxidant compounds and antioxidant activity.

**Additional key words:** free radical scavenging activity, total anthocyanins, total flavonoids, total phenolics

## 서 언

인체는 생명유지에 필요한 에너지를 생산하기 위해 호흡과정을 통한 산소의 이용이 필수적이지만 이들 산소의 일부는 활성산소종(ROS, reactive oxygen species)이라는 활성이 강한 물질들로 전환되고, 이는 체 내 균형시스템에 의하여 조절된다. 그러나 과잉의 활성산소종이 형성되면 산화적 스트레스(oxidative stress)를 유발하여 신체의 장애를 일으키는 것으로 알려져 있다(Konić-Ristić et al., 2011). 활성산소종에는 일중항산소( $^1O_2$ ), superoxide( $O_2\cdot^-$ ), hydroxyl radical( $OH\cdot$ ) 등이 있으며 이들은 매우 불안정하므로 세포의 지질, 단백질, 핵산 등을 공격하여 세포기능을 손상시켜 그 결과 암, 염증, 심장질환 등의 질병이 발생하는 것으로 알려져 있다. 최근 노화와 다양

한 만성질환의 원인이 활성산소종에 기인한다는 학설이 인정됨에 따라 이들 활성산소종을 소거하는 항산화물질 및 이들 항산화물질을 다량 함유하는 소재에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다(Hogan et al., 2010; Konić-Ristić et al., 2011). 과실과 채소에는 유해한 활성산소종에 대해 보호작용이 있는 다수의 항산화물질을 함유하는 것으로 보고되었는데(Wang and Jiao, 2000), 특히 raspberry, 블루베리, 복분자와 같은 베리류는 polyphenol, phenolic acid, flavonoid, anthocyanin과 같은 항산화, 항염, 항암, 당뇨 등의 여러 만성질환에 유효한 효과를 나타내는 물질을 다량 함유하고 있다(Vinson et al., 2001).

베리류의 일종인 오디(*Morus alba*)는 뽕나무속(*Moraceae*), 뽕나무과(*Morous*)의 열매로서 한방에서는 상삼(桑椹), 상실(桑實), 오십(烏椹) 등으로 불린다. 성숙한 오디는 검은색

\*Corresponding author: kwakej@ynu.ac.kr

※ Received 17 February 2012; Revised 29 February 2012; Accepted 29 February 2012. 본 연구는 2009년 영남대학교 교비지원으로 수행되었음.

또는 자홍색을 띄며 5-6월에 채취하여 식용이나 약용에 이용하였다. 고의서인 동의보감(東醫寶鑑)에서는 오디의 효능이 ‘달고 차며 독이 없다’, ‘오장과 관절을 이롭게 하고 혈기를 통하게 한다’, ‘백발을 검게 하며 소갈을 덜어주고 오장을 이롭게 하며 오래 먹으면 배가 고프지 않게 된다’라고 하였다(Kim et al., 1999). 최근에는 항염증, 항당뇨, 고지혈증 개선 및 혈압저하 기능 작용(Kim et al., 1996, 1998)이 있는 것으로 보고되었다.

오디의 당도는 10.4-15.9°Brix, 총산함량은 0.79-1.77g·100g<sup>-1</sup>으로 좋은 식미감을 가지며(Kim et al., 2006), 무기질과 비타민 C 등의 영양성분도 블루베리나 딸기 과실보다 높은 것으로 보고되었다(Kim et al., 2004). 총 anthocyanin 함량은 흑색계 과피를 갖는 포도의 anthocyanin 함량보다도 높으며(Chang et al., 2011) 그 밖에 모세혈관 강화능이 있는 rutin, resveratrol과 같은 생리기능성 물질도 다량 함유되어 있다. Resveratrol(*trans*-3,5,4'-trihydroxystilbene)은 여러 식물에 존재하는 파이토알렉신(phytoalexin) 계열의 polyphenol 물질로 혈소판응집 억제, 심혈관계질환 예방, 신경보호 작용, 항암 효과, 항비만 효과 등을 가지며, 포도껍질, 블루베리, 땅콩 등의 식물에서 발견된다. 최근에는 장수유전자를 활성화하는 물질로도 알려져 이에 대한 연구가 이루어지고 있다(Baur et al., 2006). 그러나 오디는 과피가 연하여 쉽게 물러지고 부패가 용이하므로 기능성 및 천연색소 소재로의 활용에 대한 관심이 증가하고 있다.

본래 뽕나무는 양산산업을 위해 재배되어 왔으나 중국 등지에 비해 경쟁력이 떨어지면서 뽕나무의 잎 대신 부산물 정도로 이용되어 오던 오디의 생리기능성이 점차 알려짐에 따라 오디 생산량이 늘어나게 되었다. 증가된 생산량만큼 수요를 지속적으로 증가시키기 위해서 오디와 통상 이용되고 있는 과실의 기능성이나 생리활성 물질의 함량차이를 비교해 봄에 따라 오디의 우수성을 널리 알릴 필요가 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서는 ‘대성뽕’, ‘수원뽕’, ‘청일뽕’ 오디 및 최근 국내에서도 소비량이 증가하고 있는 블루베리, vitamin C를 비롯한 phenol성 물질의 함유량이 높은 딸기 과실을 시료로 사용하여 이들 과실의 60% 에탄올 추출물의 phenol성 물질, flavonoid, resveratrol과 같은 기능성 성분의 함량 및 항산화능을 측정하고 비교해 봄으로써 오디의 건강기능성 자원으로서의 가치를 높여 이용성을 증가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에 사용한 ‘대성뽕’, ‘수원뽕’, ‘청일뽕’ 품종 오디

는 경북 상주시 공성면 고도 160m에 위치한 오디농장에서 재배한 것을 생산지에서 직접 구입하여 냉동보관하면서 사용하였다. ‘대성뽕’, ‘수원뽕’, ‘청일뽕’의 수령은 모두 8년생이며, 매일 3-4시간씩 점점관수하면서 재배되었다. ‘수원뽕’과 ‘청일뽕’은 2011년 6월 15일에, ‘대성뽕’은 7월 2일 수확한 것으로 수확 이틀 전까지 비가 오지 않았다. 그 밖에 블루베리와 딸기는 냉동된 제품을 구입하여 냉동보관하면서 사용하였다. 블루베리는 미국산(Treasure Valley Food Group, USA)이고, 딸기는 ‘설향’ 품종으로 충남 논산시 부적면에 위치한 시설재배지에서 2010년 9월 초에 정식하여 2011년 3월 초에 수확한 것(하늘땅영농조합법인)이다. 시료 과실의 중량, 길이, 과실흑은 실온에서 해동한 즉시 20개를 임의로 선정하여 측정하였다. 또한 시료 과실의 가용성 고형분 함량은 균질하게 한 후 굴절당도계(Atago, Japan)를 이용하여 측정하였고, pH는 pH meter를 사용하여 측정하였고, 총 유기산함량은 0.1N NaOH로 적정하여 citric acid로 환산하여 표시하였다.

### 시료 추출물의 제조

시료 추출물은 균질화한 시료 과실 8g에 60% ethanol 32mL를 가해 실온에서 100 rpm의 속도로 혼합기(SeoulLin Bioscience, Korea)를 사용하여 3회 반복하여 추출하였다. 추출물은 감압, 농축하여 에탄올을 제거한 후 동결건조하였다.

### 측정방법

총 phenol성 화합물 함량은 Arnou et al.(2001)의 방법에 의해 Folin-Ciocalteu 용액(Sigma-Aldrich, USA)을 사용하여 750nm에서 흡광도를 측정한 후 gallic acid(Sigma-Aldrich, USA)를 표준물질로 하여 구하였다. 총 flavonoid 함량은 Shen et al.(2009)의 방법에 의해 415nm에서 흡광도를 측정한 후 quercetin(Sigma-Aldrich, USA)을 표준물질로 하여 구하였다. 총 anthocyanin 함량은 다음의 식으로부터 구하였다(Moyer et al., 2002). Contents of total anthocyanin(mg·g<sup>-1</sup>) = [(A × MW × 10<sup>3</sup> × dilution factor)]/ε. A = (A<sub>520</sub>-A<sub>700</sub>)pH<sub>1.0</sub> - (A<sub>520</sub>-A<sub>700</sub>)pH<sub>4.5</sub>. ε = molar extinction coefficient for cyaniding-3-glucoside(26,900). MW = molecular weight of cyaniding-3-glucoside(449.2g·mol<sup>-1</sup>). 이들 총 phenol성 화합물, 총 flavonoid, 총 anthocyanin 함량은 mg·100g<sup>-1</sup> FW(fresh weight)로 나타내었다. 또한 시료 추출물을 1mg·mL<sup>-1</sup>의 농도로 용해한 후 visible spectra(UV-1800, Shimazu, Japan)를 350-700nm에서 측정하였다. 시료 추출물의 *trans*-resveratrol 함량은 Trela and Waterhouse(1996)의 방법에 따라 측정하였다. 즉 Agilent TC-C18(2) column(5μm, 4.6 × 150mm)을 사용

하였고, 용리액은 water를 A용매로, methanol을 B용매로 하여 UV detector(Agilent 1100 Series, Agilent Technologies Inc., CA, USA)를 사용하여 306nm에서 HPLC(Agilent 1100 Series, Agilent Technologies Inc., CA, USA)를 이용하여 측정된 후  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  FW로 나타내었다.

DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical 소거능은 Brand-Willians et al.(1995)의 방법을 응용하여 흡광도의 변화를 517nm에서 측정하고 다음의 식에 의해 구하였다. Free radical scavenging capacity(%) =  $[(A_{\text{control}}-A_{\text{sample}})/A_{\text{control}}] \times 100$ . ABTS(2,2'- azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) radical 소거능은 Re et al.(1999)의 방법에 의하여 흡광도의 변화를 734nm에서 측정하고, Trolox(Sigma-Aldrich, USA)를 표준물질로 사용하여  $\mu\text{M}$  Trolox equivalent(TE)· $\text{g}^{-1}$  FW로 표시하였다. FRAP(Ferric reducing antioxidant power) 법에 의한 항산화력은 Benzie and Strain(1996)의 방법에 따라 상온의 암실에서 30분간 반응시킨 후 흡광도의 변화를 593nm에서 측정하고 Trolox를 표준물질로 사용하여  $\mu\text{M}$  TE· $\text{g}^{-1}$  FW로 표시하였다.

### 통계처리

실험결과의 유의성은 SPSS 12.0 version에 의해 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며,  $P = 0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test로 검정하였다. 측정값 간의 Pearson 상관계수는 SPSS 12.0 version을 사용하여 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 시료과실 특성

오디의 크기특성을 알아보기 위해 측정된 중량, 길이, 과실폭은 '대성뽕', '수원뽕', '청일뽕'의 순으로 높았다(Table 1). Kim et al.(2010)의 보고에서 '대성뽕', '청일뽕'의 중량은 6.38g, 2.11g으로 나타나 본 시료보다 높았으나, '대성뽕'은 7종 공시오디 중 가장 큰 품종으로 나타났다.

오디의 가용성 고형분 함량은 '수원뽕'과 '청일뽕'이 16.0%와 15.0%로 높았고 '대성뽕'(8.50%)은 '수원뽕'의 1/2정도로 낮았다(Table 1). pH는 '수원뽕'이 5.99로 가장 높았고, 다음으로 '청일뽕'과 '대성뽕'은 유사한 수준으로 블루베리나 딸기 과실보다 높았다. 오디의 총산 함량은 0.30-0.33%의 범위로 이는 pH 값이 낮은 딸기 과실의 1/3정도였다. 이 같은 결과는 오디가 다른 베리류 과실보다 알칼리성 mineral 함유량이 높기 때문인 것으로 사료되는데, Kim et al.(2004)은 '4배성 휘커스' 오디 품종의 Ca 함량의 경우 블루베리의 2배, P의 함량은 딸기와 블루베리보다 각각 2.35배, 4배나 높았으며, Fe 함량은 딸기와 블루베리보다 각각 12배, 30배나 다량 함유하는 것으로 보고하였다. 한편 시료 과실 추출물의 건조 후 계산된 수율은 딸기 과실이 6.47%로 가장 낮았고, 오디와 블루베리는 9.61-12.59%로 나타났다(Table 1).

### 기능성 성분 함량

시료 추출물의 총 phenol성 화합물 함량은 '대성뽕'이 543.70  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 로 가장 높았고, 다음은 '수원뽕'이 417.85  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 로 높았다. 이어서 블루베리 356.56  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ , '청일뽕' 305.57  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 의 순이었으며, 딸기 과실은 184.50  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 로 가장 낮았다(Table 2). '대성뽕'은 오디생산용 품종으로 선발 및 육성되어 2004년에 명명된 오디 품종으로, '청일뽕'보다 cyanidine-3-glucose, rutin, amino acid를 다량 함유하는 것으로 보고되었다(Sung et al., 2007). Kim et al.(2010)의 결과에서도 건조오디의 총 phenol성 화합물 함량은 '과상1호'(2.25%)와 '대성뽕'(2.24%)이 유사한 수준으로 높았고, '청일뽕'(0.99%)은 '대성뽕'의 44% 정도로 낮았다. '파천시뽕', '화조십문자', '수원노상', '자상' 품종 오디의 총 phenol성 화합물 함량은 223.6-257.0  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  FW, '목상' 품종 오디는 95.9  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  FW(Bae and Suh, 2007), 중국산 오디는 344  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  FW로 '대성뽕'보다 현저히 낮았다(Lou et al., 2012). 또한 미국 내 블루베리 농장에서 재배된 블루베리의 총 phenol성 화합물은 313  $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  FW(Zheng

**Table 1.** Characteristics of 3 different mulberry cultivars, blueberry, and strawberry fruit.

Sample	Cultivated place	Fruit weight <sup>z</sup> (g)	Fruit length <sup>z</sup> (mm)	Fruit width <sup>z</sup> (mm)	Soluble solids <sup>y</sup> (°Brix)	Total acids <sup>y</sup> (%)	pH <sup>y</sup>	Yield (%)
Daesungppong	Korea, Sangju	5.47 b	28.47 b	17.30 b	8.50 c	0.30 c	5.42 b	9.61
Suwonppong	Korea, Sangju	1.97 c	21.80 c	10.99 c	16.00 a	0.33 c	5.99 a	12.59
Cheongilppong	Korea, Sangju	1.50 c	19.31 d	10.50 c	15.00 a	0.33 c	5.44 b	10.81
Blueberry	USA	0.91 d	9.62 e	10.17 c	13.20 b	0.53 b	3.42 d	10.63
Strawberry	Korea, Nonsan	12.49 a	30.73 a	25.46 a	8.80 c	0.94 a	3.71 c	6.47

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$  ( $n = 20$ ).

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$  ( $n = 3$ ).

**Table 2.** Total phenolics, total flavonoids, and total anthocyanins of 3 different mulberry cultivars, blueberry, and strawberry fruit.

Sample	Total phenolics (mg·100 g <sup>-1</sup> FW)	Total flavonoids (mg·100 g <sup>-1</sup> FW)	Total anthocyanins (mg·100 g <sup>-1</sup> FW)
Daesungppong	543.70 a <sup>2</sup>	60.28 a	206.60 a
Suwonppong	417.85 b	46.50 b	98.31 c
Cheongilppong	305.57 d	32.22 c	57.45 d
Blueberry	356.56 c	29.13 d	138.80 b
Strawberry	184.50 e	14.95 e	9.01 e

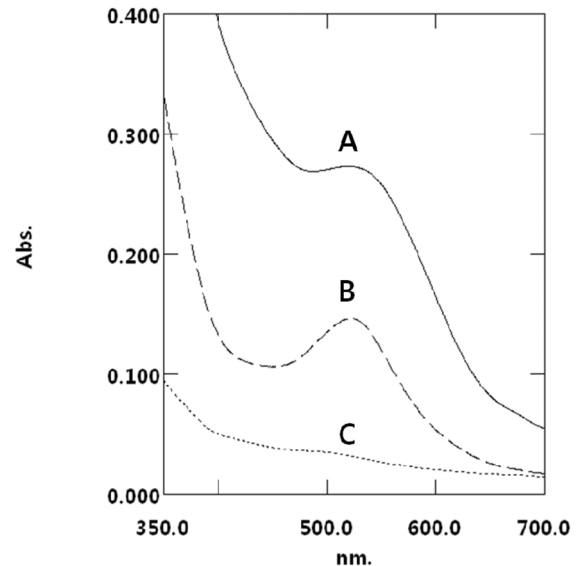
<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05 (n = 3).

et al., 2003)로 본 결과와 유사하였다. Pincemail et al.(2012)은 딸기 과실의 총 phenolic 화합물이 160-594mg·100g<sup>-1</sup> FW로 품종에 따라 함량의 차이가 크다고 하였는데, 본 공시 딸기 과실의 경우 184.50mg·100g<sup>-1</sup> FW로 보고된 범위 내의 함량으로 나타났다.

총 flavonoid 함량은 ‘대성뽕’이 60.28mg·100g<sup>-1</sup> FW로 가장 높았고, 이어서 ‘수원뽕’, ‘청일뽕’의 순으로 높았으며, 딸기 과실은 가장 낮았다(Table 2). Kim et al.(2010)도 건조 오디의 총 flavonoid 함량을 측정된 결과 ‘대성뽕’과 ‘과상1호’가 동일하게 0.34%로 7종 공시 오디 중 가장 높았고, ‘청일뽕’은 0.13%로 낮았다고 보고하였다. 한편 중국산 오디의 총 flavonoid 함량은 30mg·100g<sup>-1</sup> FW로 ‘대성뽕’의 1/2 정도로 낮았다(Chen et al., 2011).

총 anthocyanin 함량은 ‘대성뽕’이 206.60mg·100g<sup>-1</sup> FW로 가장 높았고, 블루베리 138.80mg·g<sup>-1</sup> FW, ‘수원뽕’ 98.31mg·100g<sup>-1</sup> FW의 순으로 높았다(Table 2). Bae and Suh(2007)는 ‘파천시뽕’, ‘화조십문자’, ‘수원노상’ 품종 오디의 총 anthocyanin 함량이 각각 122.93, 205.73, 159.93 mg·100g<sup>-1</sup> FW로 보고하였고, Park et al.(1997)은 10종 공시 품종 중 ‘자상’이 328.70mg·100g<sup>-1</sup> FW로 가장 높고, ‘백원’, ‘국상’ 품종은 각각 25.90, 18.84mg·100g<sup>-1</sup> FW로 매우 낮아 오디 품종간 anthocyanin 함량의 차이가 크다고 하였다. Anthocyanin 함량이 높아 건강기능성 과실로 알려진 블루베리는 138.80 mg·100g<sup>-1</sup> FW의 anthocyanin을 함유하였으며, 이는 ‘대성뽕’의 67% 정도에 해당하였다.

Anthocyanin은 항산화적 생리활성 물질이면서 식물의 색소성분으로 spectrum 측정 시, 500-550nm에서 최대 흡수파장을 나타낸다. ‘대성뽕’의 높은 anthocyanin 함량을 spectrum을 이용하여 확인한 결과는 Fig. 1과 같다. ‘대성뽕’, 블루베리, 딸기 과실 추출물의 visible spectra에서 블루베리는 526nm에서 최대흡수를 갖는 것으로 나타났고, 이는 주요 anthocyanin인 delphinidin 3-glucoside( $\lambda_{max}$  = 526nm)에 기인하는 것으로 사료되었다(Obón et al., 2011). ‘대성뽕’은 블루베리와 달리 500-520nm 부근의 넓은 영역에서 흡수를



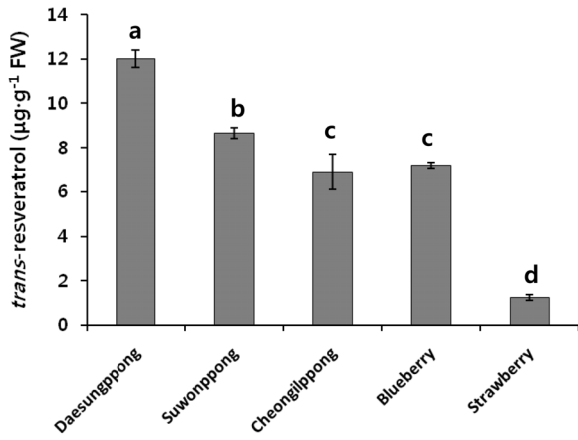
**Fig. 1.** Visible spectra of (A) ‘Daesungppong’, (B) blueberry, and (C) strawberry fruit extracts.

갖는 것으로 나타났는데, 최대흡수파장이 518nm인 cyanidin 3-glucoside 이외에도 500-520nm 범위에서 흡수를 갖는 다량의 색소성분들이 존재하기 때문인 것으로 추측되었다.

‘대성뽕’의 *trans-resveratrol* 함량이 12.01 $\mu$ g·g<sup>-1</sup> FW으로 가장 높았고, 다음으로 ‘수원뽕’(8.67 $\mu$ g·g<sup>-1</sup> FW), 블루베리(7.20 $\mu$ g·g<sup>-1</sup> FW), ‘청일뽕’(6.92 $\mu$ g·g<sup>-1</sup> FW)의 순으로 나타났으나, 블루베리와 ‘청일뽕’ 두 과실 간의 유의적인 차이는 없었다. 중국 등지에서 재배된 41종 오디의 *trans-resveratrol* 함량은 2.1-5.3 $\mu$ g·g<sup>-1</sup> FW의 범위로 국내산 오디 함량보다 현저히 낮았다(Song et al., 2009).

### 항산화 활성

DPPH radical을 이용한 방법은 항산화 물질의 전자공여능을 이용한 항산화 활성 측정법으로 phenolic 구조와 방향족 amine 화합물을 대상으로 주로 사용되고 있다. 시료 추출물의 DPPH free radical 소거능은 농도의존적으로 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2A). ‘대성뽕’의 소거능이 가장 높아 0.75mg·mL<sup>-1</sup>의 농도에서 DPPH free radical을 83%나 소거

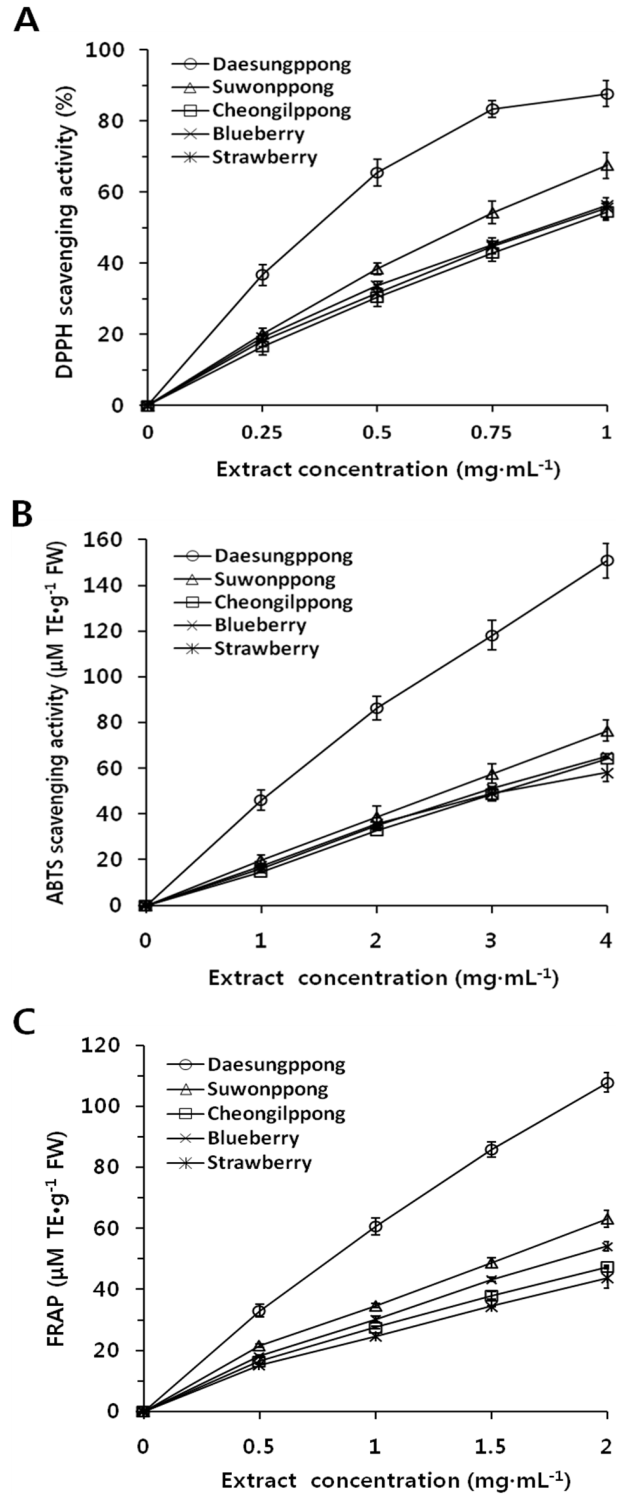


**Fig. 2.** *Trans-resveratrol* content of 3 different mulberry cultivars, blueberry, and strawberry fruit. Vertical bars show standard deviation of the means ( $n = 3$ ). Small letters inside the figure represent mean separation by Duncan's multiple range test at  $P = 0.05$ .

하는 것으로 나타났으나, 그 이상의 농도에서는 크게 증가하지 않았다. '수원뽕'은  $1\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 의 농도에서 67%의 소거능을 나타내었으나 '청일뽕', 블루베리, 딸기 과실의 소거능은 54.47-56.31%로 시료 간 차이가 없었으며, 이들 과실의 소거능은 '대성뽕'의 66-68% 수준이었다. 이 같은 결과는 시료 추출물의 총 phenol성 화합물, 총 flavonoid, 총 anthocyanin 함량과 관련이 있으며, 이들 성분의 함량이 높을수록 DPPH free radical 소거능이 증가하는 경향을 나타냈다.

ABTS free radical은 식품 중에 존재하는 항산화 물질과 결합하여 색을 변화시키는 성질이 있는데 이를 이용하여 넓은 pH 범위에서 수용성 및 지용성 항산화 물질이나 단일물 또는 추출물 등의 항산화력 측정에 사용할 수 있다(Re et al., 1999). 시료 추출물의 ABTS free radical 소거능도 DPPH radical 소거능과 동일하게 농도의존적으로 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2B). '대성뽕'의 ABTS 소거능이 각 농도에서 가장 높게 나타났고,  $4\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 의 농도에서 '대성뽕' ( $150.84\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )은 '수원뽕'( $76.48\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )의 2배에 달하였다. 동일 농도조건에서 '청일뽕'과 블루베리는 유사한 수준이었고, 딸기 과실은  $58.08\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 로 가장 낮았다. '대성뽕'의 ABTS free radical 소거능은 오렌지( $37.4\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}$ ), 레몬( $29.6\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}$ ), 바나나( $7.6\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )와 같이 널리 이용되고 있는 과일보다 현저히 높았다(Nilsson et al., 2005).

FRAP법에 의한 항산화 활성 측정법은 혈장의 환원력을 측정하기 위한 방법이었으나 식물의 항산화력 측정에도 이용되며, 낮은 pH에서 TPTZ(ferric 2,4,6-tripyridyl-s-triazine)가 환원력을 가진 시료에 의해 ferrous형으로 환원되는 원리를 이용한 방법으로 hydroxylation의 정도와 polyphenol에



**Fig. 3.** Antioxidant activities of 3 different mulberry cultivars, blueberry, and strawberry fruit. Vertical bars show standard deviation of the means ( $n = 3$ ). TE: Trolox equivalent. FW: fresh weight. A, DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) free radical scavenging activity; B, ABTS (2,2-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)) free radical scavenging activity; C, FRAP (ferric reducing antioxidant power).

결합하는 정도를 측정하는 것이다(Prior et al., 2005). 추출물의 농도가  $2\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 에서 '대성뽕'의 항산화력이  $107.82\mu\text{M}$

**Table 3.** Correlation coefficients (*r*) of total phenolics, total flavonoids, total anthocyanins, and antioxidant capacities of 3 different mulberry cultivars, blueberry, and strawberry fruit.

	Total phenolics	Total flavonoids	Total anthocyanins	DPPH	ABTS	FRAP
Total phenolics	1.000					
Total flavonoids	0.972**	1.000				
FRAP	0.895**	0.891**	0.865**	0.977**	0.973**	1.000

\*\*Significant at *P* = 0.01.

TE·g<sup>-1</sup> FW로 가장 높았고, 다음은 ‘수원뽕’ 63.12μM TE·g<sup>-1</sup> FW, 블루베리 54.14μM TE·g<sup>-1</sup> FW의 순으로 나타나 DPPH 및 ABTS radical 소거능의 결과와 일치하였다(Fig. 2C). Guo et al.(2003)은 중국산 오디의 FRAP치가 41.10μM TE·g<sup>-1</sup> FW라고 하였는데 이는 ‘청일뽕’과 유사한 결과이다. 본 연구에서는 블루베리의 FRAP치가 30.22μM TE·g<sup>-1</sup> FW로 미국산 블루베리 7.41-13.69μM TE·g<sup>-1</sup> FW보다는 높았으나, 야생 블루베리의 43.97μM TE·g<sup>-1</sup> FW보다 낮았다(Koca et al., 2009).

총 phenol성 화합물, 총 flavonoid, 총 anthocyanin 함량 및 DPPH free radical 소거능, ABTS 소거능, FRAP 방법에 의한 항산화 활성간의 상관관계는 Table 3과 같다. 총 phenol성 화합물은 총 flavonoid, 총 anthocyanin과 양의 상관관계를 나타냈으며, 상관계수는 각각 0.972, 0.931로 매우 높았다(*P* = 0.01). 또한 총 phenol성 화합물, 총 flavonoid, 총 anthocyanin 함량과 DPPH free radical 소거능, ABTS 소거능, FRAP에 의한 항산화 활성과도 높은 상관관계(*r* = 0.764-0.897)를 가지고 있는 것으로 나타났다(*P* = 0.01). 이 같은 결과는 Koca et al.(2009)의 베리류 과실의 항산화 성분과 항산화 활성과의 관계를 알아본 결과에서도 동일하게 나타났다. 또한 DPPH, ABTS, FRAP법에 의한 항산화 활성간에도 *r* = 0.961-0.977의 매우 높은 양의 상관관계를 나타냈다.

이상의 결과로부터 ‘대성뽕’ 품종의 오디는 보고된 국내 및 중국 품종의 오디와 비교 시 총 phenol성 화합물, 총 flavonoid, 총 anthocyanin 및 *trans-resveratrol*과 같은 생리 기능성 성분을 다량 함유하는 것이 입증되었다. 또한 ‘대성뽕’의 기능성 성분 함유량은 블루베리, 딸기 과실보다 높았고, free radical을 제거하는 항산화 활성 역시 다른 오디 품종 및 블루베리, 딸기 과실보다 현저히 높게 나타났다. 따라서 오디 품종 중 특히 ‘대성뽕’의 천연 항산화제나 기능성 식품소재로서의 우수성을 소비자에게 인식시키면 이의 수요 증진에 기여할 수 있을 것으로 사료되었다.

## 초 록

오디의 건강기능성 자원으로서의 가치를 높여 이용성을

증가하기 위해 ‘대성뽕’, ‘수원뽕’, ‘청일뽕’의 오디 3종과 함께 블루베리, 딸기를 시료로 사용하여 기능성 성분의 함량 및 항산화 활성을 측정하고 비교해 보았다. 시료 과실의 60% 에탄올 추출물의 총 phenol성 화합물, 총 flavonoid 함량 및 *trans-resveratrol* 함량은 ‘대성뽕’이 가장 높았고, 다음은 ‘수원뽕’이 높았으며, 총 anthocyanin 함량은 ‘대성뽕’ 다음으로 블루베리가 높았다. 공시된 과실 추출물의 DPPH 및 ABTS free radical 소거능, FRAP에 의한 항산화 활성은 총 phenol성 화합물, 총 flavonoid, 총 anthocyanin 함량과 비례하여 증가하는 경향이었으며, 항산화 활성과 기능성 성분간에는 높은 상관관계가 있었다. 국내산 ‘대성뽕’ 품종 오디는 국제적 건강기능성 과실인 블루베리보다도 기능성 성분과 항산화 활성이 현저하게 높아 이의 추출물은 기능성 식품소재로 이용하여 오디 소비 증진에 기여할 수 있을 것으로 생각되었다.

**추가 주요어 :** 유리기 소거 활성, 총 안토시아닌, 총 플라보노이드, 총 페놀성 화합물

## 인용문헌

- Arnous, A., D.P. Makris, and P. Kefalas. 2001. Effect of principal polyphenol components in relation to antioxidant characteristics of aged red wines. *J. Agric. Food Chem.* 49:5736-5742.
- Bae, S.H. and H.J. Suh. 2007. Antioxidant activities of five different mulberry cultivars in Korea. *LWT-Food Sci. Technol.* 40:955-962.
- Baur, J.A., K.J. Pearson, and N.L. Price. 2006. Resveratrol improves health and survival of mice on a high-calorie diet. *Nature* 444:337-42.
- Benzie, I.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239:70-76.
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28:25-30.
- Chang, S.W., H.J. Kim, J.H. Song, K.Y. Lee, I.H. Kim, and Y.T. Rho. 2011. Determination of several phenolic compounds in cultivars of grape in Korea. *Korean J. Food Preserv.* 18: 328-334.
- Chen, Z., C. Zhu, and Z. Han. 2011. Effects of aqueous chlorine

- dioxide treatment on nutritional components and shelf-life mulberry fruit (*Morus alba* L.). *J. Biosci. Bioeng.* 111:675-681.
- Guo, C., J. Yang, J. Wei, Y. Li, J. Xu, and Y. Jiang. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp, and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutr. Res.* 23:1719-1726.
- Hogan, S., H. Chung, L. Zhang, J. Li, Y. Lee, Y. Dai, and K. Zhou. 2010. Antiproliferative and antioxidant properties of anthocyanin-rich extract from acai. *Food Chem.* 118:208-214.
- Kim, A.J., M.W. Kim, N.Y. Woo, S.Y. Kim, H.B. Kim, Y.H. Kim, Y.H. Lim, and M.H. Kim. 2004. Study on the nutritional composition and antioxidative capacity of mulberry fruit (*Ficus-4x*). *Korean J. Food Sci. Technol.* 36:995-1000.
- Kim, E.O., Y.J. Lee, H.H. Leam, I.H. Seo, M.H. Yu, D.H. Kang, and S.W. Choi. 2010. Comparison of nutritional and functional constituents, and physicochemical characteristics of mulberries from seven different *Morus alba* L. cultivars. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39:1467-1475.
- Kim, H.B., H.S. Bang, H.W. Lee, Y.S. Seuk, and G.B. Sung. 1999. Chemical characteristics of mulberry syncarp. *Korean J. Seric. Sci.* 41:123-128.
- Kim, H.R., Y.H. Kwon, H.B. Kim, and B.H. Ahn. 2006. Characteristics of mulberry fruit and wine with varieties. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 49:209-214.
- Kim, S.Y., K.J. Park, and W.C. Lee. 1998. Antiinflammatory and antioxidative effects of *Morus* spp. fruit extract. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 6:204-209.
- Kim, T.W., Y.B. Kwon, J.H. Lee, I.S. Yang, J.K. Youn, H.S. Lee, and J.Y. Moon. 1996. A study on the antidiabetic effect of mulberry fruits. *Korean J. Seric. Sci.* 38:100-107.
- Koca, I. and B. Karadeniz. 2009. Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the black sea region of Turkey. *Sci. Hortic.* 121:447-450.
- Konić-Ristić, A., K. Šavikin, G. Zdunić, T. Janković, Z. Juranić, N. Menković, and I. Stanković. 2011. Biological activity and chemical composition of different berry juices. *Food Chem.* 125:1412-1417.
- Lou, H., Y. Hu, L. Zhang, P. Sung, and H. Lu. 2012. Nondestructive evaluation of the changes of total flavonoid, total phenols, ABTS, and DPPH radical scavenging activities, and sugars during mulberry (*Morus alba* L.) fruits development by chlorophyll fluorescence and RGB intensity values. *LWT-Food Sci. Technol.* 47:19-24.
- Moyer, R.A., K.E. Hummer, C.E. Finn, B. Frei, and R.E. Wrolstad. 2002. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *J. Agric. Food Chem.* 50:519-525.
- Nilsson, J., D. Pillai, G. Önning, C. Persson, Å. Nilsson, and B. Åkesson. 2005. Comparison of the 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid (ABTS) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods to assess the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetable. *Mol. Nutr. Food Res.* 49:239-246.
- Obón, J.M., M.C. Díaz-García, and M.R. Castellar. 2011. Red fruit juice quality and authenticity control by HPLC. *J. Food Compos. Anal.* 24:760-771.
- Park, S.W., Y.S. Jung, and K.C. Ko. 1997. Quantitative analysis of anthocyanins among mulberry cultivars and their pharmacological screening. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:722-724.
- Pincemail, J., C. Kevers, J. Tabart, J.O. Defraigne, and J. Dommes. 2012. Cultivars, culture conditions, and harvest time influence phenolic and ascorbic acid contents and antioxidant capacity of strawberry (*Fragaria × ananassa*). *J. Food Sci.* 77:C205-210.
- Prior, R.L., X. Wu, and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53:4290-4302.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26:1231-1237.
- Shen, Y., L. Jin, P. Xiao, Y. Lu, and J. Bao. 2009. Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size, and weight. *J. Cereal Sci.* 49:106-111.
- Song, W., H.J. Wang, P. Bucheli, P.F. Zhang, D.Z. Wei, and Y.H. Lu. 2009. Phytochemical profiles of different mulberry (*Morus* sp.) species from China. *J. Agric. Food Chem.* 57:9133-9140.
- Sung, G.B., H.B. Kim, I.P. Hong, S.H. Nam, and I.M. Chung. 2007. Characteristics of newly bred mulberry cultivar Daesungppong (*Morus Lhou* (Ser.) Koidz.) for mulberry fruit production. *Korean J. Seric. Sci.* 49:56-59.
- Trela, B.C. and A.L. Waterhouse. 1996. Resveratrol: Isomeric molar absorptivities and stability. *J. Agric. Food Chem.* 44:1253-1257.
- Vinson, J.A., X. Su, L. Zubik, and P. Bose. 2001. Phenol antioxidant quantity and quality in Foods: Fruits. *J. Agric. Food Chem.* 49:5315-5321.
- Wang, S.Y. and H. Jiao. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *J. Agric. Food Chem.* 48:5677-5684.
- Zheng, Y., C.Y. Wang, S.Y. Wang, and W. Zheng. 2003. Effect of high-oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 51:7162-7169.