

## 시판 천연 과일주스와 채소주스의 항산화능과 임파구 DNA 손상 방지 효능 비교\*

조미란 · 이혜진 · 강명희 · 민혜선<sup>†</sup>

한남대학교 식품영양학과

## Comparison of antioxidant activity and prevention of lymphocyte DNA damage by fruit and vegetable juices marketed in Korea\*

Cho, Miran · Lee, Hye-Jin · Kang, Myung-Hee · Min, Hyesun<sup>†</sup>

Department of Food & Nutrition, Hannam University, Daejeon 34124, Korea

### ABSTRACT

**Purpose:** Fruit and vegetable juices are known to be rich sources of antioxidants, which have beneficial effects on diseases caused by oxidative stress. The purpose of this study was to directly compare the antioxidant activities of fruit and vegetable juices marketed in Korea. **Methods:** We analyzed four fruit juices, two vegetable juices, two yellow-green juices, and six mixed vegetable juices. Antioxidant activities were analyzed using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) test, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate) (ABTS) test, and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay. Protective effects against DNA damage were determined using an *ex vivo* comet assay with human lymphocytes. **Results:** DPPH radical scavenging activities were in the following order: blueberry juice > mixed vegetable C juice > kale juice > mixed vegetable P juice > grape juice. ABTS radical scavenging activities were in the following order: blueberry juice > mixed vegetable C juice > grape juice > mixed vegetable P juice > kale juice. Peroxyl radical scavenging activities as assessed by ORAC assay were in the following order: blueberry juice > kale juice > mixed vegetable C juice > grape juice. Grape or blueberry juice showed strong abilities to prevent DNA damage in lymphocytes, and the difference between them was not significant according to the GSTM1/GSTT1 genotype. **Conclusion:** Antioxidant activities of fruit and vegetable juices and *ex vivo* DNA protective activity increased in the order of blueberry juice, grape juice, and kale juice, although the rankings were slightly different. Therefore, these juices rich in polyphenols and flavonoids deserve more attention for their high antioxidant capacity.

**KEY WORDS:** fruit juice, vegetable juice, blueberry juice, antioxidant activity, comet assay

### 서 론

여러 역학 연구와 영양중재 연구에서 과일과 채소의 섭취량이 증가할수록 심장순환계 질환으로 인한 사망률과 고혈압 및 뇌졸중의 위험이 감소한다는 결과가 비교적 일관성 있게 보고되고 있다.<sup>1-3</sup> 채소와 과일에는 칼륨, 엽산, 비타민, 섬유소 및 페놀 화합물 등이 풍부하여 산화스트레스를 줄여주고, 혈중 지질 개선, 혈압 저하, 인슐린 민감성 증가 및 인체 항상성 조절에 도움을 주는 것으로 보고되고 있다. 과일과 채소 섭취에 따른 건강증진효과를 설명하는 직접적인 작용 기전은 확실히 규명되지 않았으나 비타민

C, 카로티노이드 등의 항산화 비타민과 페놀화합물의 생리적 기능과 활성이 중요한 요인으로 연구되고 있으며, 대체로 과채류에 함유되어 있는 폴리페놀 화합물 함량과 관련성이 높은 것으로 알려져 있다. 특히 과일과 채소의 성분 가운데 활성 산소 및 활성 질소에 의한 손상으로부터 조직을 보호해주는 비타민 및 생리활성 물질들의 항산화 효과가 활발하게 보고되고 있으며,<sup>4,5</sup> 과채류 주스도 지질과산화물을 지연시키고 DNA를 손상으로부터 보호하는 항산화 활성이 높아서 심혈관계질환, 암 등 만성질환 발병위험을 낮추어주는 건강에 이로운 식품으로 보고되고 있다.<sup>6-8</sup>

과일과 채소의 건강증진 효과가 밝혀지면서 미국과 유

Received: November 25, 2016 / Revised: December 22, 2016 / Accepted: January 16, 2017

\*This research was supported by 2015 Hannam University Research Funds.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-42-629-8792, e-mail: hsmin@hnu.kr

© 2017 The Korean Nutrition Society

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.

립 각국에서는 과일과 채소를 충분히 섭취하도록 권장하고 있다. 이들 국가에서는 전체 과일 섭취량 가운데 %를 천연 과일로 섭취하고 1/3을 과일주스로 섭취하고 있는 것으로 조사되고 있다.<sup>9</sup> 일반적으로 가공하지 않은 천연 과일과 채소가 비타민과 생리활성 물질을 더 많이 보유하므로 건강증진에 우수한 효과를 나타내지만, 시판 과일 주스와 채소 주스는 편리하게 이용할 수 있다는 장점이 있으므로 과일과 채소 대용품인 과채류 주스의 선호도 및 소비량이 꾸준히 증가하고 있다.

최근 우리나라 소비자들의 건강에 대한 높은 관심으로 인해 건강에 도움이 되는 먹거리에 대한 요구가 커지면서 단일 재료 주스, 녹즙 및 혼합 주스 등 다양한 형태의 주스가 제조·판매되어 항산화 효능을 마케팅 기반으로 시판되고 있다. 2008년도 국민건강영양조사 자료에 의하면 우리나라 사람들은 오렌지 주스, 포도주스, 감귤주스, 토마토주스, 사과주스, 석류주스, 파인애플주스 등의 과채류 주스를 가장 많이 섭취하고 있었으며 이 가운데 오렌지 주스는 전체 섭취량의 50.1%를 차지하고 있어서 가장 대중적인 주스인 것으로 보고되었다.<sup>10</sup> 지금까지 우리나라에서 시판 중인 과채류 주스를 대상으로 수행된 연구들은 단일 과일 주스나 단일 채소 주스를 대상으로 이화학적 특성과 기능성,<sup>11</sup> 항균, 항산화, 항혈전 활성,<sup>12</sup> 총 페놀 함량<sup>6,7</sup> 등을 보고하였으며, 혼합 주스나 녹즙의 항산화 활성에 대한 연구는 드물다. 따라서 우리나라에서 시판되고 있는 과일 및 채소 주스, 녹즙, 혼합 주스의 항산화 활성 및 항산화 기능성에 대한 연구가 필요하다.

식품 내에서 항산화 활성을 나타내는 생리활성 성분은 종류가 다양하며 각 성분들은 서로 다른 반응기전에 의해 항산화 활성을 나타낼 수 있으므로, 항산화 활성을 측정하기 위해서는 다양한 항산화 분석법을 이용하여 항산화 활성을 평가하고 가능한 한 생리적 조건에 가까운 조건에서 분석하는 것이 중요하다.<sup>13,14</sup> 이와 같이 한 가지 항산화 활성 측정방법으로는 식품의 항산화 활성을 정확하게 반영하기 어려우므로 본 연구에서는 세 가지 다른 항산화 활성 분석법 [DPPH radical 소거활성 측정법, oxygen radical absorbance capacity (ORAC) 분석법, trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)에 의한 항산화 활성 측정법]을 적용하여 우리나라에서 시판되고 있는 14종의 과채 주스의 항산화 활성을 측정하였으며, 주스의 항산화 기능성을 측정할 목적으로 항산화 활성이 가장 높게 나타난 과채 주스 4종을 대상으로 comet 분석을 수행하여 *ex vivo* DNA 손상 방지 효과를 조사하였다.

## 연구방법

### 재료

본 연구에서 조사한 주스는 시중에서 판매되는 100% 천연 과채류 주스 가운데 폴리페놀 화합물 함량이 높으면서 대중들에게 기호도와 접근성이 높은 주스 가운데 우리나라 국민들이 많이 소비하고 있는 과채류 주스를 참고하여 선정하였다.<sup>9</sup> 과일 주스 4종 (포도주스, 오렌지주스, 파인애플주스, 블루베리주스), 채소 주스와 녹즙 4종 (채소 주스; 당근주스, 토마토주스; 녹즙: 케일 녹즙, 명일엽 녹즙), 시판 혼합 주스 6종 (채소혼합주스 A, B, C, Y, R, P)을 선택하여 총 14종의 주스를 분석하였다. 분석용 주스는 제조사가 노출되는 것을 피하는 방식으로 명명하였다. 주스는 신선한 제품을 시중에서 구입한 후 동결건조기 (PVTF10R, 일신랩, Korea)를 이용하여 선풍 -40°C, 챔버 -60°C 이하의 조건으로 동결 건조한 후 -80°C에 보관하면서 분석에 이용하였다.

### DPPH 라디칼 소거 활성 측정

DPPH 유리 라디칼 소거 활성은 Chen 등<sup>15</sup>의 방법을 일부 수정하여 측정하였다. DPPH는 화학적으로 안정된 유리 라디칼을 가지고 있는 수용성 물질로 항산화 활성이 있는 물질과 만나면 전자를 내주면서 라디칼이 소멸되고 색이 변하므로, 시료의 전자 공여에 의한 유리 라디칼 소거능의 측정에 이용된다. 시료를 증류수에 녹여 농도별로 희석한 시료 10 µL에 120 µM DPPH/에탄올 용액 190 µL를 가하여 37°C에서 30분 동안 항온유지한 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 농도는 선행연구를 토대로 100, 500, 1,000 µg/mL로 희석하여 사용하였으며, 농도별로 희석한 시료 대신 증류수를 첨가한 것을 blank로 사용하였다. 각 농도별 측정값은 blank값과 비교하여 % Inhibition로 표현하였다.

#### % Inhibition

$$= \frac{\text{Absorbance}_{\text{control}} - \text{Absorbance}_{\text{sample}}}{\text{Absorbance}_{\text{control}} - \text{Absorbance}_{\text{blank}}} \times 100$$

### Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) 측정

ORAC 분석법은 peroxy radical의 소거능을 분석하는 방법으로서 유리 라디칼에 의한 형광 표지물질인 fluorescein의 감소율을 측정하여 짧은 시간 존재하는 라디칼에 대한 항산화반응을 검정하는 방법이다. 본 연구에서는 Ghiselli 등<sup>16</sup>의 방법을 이용하였으며, 96-well microplate (black)에 75 mM phosphate buffer에 녹인 80 nM fluorescein 용

액 100  $\mu$ L와 측정시료 50  $\mu$ L (시료농도: 10  $\mu$ g/mL)를 넣고 80 mM 2,2'-azobis(2-amidino-propane)dihydrochloride (AAPH) 50  $\mu$ L를 첨가하여 잘 혼합한 다음 GENios fluorescence plate reader (TECAN Trading AG, Switzerland)를 이용해 37°C에서 2분 간격으로 형광값을 측정하였다 (excitation wavelength 485 nm, emission wavelength 535 nm). 시료의 ORAC값은 각 시료의 형광값과 blank의 형광값 간의 넓이 차이로 계산하였다. Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid)를 표준물질로 사용하였으며 모든 결과는 trolox equivalent (mM TE)로 환산하여 나타내었다.

### TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity)에 의한 항산화 활성 측정

주스의 TEAC에 의한 항산화 활성은 Aruma 등<sup>17</sup>의 방법에 의해 측정하였다. 2',2'-Azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) (ABTS)는 유리기와 반응하여 안정된 양이온인 ABTS<sup>+</sup> radical을 생성하므로 ABTS<sup>+</sup> 용액과 과황산칼륨 용액을 반응시켜 생성되는 ABTS<sup>+</sup> radical의 환원 반응에 의해 항산화능을 측정하였다. TEAC 분석에 사용한 시료의 농도는 선행연구를 토대로 100, 500, 1,000  $\mu$ g/mL로 희석하여 사용하였으며, ABTS 용액 990  $\mu$ L에 시료용액 10  $\mu$ L를 첨가하여 37°C에서 6분간 반응시키면서 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. TEAC값은 trolox를 항산화 표준물질로 사용하여 측정된 검정곡선을 이용하여 계산하였다.

### Comet assay

Comet assay는 Singh 등<sup>18</sup>의 방법을 일부 수정하여 수행하였다.<sup>19</sup> 이상의 세 가지 *in vitro* 분석결과에서 항산화 활성이 가장 높게 나온 주스 4종 (블루베리주스, 채소혼합주스 C, 케일녹즙, 포도주스)을 대상으로 인체 임파구를 이용한 comet assay 방법으로 DNA 손상 방지효과를 측정하였다.

Comet assay에 사용한 임파구는 glutathione S-transferase (GST) 유전자 다형성을 기준으로 각 유전자별로 4

군으로 분류하여 주스시료 전처리에 의한 DNA 손상 보호 효과를 측정하였다. GST는 외부 유해물질에 대해 해독작용을 하는 phase II 효소계의 대표적인 항산화 효소로서 친전자성 화합물과 글루타티온을 결합시키는 작용을 촉진하여 산화스트레스에 의해 생기는 화합물들을 불활성화하여 생체를 보호하는 효소이다.<sup>20</sup> 따라서 본 연구에서는 과채주스의 임파구 DNA 손상 감소효과를 조사함과 동시에 GST 유전자별 DNA 손상 감소효과를 분석하였다.

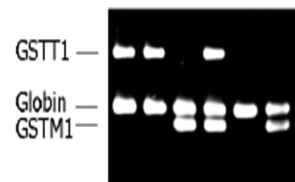
### 채혈 및 임파구 처리

본 연구는 한남대학교 IRB 심의절차를 거쳐 승인을 받은 후 20대 건강한 흡연중인 남자 50명 내외 대상자들의 자발적인 동의하에 수행하였다 (IRB No. 2012-03K). 흡연이 산화스트레스를 높이는 것으로 알려져 있으므로 흡연하는 성인 남자를 대상으로 선정하여 GST 유전자 다형성을 기준으로 네 가지 유전자별로 3명씩 총 12명의 실험대상자를 최종 확정하였다. 채혈하기 전 8시간 이상 금식하도록 지도하였다. GSTM1과 GSTT1 유전자는 Bell 등<sup>21</sup>의 방법과 Pemble 등<sup>22</sup>의 방법을 각각 이용하여 분석하였다 (Table 1). 헤파린이 처리된 100  $\mu$ L 멸균튜브에 전혈을 담아 3시간 이내에 임파구를 분리한 후 storage buffer에 넣어 현탁액 상태로 -20°C에서 한 시간 냉동한 후, -80°C로 옮겨 냉동 저장해두고 분석에 사용하였다.

과채류 주스 시료의 처리 농도 범위를 결정하기 위해 예비실험을 수행한 결과, 각 주스 시료의 농도 10~1,000  $\mu$ g/mL 범위가 DNA 손상 감소 효과가 나타나기 시작하는 농도와 DNA 손상 감소효과가 더 이상 증가하지 않는 안정 농도로 조사되었다. 즉, DNA 손상 정도가 산화스트레스 유발제인 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 사용하는 positive control과 아무것도 처리하지 않은 negative control의 범주 내에 속하도록 시료의 농도를 설정하였다. 비교군으로 비타민 C를 사용하였으며 예비실험에서 비타민 C와 4종의 주스 (블루베리주스, 채소혼합주스 C, 케일녹즙, 포도주스) 모두가 10  $\mu$ g/mL에서 임파구 DNA 손상 감소효과를 나타냈으므로, 시료 농도 10  $\mu$ g/mL에서 comet assay를 수행하였다. 전처리된 임파구를 PBS로 세척한 후, 산화 스트레스에 의한 DNA 손

**Table 1.** Primer sequences used in the PCR reaction for GST genotyping

Primer	Sequence (5' — 3')
GSTT1-forw.	ttc ctt act ggt cct cac atc tc
GSTT1-rev.	tca ccg gat cat ggc cag ca
GSTM1-forw.	gaa ctc cct gaa aag cta aag c
GSTM1-rev.	gtt ggg ctc aaa tat acg gta a
$\beta$ -globin-forw.	caa ctt cat cca cgt tca cc
$\beta$ -globin-rev.	gaa gag cca agg aca ggt ac



상을 유발하기 위해 100  $\mu\text{M}$   $\text{H}_2\text{O}_2$ 로 4°C에서 5분 동안 반응시켰다. PBS로 세척한 후 comet assay를 실시하여 임파구의 DNA 손상을 측정하였다.

#### Comet assay

임파구 세포와 low melting agarose gel (LMA)을 혼합하여 슬라이드에 분산시킨 후 4°C 냉장고에 보관하였다. 젤이 굳으면 LMA를 한 겹 더 덮은 후, 슬라이드를 완충용액에 담가 세포를 용해시키고 DNA 이중나선구조를 풀어주었다. 세포 용해가 끝난 슬라이드를 전기영동장치에 배열하고 4°C의 완충용액을 채워 20분간 전기영동을 실시하였다. 전기영동이 끝난 후 tris 완충용액으로 충분히 세척하였으며, 핵을 염색한 후 형광현미경에서 관찰하면서 comet 영상을 분석하였다. 각 세포핵 영상은 comet image analyzing system이 설치된 컴퓨터상에서 분석하였다. 시료의 농도 범위 (10~1,000  $\mu\text{g/mL}$ )를 나누어 임파구 DNA 손상 지표 중 tail length 값에 tail %DNA를 곱해준 tail moment (TM) 값으로 나타냈다. 핵으로부터 이동한 DNA 파편 거리를 정량하여 임파구 DNA 손상 정도를 분석하였다.

#### 자료의 통계처리

항산화 활성 실험은 각 시료별로 세 번 반복하여 수행하여 평균치  $\pm$  표준편차를 구하였다. 각 군별로 유의성 검증은 one-way 분산분석 (ANOVA)을 시행하여 F 값을 구하였고 사후분석에는 Duncan's multiple range test를 이용하였다. 모든 통계는 SPSS-PC+ 통계패키지 (version 19.0)를 이용하여 처리하였다.

## 결 과

#### DPPH, TEAC, ORAC에 의한 항산화 활성 비교

각 주스제품의 DPPH 라디칼 소거 활성을 측정한 결과는 Table 2와 같았다. DPPH 라디칼 소거능은 블루베리주스의 산화억제값 (% inhibition)이 99.1%로 선정한 시판 과채주스 가운데 항산화 활성이 가장 높게 나타났다. 그 다음이 채소혼합주스 C 86.2%, 케일녹즙 69.7%, 채소혼합주스 P 56.2%, 포도주스 54.8%, 오렌지주스 37.0%, 파인애플주스 34.3%, 채소혼합주스 B 32.4%, 채소혼합주스 R 25.3%, 채소혼합주스 A 20.2%, 당근주스 19.1%, 채소혼합주스 Y 19.0%, 토마토주스 16.4%, 명일엽 녹즙 11.2% 순으로 나타났다.

TEAC 분석법에 의해 각 주스제품의 항산화 활성을 측정한 결과는 Table 2와 같았다. TEAC 분석에서도 블루베리주스 (30.0  $\mu\text{mol/mL}$ )의 항산화 활성이 가장 높았으며,

**Table 2.** Antioxidant capacity of commercial fruit and vegetable juices in Korea<sup>1)</sup>

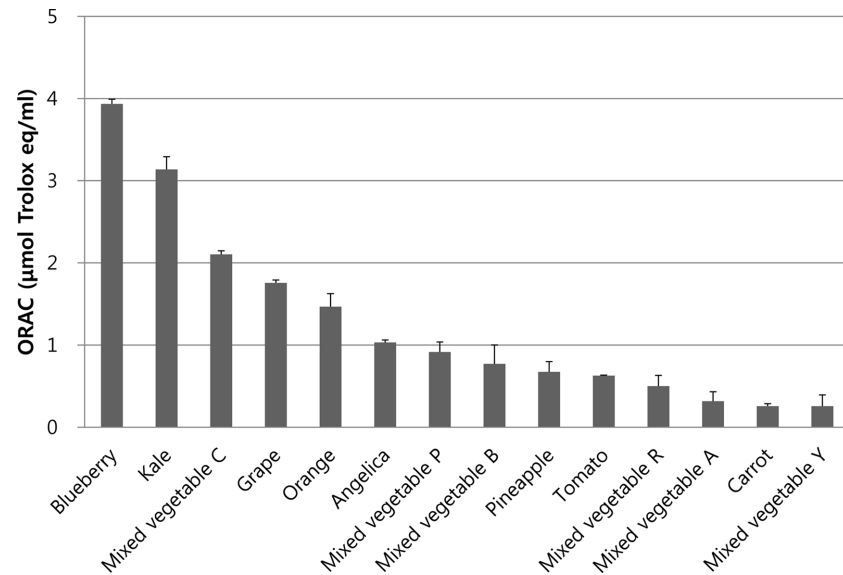
Juices	DPPH (% inhibition)	TEAC ( $\mu\text{mol/mL}$ )	ORAC ( $\mu\text{mol of TE}^{2)/\text{mL}$ )
Blueberry	99.1 $\pm$ 1.2	30.0 $\pm$ 0.1	3.9 $\pm$ 0.1
Mixed vegetable C	86.2 $\pm$ 1.6	28.4 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.1
Kale	69.7 $\pm$ 1.3	23.0 $\pm$ 0.1	3.1 $\pm$ 0.2
Mixed vegetable P	56.2 $\pm$ 0.9	23.5 $\pm$ 0.4	0.9 $\pm$ 0.1
Grape	54.8 $\pm$ 0.2	25.1 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.1
Orange	37.0 $\pm$ 1.0	19.1 $\pm$ 0.3	1.5 $\pm$ 0.2
Pineapple	34.3 $\pm$ 0.6	10.1 $\pm$ 0.1	0.7 $\pm$ 0.1
Mixed vegetable B	32.4 $\pm$ 0.8	13.6 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.2
Mixed vegetable R	25.3 $\pm$ 0.2	7.7 $\pm$ 0.3	0.5 $\pm$ 0.1
Mixed vegetable A	20.0 $\pm$ 0.7	7.8 $\pm$ 0.1	0.3 $\pm$ 0.1
Carrot	19.1 $\pm$ 1.5	9.6 $\pm$ 0.2	0.3 $\pm$ 0.1
Mixed vegetable Y	19.0 $\pm$ 0.0	2.5 $\pm$ 0.2	0.3 $\pm$ 0.1
Tomato	16.4 $\pm$ 0.8	5.2 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.1
Angelica	11.2 $\pm$ 1.1	18.5 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.1

1) DPPH, free radical scavenging activity by diphenyl-1-picrylhydrazyl radical; TEAC, Trolox equivalent antioxidant capacity; ORAC, oxygen radical absorbing capacity; Values are mean value  $\pm$  S.D. 2) TE: trolox equivalent

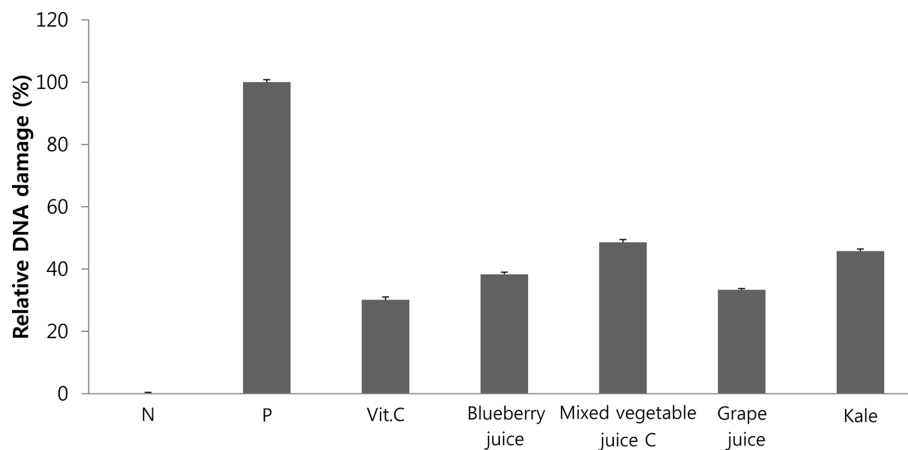
채소혼합주스 C (28.4  $\mu\text{mol/mL}$ ), 포도주스 (25.1  $\mu\text{mol/mL}$ ), 채소혼합주스 P (23.5  $\mu\text{mol/mL}$ ), 케일녹즙 (23.0  $\mu\text{mol/mL}$ ), 오렌지주스 (19.1  $\mu\text{mol/mL}$ ), 명일엽 녹즙 (18.5  $\mu\text{mol/mL}$ ), 채소혼합주스 B (13.6  $\mu\text{mol/mL}$ ), 파인애플주스 (10.1  $\mu\text{mol/mL}$ ), 당근주스 (9.6  $\mu\text{mol/mL}$ ), 채소혼합주스 A (7.8  $\mu\text{mol/mL}$ ), 채소혼합주스 R (7.7  $\mu\text{mol/mL}$ ), 토마토주스 (5.2  $\mu\text{mol/mL}$ ), 채소혼합주스 Y (2.5  $\mu\text{mol/mL}$ ) 순으로 나타났다.

ORAC 분석법에 의해 각 주스제품의 항산화 활성을 측정한 결과는 Fig. 1과 같았다. ORAC값은 블루베리주스 (3.9 mM TE)가 가장 높았으며, 케일녹즙 (3.1 mM TE), 채소혼합주스 C (2.1 mM TE), 포도주스 (1.7 mM TE), 오렌지주스 (1.45 mM TE), 명일엽 녹즙 (1.0 mM TE), 채소혼합주스 P (0.9 mM TE), 채소혼합주스 B (0.8 mM TE), 파인애플주스 (0.7 mM TE), 토마토주스 (0.6 mM TE), 채소혼합주스 R (0.5 mM TE), 채소혼합주스 A (0.3 mM TE), 당근주스 (0.3 mM TE), 채소혼합주스 Y (0.3 mM TE) 순으로 나타났다.

시판 주스의 항산화 활성을 전체적으로 비교해보면, 위의 세 가지 *in vitro* 분석법으로 측정된 항산화 활성은 다소의 차이는 있었지만 대체로 유사한 순으로 나타났다. 시판 과채주스 가운데 블루베리주스의 항산화 활성이 가장 높았으며 다음과 같은 순으로 항산화 활성이 높았다: 블루베리주스 > 케일녹즙 > 채소혼합주스 C > 포도주스 > 채소혼합주스 P > 오렌지주스 > 명일엽녹즙 > 채소혼합주스 >



**Fig. 1.** Comparison of ORAC values of ethanol extracts of commercial vegetable and fruit juices in Korea. Each bar represents the mean value with standard deviation.



**Fig. 2.** The ex vivo effects of vitamin C, blueberry juice, mixed vegetable C juice, kale juice, and grape juice on  $H_2O_2$ -induced DNA damage in human lymphocytes. Each bar represents the mean value with standard deviation. Each DNA damage (%) was calculated using tail moment by comparing with positive control. Vitamin C was used as a reference pure compound. N; negative control, P; positive control

파인애플주스 > 당근주스 > 채소혼합주스 A > 채소혼합주스 R > 토마토주스 > 채소혼합주스 Y.

### GST 유전자 다형성별 항산화 주스의 DNA 손상 방지 효과

GST는 활성산소종으로부터 세포를 보호해주는 효소로서 항산화과정에서 중요한 효소이므로 실험대상자들을 GST 유전자인 GSTM1 및 T1 유전자형에 따라 4군으로 나누어 과채류 주스의 DNA 손상 방지효과를 조사하였다. 분리한 인체 임파구에 비타민 C와 시판 과채류 주스 4종 (블루베리주스, 채소혼합주스 C, 케일녹즙, 포도주스)을 각

각 10  $\mu\text{g/mL}$ 로 전처리한 후 DNA 손상 감소 효과를 분석하였다. 전체 임파구에서 측정된 tail moment로부터 상대적인 DNA 손상 정도 계산하여 Fig. 2에 나타냈다. 과채주스 또는 비교군으로 사용한 비타민 C를 임파구에 전처리하였을 때 모든 유전자군에서  $H_2O_2$  처리한 positive control에 비해 DNA 손상이 유의적으로 저하되었으며, 비타민 C > 포도주스 > 블루베리 주스 > 채소혼합주스 C > 케일녹즙 순으로 DNA 손상 감소효과가 높게 나타났다 (Fig. 2).

인체 임파구를 GSTM1 및 GSTT1 유전자를 기준으로 GSTM1+/GSTT1+ (1군), GSTM1+/GSTT1- (2군), GSTM1-/GSTT1+ (3군), GSTM1-/GSTT1- (4군)으로 나누어 각 유

**Table 3.** Levels of lymphocyte DNA damage expressed as TD, TL, TM of vitamin C, blueberry, mixed vegetable C, kale, and grape juice according to GSTM1 and T1 polymorphism

GSTM1/ GSTT1 <sup>1)</sup>	DNA damage	N <sup>2)</sup>	P <sup>3)</sup>	Vitamin C	Juices			
					Blueberry	Mixed vegetable C	Kale	Grape
+/+	TD <sup>4)</sup>	7.2±0.2 <sup>a7)</sup>	16.3±0.3 <sup>d</sup>	8.1±0.2 <sup>b</sup>	8.9±0.4 <sup>bc</sup>	9.5±0.2 <sup>c</sup>	9.20±0.3 <sup>c</sup>	8.7±0.3 <sup>bc</sup>
	TL <sup>5)</sup>	53.5±2.3 <sup>a</sup>	165.4±15.8 <sup>d</sup>	89.6±3.2 <sup>b</sup>	101.1±3.9 <sup>bc</sup>	114.2±5.9 <sup>c</sup>	111.4±6.4 <sup>bc</sup>	103.5±5.8 <sup>bc</sup>
	TM <sup>6)</sup>	4.3±0.6 <sup>a</sup>	28.1±0.3 <sup>c</sup>	8.8±0.6 <sup>b</sup>	10.7±0.6 <sup>b</sup>	11.8±0.8 <sup>b</sup>	11.7±0.8 <sup>b</sup>	10.0±0.7 <sup>b</sup>
+/-	TD	7.4±0.3 <sup>a</sup>	16.6±0.2 <sup>e</sup>	8.3±0.6 <sup>ab</sup>	9.0±0.4 <sup>bc</sup>	10.6±0.4 <sup>d</sup>	9.6±0.2 <sup>cd</sup>	8.9±0.2 <sup>bc</sup>
	TL	58.34±3.9 <sup>a</sup>	165.9±5.7 <sup>e</sup>	83.7±4.8 <sup>b</sup>	103.3±4.2 <sup>c</sup>	121.2±5.0 <sup>d</sup>	123.2±6.0 <sup>d</sup>	97.8±2.6 <sup>c</sup>
	TM	4.8±0.4 <sup>a</sup>	28.2±0.8 <sup>e</sup>	8.5±0.9 <sup>b</sup>	10.8±0.7 <sup>c</sup>	13.7±0.9 <sup>d</sup>	12.9±0.7 <sup>d</sup>	9.4±0.4 <sup>bc</sup>
-/+	TD	7.0±0.2 <sup>a</sup>	16.3±0.3 <sup>d</sup>	8.1±0.4 <sup>b</sup>	9.0±0.4 <sup>b</sup>	10.2±0.2 <sup>c</sup>	10.4±0.4 <sup>c</sup>	8.9±0.6 <sup>b</sup>
	TL	49.8±1.8 <sup>a</sup>	165.6±9.7 <sup>e</sup>	91.8±7.9 <sup>b</sup>	96.4±9.3 <sup>bc</sup>	133.1±7.2 <sup>d</sup>	1201±5.5 <sup>cd</sup>	106.8±11.4 <sup>bc</sup>
	TM	3.9±0.2 <sup>a</sup>	27.7±1.5 <sup>e</sup>	8.6±1.0 <sup>b</sup>	9.9±0.9 <sup>bc</sup>	14.2±0.9 <sup>d</sup>	13.1±0.9 <sup>cd</sup>	11.1±1.6 <sup>bcd</sup>
-/-	TD	8.5±0.6 <sup>a</sup>	16.8±0.3 <sup>c</sup>	7.9±0.3 <sup>a</sup>	9.4±0.6 <sup>a</sup>	9.8±0.5 <sup>ab</sup>	11.7±1.5 <sup>b</sup>	8.8±0.3 <sup>a</sup>
	TL	55.3±4.1 <sup>a</sup>	164.2±5.0 <sup>e</sup>	93.6±4.8 <sup>b</sup>	100.2±9.1 <sup>b</sup>	124.4±7.2 <sup>cd</sup>	133.1±10.1 <sup>d</sup>	107.9±8.3 <sup>bc</sup>
	TM	5.2±0.6 <sup>a</sup>	28.4±1.0 <sup>e</sup>	8.6±0.3 <sup>ab</sup>	11.2±1.4 <sup>bc</sup>	13.8±1.4 <sup>cd</sup>	17.3±3.8 <sup>d</sup>	10.4±0.9 <sup>bc</sup>

1) Blood samples from three subjects for each GST genotype were used for analysis. 2) N: negative control 3) P: positive control  
 4) TD: tail DNA % 5) TL: tail length 6) TM: tail moment 7) Means ± SD with different letters are significantly different among groups by Duncan's multiple range test.

전자형별로 과일 및 채소 주스의 DNA 손상 감소효과가 차이가 있는지를 조사하였다 (Table 3). 3군 (GSTM1-/GSTT1+) 유전자형을 제외한 나머지 유전자형에서 비타민 C > 포도주스 > 블루베리 주스 > 채소혼합주스 C > 케일녹즙 순으로 DNA 손상 감소효과를 보여 포도주스의 DNA 손상 감소효과가 가장 높은 반면 녹즙의 DNA 손상 감소효과가 다른 군에 비해 유의적으로 낮았다. 3군 (GSTM1-/GSTT1+) 유전자형에서만 임파구 DNA 손상 감소효과가 비타민 C > 블루베리 주스 > 포도주스 > 케일녹즙 > 채소혼합주스 C 순으로 나타나 다소 차이가 있었다. 이 결과를 요약하면, 모든 GST 유전자형에서 포도주스와 블루베리 주스의 임파구 DNA 손상 감소효과가 다른 주스에 비해 우수했으나, 이들 주스의 DNA 손상 감소효과는 GST 유전자 다형성에 따라 유의적인 차이가 없었다.

## 고 찰

과일과 채소 주스가 건강증진에 이로운 식품으로 알려지면서 다양한 과채류 주스가 우리나라에서 시판되고 있다. 많은 소비자들이 식품들의 항산화 활성에 대해 관심이 높으므로 국내에서 판매되고 있는 주스류의 항산화 활성에 대한 조사가 필요한 실정이다.

본 연구에서 시료의 전자 공여에 의한 유리 라디칼 소거능을 측정하는 방법인 DPPH test로 항산화 활성을 측정할 결과 블루베리주스, 채소혼합주스 C, 케일 녹즙, 채소혼합주스 P, 포도주스 순으로 나타났다. DPPH test는 비용과 시간이 적게 소요되는 간편하므로 가장 널리 이용되고 있는 항산화 활성을 측정하는 방법이나 pH에 변화에 의해 영향

받는 것으로 알려져 있으므로 ABTS 라디칼 소거능을 측정하는 TEAC 측정 방법을 병행하였다.

TEAC 방법은 넓은 범위의 pH에서 친수성과 소수성 용매에 광범위하게 사용 할 수 있으므로 이를 보완할 수 있는 방법이다.<sup>23</sup> TEAC 분석 결과 항산화 활성은 블루베리주스, 채소혼합주스 C, 포도주스, 채소혼합주스 P, 케일 녹즙 순으로 높게 나타났다. DPPH와 TEAC 방법은 전자 전달 이론에 따른 측정법으로 보통 식물에 존재하는 페놀성 화합물의 함량과 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으므로 페놀 함량 예측에 유용하게 사용 할 수 있다.<sup>24</sup> 본 실험결과에서 DPPH 방법과 TEAC 방법 모두 블루베리 주스가 항산화 활성이 가장 높게 나타났고 이어서 채소혼합주스 C 및 P, 케일 녹즙, 포도주스 순으로 나타나 측정 결과가 비교적 유사했으며 높은 페놀화합물의 함량과 관계가 있을 것으로 보인다.

ORAC은 DPPH 및 TEAC과 더불어 널리 사용되고 있는 항산화 활성 측정방법으로서 다른 항산화 활성 측정법에 비해 반응이 민감한 것으로 알려져 있다.<sup>14</sup> 본 연구에서 ORAC 방법으로 측정한 항산화 활성은 블루베리 주스가 가장 높았고, 이어서 케일 녹즙, 채소혼합주스 C, 포도주스, 오렌지주스 순으로 나타나 DPPH 및 TEAC 결과와 경향이 유사했으나 일부 차이가 있었다. 따라서 DPPH, TEAC, ORAC 등 세 가지 *in vitro* 측정법으로 측정한 항산화능 모두 블루베리 주스, 케일녹즙, 채소혼합주스 C, 포도주스, 채소혼합주스 P가 다른 주스들에 비해 항산화능이 좋은 것으로 나타나 유사한 결과를 보였으며, 채소혼합주스 A, B, R, Y와 토마토 주스, 당근 주스의 항산화능은 상대적으로 낮게 조사되었다.



Comet assay는 *in vitro* 항산화 분석법과 달리 인체의 혈액에서 분리한 임파구에 주스 시료를 전처리한 후  $H_2O_2$ 에 의해 유발된 DNA 손상을 감소시키는 정도를 직접 확인할 수 있는 생체의 분석을 통해 항산화능을 측정하는 방법이다. 본 연구에서 4종의 과채 주스를 대상으로 comet assay로 분석한 결과 블루베리 주스와 포도 주스의 DNA 손상 감소 효과가 채소혼합주스 C와 케일녹즙 보다 유의적으로 높았다. 따라서 블루베리 주스는 4가지 항산화 분석법에서 동일하게 가장 높게 측정된 반면, 포도주스의 항산화 활성은 comet assay 방법에서 다른 DPPH, TEAC, ORAC 값들 보다 높은 수준으로 측정되어 다소 차이가 있었다.

일부 과일이나 채소는 이취, 쓴맛, 떼은 맛 등으로 인해 단독으로 주스를 만들지 않고 채소혼합주스 형태로 출시되고 있다. 채소혼합주스 C는 보라당근 농축액과 레드 비트로 제조된 채소혼합주스이며 채소혼합주스 P는 콩코드 포도 농축액과 보라 당근 농축액으로 제조된 제품이므로 페놀성 화합물과 플라보노이드가 풍부한 제품이다. 이에 비해 나머지 채소혼합주스 B, R, A 및 Y는 상대적으로 이들 재료의 함량이 낮거나 함유되어있지 않는 제품들이다. 이와 같이 블루베리 주스와 포도주스 및 보라 당근, 레드 비트가 혼합된 채소주스가 다른 혼합 야채주스에 비해 상대적으로 높은 항산화 활성을 나타냈으므로, 항산화 활성이 높은 주스를 제조하기 위해서는 블루베리, 포도, 보라 당근 및 레드 비트를 적절히 혼합하여 활용하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

베리류인 블루베리는 플라보노이드 성분이 많이 함유되어 있어 항산화 활성이 높은 것으로 알려져 있다. Jeong 등<sup>25</sup>은 국내에서 시판되고 있는 블루베리의 총 페놀 함량을 측정한 결과 라즈베리 보다 높았으며 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능도 블루베리가 더 높은 것으로 보고하였다. 또한 미국에서 시판되고 있는 폴리페놀이 풍부한 음료들의 항산화능을 살펴본 연구에서도 블루베리 주스가 오렌지 주스보다 항산화능이 더 높았으며,<sup>26</sup> ORAC 방법으로 측정한 결과에서도 블루베리가 레드 치커리, 파인애플, 오렌지 및 사과보다 라디칼 소거능이 우수한 것을 조사되어 본 연구와 유사했다.<sup>27</sup>

본 연구에서 블루베리 다음으로 항산화능이 높았던 단일재료 과일 주스는 포도주스로 조사되었다. 포도는 이미 그 항산화 활성 뿐 아니라 혈압 강하,<sup>8,27,28</sup> DNA 손상 감소<sup>29,30</sup> 및 항세균 활성<sup>12</sup> 등에 대한 생리적 기능도 잘 알려져 있다. Lee 등<sup>6</sup>은 국내 시판 과일 및 채소 8종의 항산화 활성을 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능으로 평가한 결과 포도 주스가 강력한 활성을 나타내는 것으로 보고하였으나 이 연구에서는 블루베리 주스는 분석하지 않았다. 또 다른

시판 과일 주스의 항산화 활성을 분석한 Chung<sup>11</sup>의 연구에서도 포도와 블루베리 주스의 DPPH 소거능과 아질산염 소거능이 가장 높게 조사되어 본 연구결과와 일치했다.<sup>14</sup> Lee 등<sup>10</sup>의 연구에서도 포도주스의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능이 사과 주스, 오렌지 주스, 파인애플 주스 및 토마토 주스 보다 높았다.

우리나라에서 시판되고 있는 포도 주스 10종의 항산화 활성과 페놀 함량을 조사한 연구<sup>6</sup>에 의하면 포도 주스 10종의 총 페놀 함량이 각기 만든 제조사에 따라 차이를 보이거나 오렌지 주스나 사과, 파인애플 주스 등 보다 높았으며 항산화 활성도 포도 주스가 더 높게 조사되었다. 또한 이 연구에서 총 페놀 함량과 항산화 활성이 매우 높은 상관성 ( $r = 0.97$ )을 보였으므로 포도 주스의 항산화 활성은 페놀성 화합물로 인한 것임을 시사하였다. 한편 Chung<sup>11</sup>의 연구에서는 페놀성 화합물과 플라보노이드가 풍부한 주스가 항산화 활성이 높은 것으로 보고하였다. 블루베리에 함유된 주된 페놀성 화합물은 phenolic acid, 안토시아닌 및 플라보노이드 등이며 포도에는 proanthocyanidin, resveratrol 등이 주된 페놀성 화합물인 것으로 알려져 있다. 이는 오렌지나 토마토에 함유되어 있는 페놀성 화합물과 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서 주스의 총 페놀 함량은 측정하지 않았으나 블루베리 주스와 포도 주스의 항산화 활성 또한 페놀성 화합물에 기인하는 것으로 보인다. 채소혼합 주스 C는 안토시아닌이 풍부한 보라색 채소가 들어 있는 채소혼합 주스로 블루베리 주스 및 포도 주스와 마찬가지로 풍부한 페놀성 화합물로 인해 항산화 활성을 나타낸 것으로 보인다.

신선한 채소를즙으로 만들어 흡수하기 쉬운 형태로 제조된 녹즙의 DNA 손상 회복 효과,<sup>31,32</sup> 항돌연변이 효과<sup>33</sup> 및 항산화 영양상태 개선효과<sup>8</sup> 등이 밝혀지면서 녹즙류의 상품 개발과 더불어 응용도 증가하고 있다. 녹즙은 가열처리 하지 않은 생즙의 형태이기 때문에 비타민과 항산화 물질이 파괴되지 않아 풍부하며 페놀성 화합물과 플라보노이드 등의 생리활성 물질을 함유하고 있어 항산화 활성이 높은 것으로 보인다.<sup>8</sup> 본 연구에서 명일엽 녹즙보다 케일 녹즙이 항산화 활성이 높았는데 이는 케일에는  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -tocopherol 및 비타민 C 함량이 높은 것과 관련이 있는 것으로 보인다.<sup>34,35</sup> 이외에도  $\beta$ -카로틴 함량도 명일엽 녹즙에 비해 케일 녹즙이 높았으며 미량이기는 하나 총 페놀 함량도 케일 녹즙이 명일엽 녹즙에 비해 약 두 배 정도 더 높았음이 보고되었다.<sup>32,36</sup> Jeon 등<sup>31</sup>이 케일 녹즙과 명일엽 녹즙의 총항산화능을 TRAP (total radical-trapping antioxidant potential)으로 측정한 결과 케일 녹즙이 명일엽 뿐만 아니라 당근, 돌미나리 녹즙에 비해 높았다. 따라서 본 연구에

서 케일 녹즙의 항산화능이 다른 녹즙이나 혼합주스들 보다 높은 수준으로 조사된 것은 케일에 함유된 다양한 항산화 물질에 기인하는 것으로 보인다.

이상의 연구결과에서 국내에서 시판하고 있는 100% 천연 주스 14종 가운데 페놀성 화합물과 플라보노이드가 풍부한 것으로 알려진 블루베리 주스와 포도 주스의 항산화 활성이 가장 높게 나타났고, 혼합 주스로는 안토시아닌이 풍부한 보라색을 띠는 채소혼합주스의 항산화 활성이 높았다. 생즙인 녹즙 중에는 다양한 항산화 비타민이 풍부한 케일 녹즙의 항산화 활성이 높았다. 우리나라 음료 시장이 점점 확대되면서 다양한 상품이 개발되고 이에 대한 소비도 증가하고 있는 추세에 있어 본 연구 결과는 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이라 생각되며 더 다양한 음료의 항산화 활성에 대한 연구가 많이 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 신선한 시판 주스를 시료로 선정하여 분석한 연구이므로 과채 주스의 제조사별 제조방법, 신선도, 저장 조건 및 기간, 유통과정 등에 따라 항산화 활성이 차이가 있을 것이다. 또한 본 연구의 제한점으로, 이상에서 조사된 *in vitro* 항산화 활성과 *ex vivo* DNA 손상 방지 효능은 주스의 항산화 성분의 생체 이용율, 생체내 안정성, 조직 보유율 및 실제 조직 내에서의 반응성 등에 의한 차이가 고려되지 않았다는 점에서 실제 인체에서 나타내는 항산화 활성과 다소 차이가 있을 것이다. 추후에 과채류 주스를 섭취한 후 혈장, 조직 및 소변 등의 인체 시료를 분석하여 항산화 활성 측정결과의 타당성을 증명할 수 있는 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 요 약

우리나라에서 많이 이용되고 있으며 항산화 활성이 높은 것으로 알려진 시판 100% 천연 과채류 주스 중 과일주스, 채소주스, 녹즙 및 채소혼합주스의 항산화 활성을 측정하여 비교하였다. 항산화 활성의 측정법으로는 DPPH, TEAC, ORAC 법 등 세 가지 *in vitro* 측정법과 comet assay를 이용한 *ex vivo* 분석법으로 과채류 주스의 항산화능을 비교 분석하였다. DPPH 분석법으로 항산화능을 측정한 결과 블루베리주스, 채소혼합주스 C, 케일 녹즙, 채소혼합주스 P, 포도주스 순으로 높았으며, TEAC 방법으로 측정한 주스 시료들의 항산화 활성은 블루베리주스, 채소혼합주스 C, 포도주스, 채소혼합주스 P, 케일 녹즙 순으로 높았다. 또한, ORAC으로 측정한 항산화 활성은 블루베리주스, 케일 녹즙, 채소혼합주스 C, 포도주스, 오렌지주스 순으로 나타났다. 세 가지 *in vitro* 측정법에 따른 결과를 종합하였을 때 블루베리 주스가 항산화능이 가장 우수했

으며 이어서 포도 주스, 채소혼합주스 C, 케일 녹즙 순으로 항산화 활성이 높았다. 인체의 임파구 DNA의 손상을 감소시키는 정도를 *ex vivo* 분석법인 comet assay로 분석한 결과 블루베리 주스와 포도 주스의 DNA 손상 감소 효과가 가장 우수한 것으로 나타난 반면, GSTM1/GSTT1 유전형에 따른 차이가 크지 않았다. 결론적으로 본 연구에서 조사한 국내에서 시판하고 있는 100% 천연 주스 14종 가운데 페놀성 화합물과 플라보노이드가 풍부한 것으로 알려진 블루베리 주스, 포도 주스의 항산화 활성이 가장 높았으며 채소혼합주스로는 안토시아닌이 풍부한 보라색을 띠는 주스류의 항산화 활성도가 높은 것으로 조사되었다.

## References

1. Slavin JL, Lloyd B. Health benefits of fruits and vegetables. *Adv Nutr* 2012; 3(4): 506-516.
2. Rimm EB, Ascherio A, Giovannucci E, Spiegelman D, Stampfer MJ, Willett WC. Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *JAMA* 1996; 275(6): 447-451.
3. Boeing H, Bechthold A, Bub A, Ellinger S, Haller D, Kroke A, Leschik-Bonnet E, Müller MJ, Oberritter H, Schulze M, Stehle P, Watzl B. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *Eur J Nutr* 2012; 51(6): 637-663.
4. Boyer J, Liu RH. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutr J* 2004; 3: 5.
5. Thomasset S, Berry DP, Cai H, West K, Marczylo TH, Marsden D, Brown K, Dennison A, Garcea G, Miller A, Hemingway D, Steward WP, Gescher AJ. Pilot study of oral anthocyanins for colorectal cancer chemoprevention. *Cancer Prev Res (Phila)* 2009; 2(7): 625-633.
6. Lee HR, Jung BR, Park JY, Hwang IW, Kim SK, Choi JU, Lee SH, Chung SK. Antioxidant activity and total phenolic contents of grape juice products in the Korean market. *Korean J Food Preserv* 2008; 15(3): 445-449.
7. Jeong SM, Son MH, Lee SH. A survey on contents of phenolic compounds of market fruit and vegetables juices. *J Basic Sci* 2003; 18: 117-123.
8. Blumberg JB, Vita JA, Chen CY. Concord grape juice polyphenols and cardiovascular risk factors: dose-response relationships. *Nutrients* 2015; 7(12): 10032-10052.
9. Lichtenthaler R, Marx F. Total oxidant scavenging capacities of common European fruit and vegetable juices. *J Agric Food Chem* 2005; 53(1): 103-110.
10. Lee BH, Kim SY, Cho CH, Chung DK, Chun OK, Kim DO. Estimation of daily per capita intake of total phenolics, total flavonoids, and antioxidant capacities from fruit and vegetable juices in the Korean diet based on the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2008. *Korean J Food Sci Technol* 2011; 43(4): 475-482.
11. Chung HJ. Comparison of physicochemical properties and physiological activities of commercial fruit juices. *Korean J Food Preserv* 2012; 19(5): 712-719.
12. Lee MH, Kim MS, Shin HG, Sohn HY. Evaluation of antimicro-



- bial, antioxidant, and antithrombin activity of domestic fruit and vegetable juice. *Korean J Microbiol Biotechnol* 2011; 39(2): 146-152.
13. Huang D, Ou B, Prior RL. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agric Food Chem* 2005; 53(6): 1841-1856.
14. Prior RL, Wu X, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem* 2005; 53(10): 4290-4302.
15. Chen HM, Muramoto K, Yamauchi F, Fujimoto K, Nokihara K. Antioxidative properties of histidine-containing peptides designed from peptide fragments found in the digests of a soybean protein. *J Agric Food Chem* 1998; 46(1): 49-53.
16. Ghiselli A, Serafini M, Maiani G, Azzini E, Ferro-Luzzi A. A fluorescence-based method for measuring total plasma antioxidant capability. *Free Radic Biol Med* 1995; 18(1): 29-36.
17. Aruoma OI, Halliwell B, Williamson G. In vitro methods for characterizing potential prooxidant and antioxidant actions of nonnutritive substances in plant foods. In: Aruoma OI, Cuppet SL, editors. *Antioxidant Methodology: In Vivo and In Vitro Concepts*. Champaign (IL): AOCS Press; 1997. p.173-184.
18. Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp Cell Res* 1988; 175(1): 184-191.
19. Park EJ, Kang MH. Application of the alkaline comet assay for detecting oxidative DNA damage in human biomonitoring. *Korean J Nutr* 2002; 35(2): 213-222.
20. Strange RC, Spiteri MA, Ramachandran S, Fryer AA. Glutathione-S-transferase family of enzymes. *Mutat Res* 2001; 482(1-2): 21-26.
21. Bell DA, Taylor JA, Paulson DF, Robertson CN, Mohler JL, Lucier GW. Genetic risk and carcinogen exposure: a common inherited defect of the carcinogen-metabolism gene glutathione S-transferase M1 (GSTM1) that increases susceptibility to bladder cancer. *J Natl Cancer Inst* 1993; 85(14): 1159-1164.
22. Pemble S, Schroeder KR, Spencer SR, Meyer DJ, Hallier E, Bolt HM, Ketterer B, Taylor JB. Human glutathione S-transferase theta (GSTT1): cDNA cloning and the characterization of a genetic polymorphism. *Biochem J* 1994; 300(Pt 1): 271-276.
23. Lemańska K, Szymusiak H, Tyrakowska B, Zieliński R, Soffers AE, Rietjens IM. The influence of pH on antioxidant properties and the mechanism of antioxidant action of hydroxyflavones. *Free Radic Biol Med* 2001; 31(7): 869-881.
24. Kim GD, Lee YS, Cho JY, Lee YH, Choi KJ, Lee Y, Han TH, Lee SH, Park KH, Moon JH. Comparison of the content of bioactive substances and the inhibitory effects against rat plasma oxidation of conventional and organic hot peppers (*Capsicum annuum* L.). *J Agric Food Chem* 2010; 58(23): 12300-12306.
25. Jeong CH, Choi SG, Heo HJ. Analysis of nutritional compositions and antioxidative activities of Korean commercial blueberry and raspberry. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2008; 37(11): 1375-1381.
26. Seeram NP, Aviram M, Zhang Y, Henning SM, Feng L, Dreher M, Heber D. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *J Agric Food Chem* 2008; 56(4): 1415-1422.
27. Vanzani P, Rossetto M, De Marco V, Rigo A, Scarpa M. Efficiency and capacity of antioxidant rich foods in trapping peroxy radicals: a full evaluation of radical scavenging activity. *Food Res Int* 2011; 44(1): 269-275.
28. Park YK, Kim JS, Kang MH. Concord grape juice supplementation reduces blood pressure in Korean hypertensive men: double-blind, placebo controlled intervention trial. *Biofactors* 2004; 22(1-4): 145-147.
29. Park YK, Lee SH, Park E, Kim JS, Kang MH. Changes in antioxidant status, blood pressure, and lymphocyte DNA damage from grape juice supplementation. *Ann N Y Acad Sci* 2009; 1171(1): 385-390.
30. Park YK, Park E, Kim JS, Kang MH. Daily grape juice consumption reduces oxidative DNA damage and plasma free radical levels in healthy Koreans. *Mutat Res* 2003; 529(1-2): 77-86.
31. Jeon EJ, Kim JS, Park YK, Kim TS, Kang MH. Protective effect of yellow-green vegetable juices on DNA damage in Chinese hamster lung cell using comet assay. *Korean J Nutr* 2003; 36(1): 24-31.
32. Kim HY, Park YK, Kim TS, Kang MH. The effect of green vegetable drink supplementation on cellular DNA damage and antioxidant status of Korean smokers. *Korean J Nutr* 2006; 39(1): 18-27.
33. Lee SM, Park KY, Rhee SH. Antimutagenic effect and active compound analysis of kale juice in salmonella assay system. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 1997; 26(5): 965-971.
34. Chung SY, Kim HW, Yoon S. Analysis of antioxidant nutrients in green yellow vegetable juice. *Korean J Food Sci Technol* 1999; 31(4): 880-886.
35. Chung SY, Kim NK, Yoon S. Nitrite scavenging effect of methanol fraction obtained from green yellow vegetable juices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 1999; 28(2): 342-347.