

한식 식품군의 *in vitro* 총 항산화능 (TDAC)과 *ex vivo* DNA 손상 보호효과와의 관련성*

이민영 · 한정화 · 강명희†

한남대학교 식품영양학과

Protective effect of Korean diet food groups on lymphocyte DNA damage and contribution of each food group to total dietary antioxidant capacity (TDAC)*

Lee, Min Young · Han, Jeong-Hwa · Kang, Myung-Hee†

Dept. of Food & Nutrition, Daedeok Valley Campus, Hannam University, Daejeon 34054, Korea

ABSTRACT

Purpose: This study was performed to compare total phenolic contents, *in vitro* antioxidant capacity, and reduction effect of Korean food groups on *ex vivo* DNA damage in human cells and analyze correlations between each indicator. **Methods:** Vegetable foods in the Korean diet based the results of the KNHANES V-2 (2011) were classified into 10 food groups: cereals, fruits, vegetables, nuts, kimchi, seaweeds, potatoes, mushrooms, legumes, and oils. Eighty-four foods constituted more than 1% of the total intake in each food group and finally designated as vegetable foods in the Korean diet. Total phenolic content of each food group was measured. Further, *in vitro* antioxidant capacity was measured based on DPPH radical scavenging assay, TEAC assay, and ORAC_{ROO} assay. *Ex vivo* DNA damage in human lymphocytes was assessed using comet assay. **Results:** Total phenolic contents of food groups of the Korean diet increased in the order of mushrooms, fruits, vegetables, seaweeds, and kimchi. Meanwhile, antioxidant rankings of food groups as mean values from the three *in vitro* test methods increased in the order of mushrooms, seaweeds, vegetables, kimchi, and fruits. Protection against *ex vivo* DNA damage in human lymphocytes was highest in mushrooms, followed by vegetables, fruits, seaweeds, and kimchi. The rankings of the food groups for total phenolic content, *in vitro* DAC, and *ex vivo* DNA protection activity were similar, and correlations between each indicator were significantly high. **Conclusion:** Mushrooms, fruits, vegetables, and seaweeds among the tested food groups in the Korean diet showed high total phenolic contents, *in vitro* antioxidant capacities, and protection against DNA damage. Correlations between each indicator in terms of total phenolic content, *in vitro* antioxidant capacity, and *ex vivo* DNA protection between each food group were found to be particularly high.

KEY WORDS: total dietary antioxidant capacity, Korean diet, DPPH, total phenolics, DNA damage

서 론

활성 산소 (reactive oxygen species, ROS)는 체내의 에너지 생성 과정 중 산소의 대사 과정에서 발생하는 물질이며, 체내 ROS가 증가하면 이는 세포를 공격하여 세포 파괴 및 자살을 유도할 뿐 아니라 DNA의 단일 및 이중 가닥을 손상시키거나 염기를 산화시키는 여러 유형의 DNA 손상을 유도한다.¹ 이렇게 산화된 DNA는 인체 내 많은 항산화

방어기전에 의해 DNA 손상이 제한되거나 광범위한 범위에서 DNA 복구가 이루어지기도 한다. 그러나 세포의 손상을 일으키는 ROS의 생성이 체내 항산화 방어 메커니즘의 능력을 초과하게 되면 산화 스트레스가 발생하게 되어 체내의 항산화 상태를 악화시키고 노화, 암, 심혈관계 질환 등을 발병시키는 원인이 된다.²

식물성 식품에는 영양소 외에 polyphenol, carotenoids, phytosterols 등 비 영양소 활성성분들이 풍부하게 들어있

Received: September 1, 2016 / Revised: September 17, 2016 / Accepted: October 5, 2016

*This study was supported by grants from the Basic Science Research Program of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology, Republic of Korea (NRF-2013R1A1A3006963).

†To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-42-629-8791, e-mail: mhkang@hnu.kr

© 2016 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.

으며 인체 건강을 유지하는데 중요한 역할을 담당하고 있다.³ 과일과 채소와 같은 식물성 식품의 섭취가 심혈관계 질환^{4,5}과 암^{6,7}을 포함한 다양한 퇴행성 질환의 발생을 낮추 준다는 것은 널리 알려져 있다. Serafini 등⁸은 지속적으로 과일/채소와 같은 식물성 식품을 섭취할 경우, 혈장에서 비 효소적항산화 활성 (non-enzymatic antioxidant capacity) 수준이 증가한다고 밝혔다.

여러 연구에서는 식물성 식품 속에 들어 있는 phenolic acid, flavonoids와 같은 폴리페놀 화합물의 중요성과 항산화활성에 대해 보고되었다.^{9,10} 구조적으로 다양한 phytochemical은 유사하거나 중복된 작용을 하거나 혹은 반대로 상반되는 작용을 할 수 있다.¹¹ 그러므로 우리가 섭취하는 식물성 식품의 건강상의 이익을 판단하기 위해서는 식품 속 단일 항산화 물질이 아닌 혼합 된 식품의 항산화활성을 평가하는 것이 필요하다.¹²

총 식사 항산화능 (total dietary antioxidant capacity, TDAC)이란 매일의 식사에서 섭취하는 모든 식물성 식품 및 음료의 항산화 활성의 합을 말하며, 식품으로부터 섭취하는 항산화 활성의 누적효과를 평가하는 도구로서 사용된다.¹³ 개별 식품 또는 식품 속 특정 물질의 항산화 활성은 식사로부터 섭취하는 총 항산화능을 나타내어 주지 못하므로 단일 식품의 항산화 활성을 측정하는 것보다 총 식사 항산화능인 TDAC를 측정하는 것이 중요하다.¹⁴ Hermsdorff 등¹⁵의 연구에 따르면 식사 총항산화능 (total antioxidant capacity)이 복부 비만과 포도당, 지질 바이오마커들 (total cholesterol, HDL-C ratio, triglyceride, oxidized-LDL concentrations)과 역의 상관관계가 있음을 발견 하였다. Wang 등¹⁶은 건강한 18~25세의 젊은 성인을 대상으로 dietary total antioxidant capacity (DTAC)와 plasma antioxidant status의 관련성을 관찰한 결과 DTAC가 혈장의 항산화 상태를 예측하기에 좋은 도구라고 보고 하였다.

식품의 항산화활성을 측정하는 방법에는 *in vitro* 화학적 측정법들 외에 생체 세포를 이용하는 생물학적 측정법이 있으며 최근 화학적 측정결과 보다는 생물학적 측정결과가 실제 생체 내에서의 항산화활성을 더 잘 나타내 준다는 의견이 설득력을 얻고 있다.¹⁷ 생체 내 깨진 DNA 단편을 염색 한 후에 전기영동에 의해 이동된 DNA의 길이를 측정하여 DNA의 손상 정도를 평가하는 단세포 전기영동법 (the single cell gel electrophoresis, comet assay)은 DNA 단일 또는 이중가닥의 손상을 세포 수준에서 평가할 수 있으므로 생체 내에서의 항산화활성을 반영 할 수 있다.¹⁸

식물성 식품의 건강상의 이익을 설명하기 위한 여러 선

행연구에서는 개별 식품 단위의 *in vitro* 항산화활성¹⁹ 또는 *ex vivo* 항산화 활성에 대한 연구²⁰가 각각 보고되었을 뿐 섭취량을 고려한 식품그룹 단위의 연구는 매우 제한되어 있다. 또한 최근 저자들의 실험실에서 *in vitro* 방식으로 식품군별 (KNHANES V-1) 총 식사항산화능 (TDAC)을 연구하고 총 페놀함량과 *in vitro* 실험법들 간의 상관성을 보고하였으나,²¹ 아직까지 우리나라 식품군의 항산화활성을 세포 DNA 손상 회복능을 관찰하는 *ex vivo* 방식으로 평가한 후, 지표들을 비교하여 그 상관성을 본 연구는 시도 되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 제5기 2차년도 국민건강영양조사 결과를 활용하여 한식 식품군의 총 페놀함량, *in vitro* 항산화활성, 그리고 인체세포를 이용한 *ex vivo* DNA 손상 감소효과를 비교하여 각 실험법들 간의 상관성을 분석하고, 각 한식 식품군의 TDAC에 대한 기여도를 알아보기 위해 수행되었다.

연구방법

시료의 구입 및 전처리

연구에서는 한식에서 섭취하는 식물성 식품을 선정하기 위해 제 5기 2차년도 국민건강영양조사 (국건영) 결과를 활용하였다 (Table 1). 식물성 식품을 10가지 식품군 (곡류, 과일류, 채소류, 견과류, 김치류, 해조류, 감자류, 버섯류, 오일류, 두류)으로 분류한 후, 각 식품군별 섭취량의 1% 이상을 섭취한 식품 84종을 한식의 식물성 식품으로 최종 선정 하였다. 선정된 식물성 식품은 대전 지역 시중에서 신선한 상태로 구입하였고, 식물성 식품과 기름은 각각 별도의 과정을 거쳐 전 처리 하였다. 식물성 식품의 섭취 방법은 식품마다 다양하므로 각 식품 마다 일반적으로 섭취할 수 있는 상태의 가공과정을 사용하여 처리하였다. 가열 조리 된 상태로 섭취하는 식품은 삶기, 데치기 등의 방법을 이용하여 처리하였으며, 조리가 필요하지 않은 식품은 세척하거나 구입 시 식품 상태 그대로 사용하였다. 전 처리된 한식의 식물성 식품은 각 식품 마다 국건영 결과에 따라 1인 1일 섭취량 비율로 혼합하여 10가지 식품군 샘플을 만들었으며, 이 10가지 식품군을 섭취량 비율대로 모두 혼합하여 만든 식품군인 총 한식 혼합군 (total군)을 포함하여 11가지 실험용 시료를 준비하였다. 준비 된 샘플은 동결건조 하여 분석 시까지 -20°C 냉동고에 저장하였다.

식품군 시료의 추출

한식의 10가지 식품군과 식품군 전체 혼합 샘플 (total)의 추출물 시료를 제조하기 위해 각 샘플이 들어 있는 시험관

Table 1. Intake of plant foods and oils in the Korean diet (KNHANES V-2, 2011)

Food group (plant foods and oils) ¹⁾	Intake ²⁾ (g/day)	Food group (plant foods and oils)	Intake (g/day)
Cereals		Vegetables	
Rice	180.86	Onions	23.68
Rice cake	15.14	Red peppers	21.81
Glutinous rice	10.17	Tomatoes	20.33
Noodles	9.58	Cucumbers	14.93
Barley	6.80	Green onions	11.01
Brown rice	6.60	Chinese cabbage	10.40
Corn	5.53	Squash	9.78
Flour	5.02	Radish leaves	9.14
Buckwheat noddles	3.73	Soybean sprouts	8.83
Noodle soup	3.41	Radishes	7.06
Total	246.84	Spinach	6.64
Potatoes		Lettuce	6.57
Potato	20.90	Carrots	5.43
Sweet potato	13.03	Sesame leaf	4.70
Chinese noodle	1.21	Garlic	4.06
Starch	0.71	Cabbage	3.45
Arrowroots	0.58	Leeks	2.67
Total	36.43	Eggplants	2.45
Fruits		Bracken	2.44
Citrus fruits	34.73	Chwinamuls	2.18
Apples	31.12	Total	177.56
Persimmons	18.94	Kimchi	
Pears	16.56	Chinese cabbage kimchi	62.98
Water melons	16.49	Cubed radish kimchi	8.54
Grapes	12.63	Young leafy radish kimchi	5.98
Oranges	8.20	Dong chi mi	5.42
Musk melons	8.13	Small radish kimchi	6.02
Banana	6.14	Na bak kimchi	5.70
Strawberries	5.21	Watery young leafy radish kimchi	2.95
Peaches	4.87	Cucumber kimchi	1.64
Japanese apricots	4.61	Beak kimchi	1.24
Kiwies	2.16	Green onions kimchi	1.10
Total	169.79	Total	101.57
Mushrooms		Nuts	
Oyster mushrooms	1.33	Chestnuts	0.80
Pine mushrooms	1.36	Sesame	0.65
Oak mushrooms	1.25	Peanuts	0.92
Winter mushrooms	0.52	Perilla seeds	0.36
White mushrooms	0.49	Walnuts	0.24
Phellinus linteus	0.23	Ginkgo nuts	0.08
Total	5.18	Pine nuts	0.06
Legumes		Total	3.11
Tofu	21.26	Seaweeds	
Soybean milk	10.91	Sea mustard	7.06
Soybean	3.80	Sea tangle	1.91
Kidney beans	0.66	Laver	1.38
Red beans	0.60	Green laver	0.34
Total	37.23	Total	10.69
Oils			
Soybean oil	3.49		
Sesame seed oil	1.47		
Wild sesame seed oil	0.21		
Rape seed oil	0.27		
Total	5.44		

1) Individual items that comprised more than 1% of the total dietary intake by the group selected in this study are representative of the plant foods commonly consumed in the Korean diet.

2) g of edible portion / day / person

에 50% 메탄올 (methanol : D.W = 50 : 50)을 넣고 실온에서 1시간 동안 shaking 하였다. 그 다음 시험관을 3,000 rpm에서 30분 동안 원심분리한 후 상등액을 회수하였다. 같은 시험관에 다시 70% 아세톤을 넣고 실온에서 1시간 동안 shaking 한 후에 원심분리하여 상등액을 회수하였다. 회수된 메탄올과 아세톤 추출물을 섞어서 추출물 시료를 완성하였다. 오일류의 경우 99.9% 메탄올 2 ml와 오일류 2 g을 섞은 후 30분 동안 아주 강하게 저어 섞은 다음 3,000 rpm, 20°C에서 15분 동안 원심분리 하였다. 그 다음 메탄올 층을 따라낸 다음 다시 메탄올 2 ml를 섞어 원심분리 하여 다시 추출하였다. 두 번의 메탄올 추출물을 합하여 시료를 완성하였다. 각각의 메탄올-아세톤 추출물, 오일류의 메탄올 추출물을 *in vitro* 총 페놀 함량과 항산화 활성, DNA 손상 정도를 측정하는 시료로 사용하였다.

총 페놀 함량 측정

Folin-Ciocalteu Phenol법²²⁾에 따라 시험관에 시료 희석액 1 ml, 95% ethanol 1 ml, 증류수 5 ml을 가한 후 50% Folin-Ciocalteu Phenol reagent 0.5 ml를 넣고 혼합하여 상온에서 5분간 반응시킨 다음 Na₂CO₃ 1 ml을 넣고 암실에서 1시간 동안 반응 시켰다. 이 혼합 용액은 spectrophotometer (Shimadzu Inc., Kyoto, Japan)를 사용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, gallic acid를 표준물질로 하여 표준곡선을 작성한 후 총 페놀화합물을 정량하였다.

항산화활성 측정

DPPH radical scavenging capacity

96-well micro-plate (white)에 120 µM DPPH/ethanol solution (99.9%) 190 µl와 농도 별로 희석한 시료 10 µl를 넣고 37°C에서 30분 동안 항온유지 한 후 517 nm에서 ELISA reader (Tecan Austria, Salzburg, Austria)를 사용하여 흡광도를 측정하였다.²³⁾ 식품군 시료의 항산화활성은 각 농도 별 산화 억제 값 (inhibition %)을 slope 방정식을 통해 계산하여 radical을 50% 저해하는 농도인 IC₅₀ (the half maximal inhibitory concentration)으로 나타내었으며, 이 값이 작을수록 항산화 활성이 높은 것으로 해석하였다.

TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) assay

7 mM ABTS와 2.45 mM K₂S₂O₈을 D.W. 5 ml에 녹인 후 호일에 씌워 상온에서 12~16시간 방치 하여 ABTS radical을 생성시킨 후 D.W.로 희석하여 734 nm에서 흡광도 값 0.70 (± 0.02)인 ABTS 희석용액을 만들었다. ABTS 희석용액 990 µl에 식품군 추출물 시료 10 µl를 첨가하여 6분간 방치 후 spectrophotometer (Shimadzu Inc., Kyoto, Japan)

를 사용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 항산화 활성은 trolox standard curve를 이용하여 산출하였으며, 모든 결과는 trolox equivalents (TE, μM)으로 환산하여 나타내었다.

ORAC_{ROO}· (oxygen radical absorbance capacity) assay

형광표준용액 80 nM fluorescein solution 100 μl , 식품군 추출물 시료 50 μl , peroxy 라디칼 생성을 위한 80 mM AAPH (2,2'-azobis(2-amidino-propane) dihydrochloride) 50 μl 를 잘 혼합한 후 GENios fluorescence plate reader (TECAN Trading AG, Switzerland)를 이용하여 37°C에서 2분 간격으로 형광 값을 측정하였다 (excitation wavelength 485 nm, emission wavelength 535 nm). 시료의 결과 값은 각 시료의 형광이 감소하는 곡선 아래 부분의 총 면적 (net area under the curve)을 산출하여 trolox에 의해 보호된 curve area와 비교하여 trolox equivalents (TE)로 나타내었다.²⁴

식사 항산화능 (DAC) 산출 및 총 식사 항산화능 (TDAC)에 대한 기여도 평가

식품군의 식사 항산화능 (dietary antioxidant capacity, DAC)은 각 식품군의 일정 단위당 항산화능에 그 식품의 섭취량을 고려하여 구할 수 있다.²¹ 본 연구에서 항산화활성에 측정에 사용된 모든 시료는 동결건조된 시료로 진행하였으나 식품 섭취량을 고려한 DAC를 산출하기 위해서는 동결건조 전 신선한 식품의 항산화활성이 필요하다. 따라서 신선한 식품의 항산화활성은 식품의 동결건조 전 (fresh)과 동결건조 후 (dry)의 무게로부터 구한 계수동결건조계수 (freeze-drying factor)를 사용하여 환산하였다. *In vitro* 실험법 (DPPH, TEAC, ORAC_{ROO}·)을 이용하여 측정된 항산화활성과 각 식품군의 일일 일인 평균 섭취량을 고려하여 DAC를 계산한 후 총 식사 항산화능 (total dietary antioxidant capacity, TDAC)에 대한 각 식품군의 기여도를 평가하였다. 계산식은 다음과 같다.

Dietary antioxidant capacity (DAC)

= mean of antioxidant capacity (DPPH, ORAC_{ROO}·,

TEAC (TE, μM) \times per capita daily intake /
freeze drying food (g)

Freeze - drying factor = $\frac{\text{fresh food (g)}}{\text{freezdry food (g)}}$

Alkaline comet assay를 이용한 DNA damage 측정

본 연구는 건강한 성인을 대상으로 채혈하여 한식 식품

군의 DNA 손상 감소 효과 여부를 알아보는 인체 대상 연구이므로 수행에 앞서 한남대학교 인체연구심의위원회 (IRB)의 승인을 받았다 (2013-07k). 건강한 20대 성인 여성 5명의 자발적인 동의를 받아 채혈을 진행하였으며, 채혈된 신선한 전혈은 3시간 이내에 임파구를 분리하였다. 분리된 임파구에 식품군 10종 (버섯류, 채소류, 과일류, 해조류, 김치류, 견과류, 두류, 감자류, 곡류, 오일류) 및 총 한식 혼합군 (total군) 1종을 포함한 11종의 식품군 시료를 최대 손상 감소 효과가 나타난 50 $\mu\text{g/ml}$ 농도로 처리하여 DNA 손상 감소 효과를 comet assay로 알아보았다.

Comet assay는 Singh 등²⁵의 방법에 따라 진행하였다. 추출물 시료를 4°C에서 30분 동안 임파구 세포에 반응시키고 PBS로 세척 한 다음 산화스트레스에 의한 DNA 손상을 유발시키기 위해, 전처리한 임파구 세포에 100 μM 의 H₂O₂를 가하여 4°C에서 5분 동안 반응시킨 다음 PBS로 세척하였다. 일련의 과정을 마친 임파구를 채취하여 75 μl 의 0.85% low melting agarose gel (LMA)와 섞은 후 0.75%의 normal melting agarose (NMA)가 precoating 된 fully frosted slide 위에 분산시켜 cover glass로 덮어 준 후 4°C 냉장고에서 겔을 굳혀 주었다. Cell lysis를 위해 차가운 alkali lysis buffer (2.5 M NaCl, 100 mM Na₂EDTA, 10 mM Tris)에 1%의 triton X-100와 10% dimethyl sulfoxide를 섞은 후 slide를 담가 암실에서 1시간 동안 저온에서 침지시켜 DNA double strand를 풀어주었다. Lysis가 끝난 슬라이드에 4°C에서 냉장 보관 하였던 electrophoresis buffer (300 mM NaOH, 10 mM Na₂EDTA, pH > 13)를 채워 40분 동안 unwinding시켜 DNA의 알칼리에 취약한 부위가 드러나게 한 후 25 V, 300 \pm 3 mA의 전압을 걸어 20분 동안 전기영동하였다. 전기영동이 끝난 후 Tris 완충용액 (pH 7.4)에 5분씩 총 3번의 세척을 반복한 후 슬라이드를 건조시켰다. Comet image 분석을 위해 20 $\mu\text{l/ml}$ 농도의 ethidium bromide로 핵을 염색하여 형광 현미경 (Leica, Germany)상에서 관찰하고, CCD camera (Nikon, Japan)를 통해 보내진 각각의 세포 image는 comet image analyzing system (Kinetic image 4.0, UK)이 설치된 컴퓨터상에서 분석하였다.²⁶ 결과 값은 핵으로부터 끌려 나온 꼬리의 길이 (tail length, TL), 꼬리 부분에 포함된 DNA % (% DNA in tail, TD), TL과 TD를 곱한 값 (tail moment, TM)의 세가지 지표로 나타냈으며, 이 지표 값은 작을수록 DNA 손상이 적은 것을 의미한다.

통계처리

모든 통계분석은 statistical package for social science (SPSS-PC+, version 22)를 이용하였으며, 각 식품군으로부터

터 얻은 결과 값은 평균 \pm 표준편차 또는 표준오차 (mean \pm SD or SE)로 나타내었다. 식품 그룹 간 비교를 위해 one-way ANOVA를 시행하여 F값을 구하고 Duncan's multiple range test를 이용하여 그룹 간 유의적 차이를 검증하였다 ($p < 0.05$).

결 과

국건영 1인 1일 섭취량 비율대로 혼합된 11가지 식품군의 총 페놀함량과 항산화활성을 비교한 결과 Fig. 1과 같다. 11가지 식물성 식품군 중 버섯류가 가장 높은 페놀함량을 나타내었으며, 그 다음이 과일류와 채소류였고, 그 다음으로 해조류, 김치류, 견과류, 한식혼합, 감자류, 두류의 순이었으며, 곡류와 오일류의 페놀함량은 상대적으로 낮게 나타났다 (Fig. 1(a)). IC_{50} 으로 본 식품군의 DPPH radical 소거활성을 보면 앞의 총페놀함량과 비슷한 경향을 보여 버섯류, 채소류, 과일류, 해조류, 한식혼합, 견과류 및 김치류에서 높았고, 그 다음이 두류와 감자류였으며, 곡류와 오일류의 항산화활성은 매우 낮았다 (Fig. 1(b)). 이와 같은 경향은 TEAC assay에서도 마찬가지로 나타나 버섯류의 항산화활성이 유의적으로 가장 높았고, 그 다음이 해조류, 과일류, 채소류, 견과류 및 한식혼합이었으며, 그 다음으로 두류, 김치류 및 감자류였고, 곡류 및 오일류의 항산화 활성이 가장 낮게 나타났다 (Fig. 1(c)). ORAC_{ROO} assay를 이용하여 항산화활성 비교해본 결과에서는 해조류가 가장 높은 항산화활성을 보였으며, 그 다음으로 버섯류, 채소류, 김치류, 과일류, 감자류, 두류, 한식혼합 및 견과류의 순을 보였으며, 역시 곡류와 오일류의 항산화 활성이 매우 낮게 나타났다 (Fig. 1(d)).

3가지 *in vitro* 실험법 (DPPH, TEAC, ORAC_{ROO})을 모두 포함한 식품군의 항산화활성을 비교하기 위해 세가지 실험법의 단위를 trolox equivalent (TE)으로 전환한 후, 각 항산화활성을 평균내어 산출해 본 식품군의 항산화활성은 Fig. 2와 같다. 역시 버섯류, 해조류 및 채소류의 항산화 활성이 가장 높았으며 그 다음이 김치류, 과일류, 한식혼합, 감자류, 두류, 견과류의 순이었으며, 곡류와 유지류의 항산화 활성이 가장 낮게 나타났다.

한국인이 하루 동안 섭취한 식사로부터 얻을 수 있는 모든 식물성 식품의 총항산화활성 (total dietary antioxidant capacity, TDAC)을 추정하기 위해 세가지 실험법의 평균 값으로부터 얻은 항산화활성 (dietary antioxidant capacity, DAC)과 그 식품군의 일일 평균 섭취량 (per capita daily intake in the Korean diet)을 곱하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 또한 이렇게 계산한 하루 한국인 식사의 TDAC로

부터 각 식품군의 기여도를 알아 본 결과는 Fig. 3과 같다. 섭취량으로 볼 때 곡류의 섭취가 가장 많으므로 한국인의 식사에 대한 TDAC의 기여도도 곡류가 33.4%로 가장 높았으며, 그 다음이 과일류 (23.9%)였으며, 이어서 채소류 (12.7%), 김치류 (11.2%), 감자류 (7.3%), 두류 (4.6%), 해조류 (3.3%)의 순서를 보였고, 견과류 (1.7%), 버섯류 (1.1%) 및 오일류 (0.7%)의 기여도가 가장 낮았다 (Fig. 3).

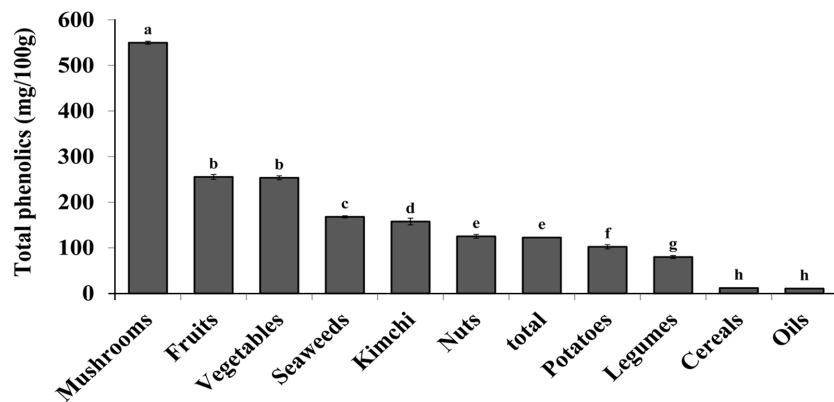
건강한 성인 여성 5명을 대상으로 채혈한 후 임파구 분리하여 여기에 식품군 10종 (버섯류, 채소류, 과일류, 해조류, 김치류, 견과류, 두류, 감자류, 곡류, 오일류) 및 총 한식혼합군 (total) 1종을 포함한 11종의 식품군을 처리하여 DNA 손상 감소 효과를 COMET assay로 알아본 결과는 Table 3 및 Fig. 4와 같다. Tail moment 지표로 본 DNA 손상은 식품 추출물을 처리하지 않은 positive control (H_2O_2)에 비해 버섯류, 채소류 및 과일류에서 가장 낮아 DNA 손상의 회복 효과가 가장 높음을 보였고, 그 다음은 해조류, 김치류, 견과류, total, 두류, 감자류, 곡류 및 오일류의 순이었다 (Fig. 4). 이와 같은 결과는 % DNA in tail 지표 및 Tail length 지표에서도 비슷하게 나타나 버섯류의 DNA 손상 보호효과가 가장 뛰어났으며, 그 다음이 채소류, 과일류, 해조류 등의 순서인 것으로 나타났다 (Table 3).

본 연구에서 사용한 한식 식품군을 대상으로 총 페놀함량, 3가지 *in vitro* 항산화 활성 측정법, 그리고 *ex vivo* 세포 임파구 DNA 손상 회복능력을 측정하는 comet assay 등 각 측정법 간의 상관관계를 본 결과는 Table 4와 같다. 먼저 총 페놀함량과 다른 실험법 간의 상관관계를 보면 *in vitro*에서는 DPPH 소거능 실험법 ($r = 0.881$)과 TEAC assay ($r = 0.874$)가 가장 높았고, 그 다음이 *ex vivo* comet assay ($r = 0.863$)였다. *Ex vivo* comet assay와 가장 상관관계가 깊은 실험법은 *in vitro* DPPH 소거능 실험법 ($r = 0.961$)이었으며, 세가지 *in vitro* 실험법을 평균한 값 ($r = 0.895$)과도 상관관계가 높았다.

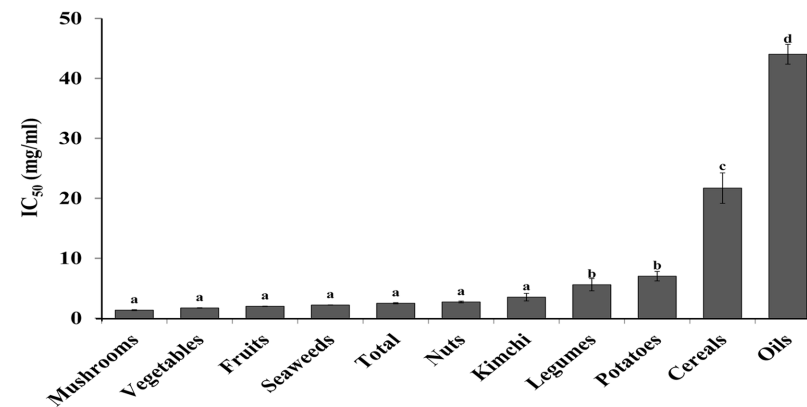
고 찰

본 연구에서 한식 식물성 식품군의 페놀함량과 *in vitro* 항산화 활성은 버섯류에서 가장 많이 나타났고, 과일류, 채소류, 해조류, 견과류, 김치류 등의 순이었다. 또 *ex vivo* 방법으로 수행한 인체 임파구 DNA 손상 회복 효과는 버섯류, 채소류, 과일류 및 해조류의 순서로 나타났다. 아직까지 국내외적으로 섭취량을 고려한 버섯류 추출물과 채소류 추출물의 항산화 활성을 비교한 연구는 보고된 바 없다. Saura-Calixto 등은 과일, 채소, 전곡 등 식물성 식품들로 구성된 지중해식 식단의 식품군 별 총 페놀함량과 항산화

(a) Total phenolic assay



(b) DPPH radical scavenging assay



(c) TEAC assay

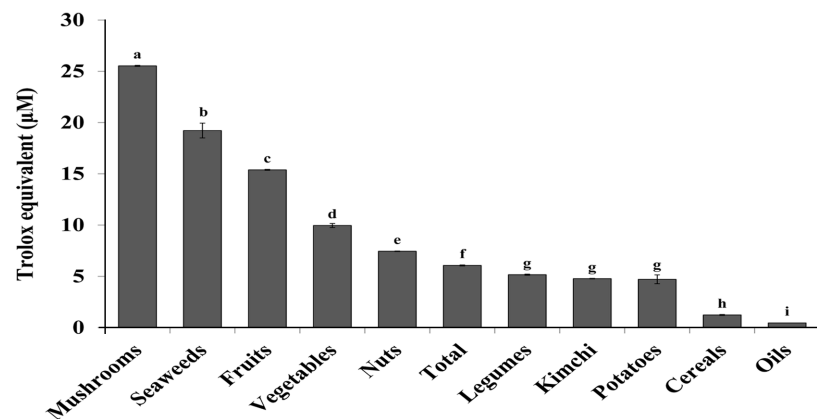
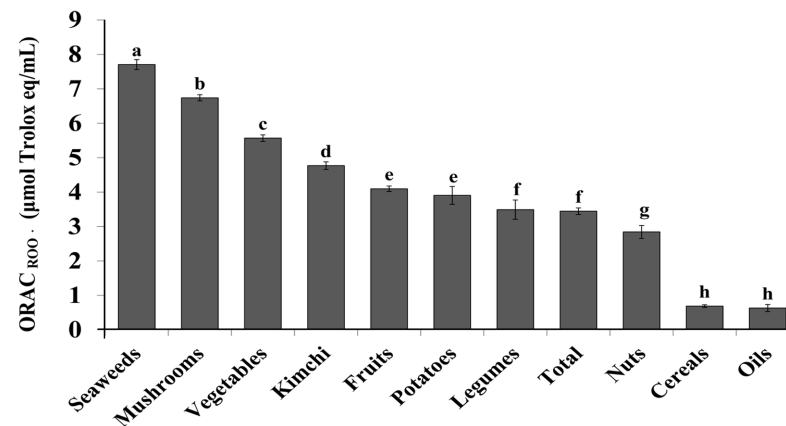
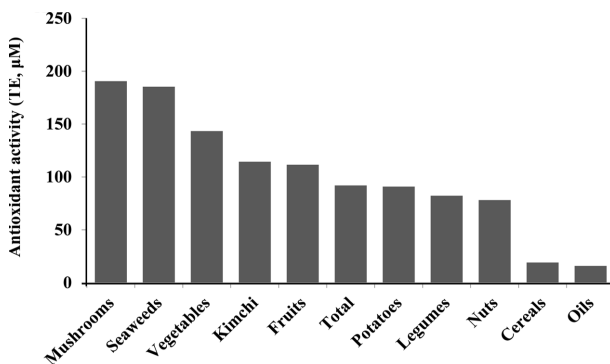
(d) ORAC_{ROO·} assay

Fig. 1. Total phenolic content and antioxidant capacity of plant foods based on the dry mater of the edible part in the Korean diet. Different letters are significantly different among groups by Duncan's multiple range test. Total: mixture of 10 Korean plant food groups

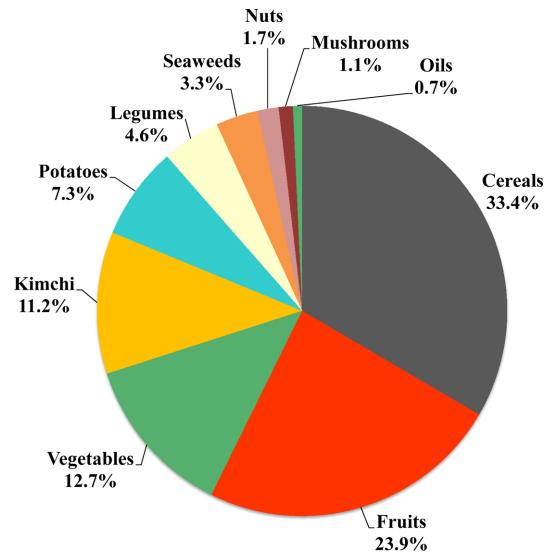
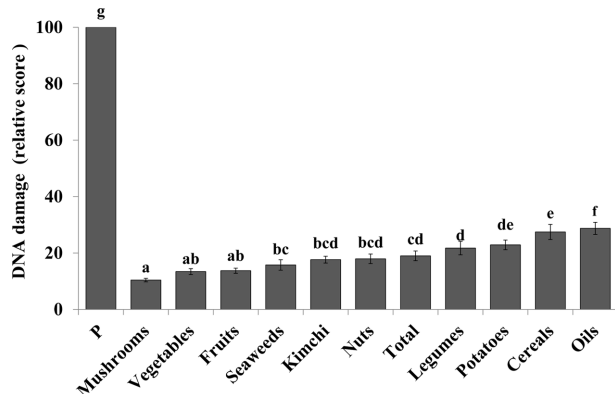
Table 2. Total dietary antioxidant capacity (TDAC) of food based on per capita daily intake in the Korean diet

Food group	Mean DAC ¹⁾ (TE, μ M)	Daily Intake (g of edible portion/ person)	Freeze-drying factor ²⁾	TDAC
Cereals	19.08	246.84	1.18	3976
Fruits	111.56	169.79	6.67	2839
Vegetables	143.36	177.56	16.79	1516
Kimchi	114.38	101.57	8.72	1332
Potatoes	90.89	36.43	3.80	871
Legumes	82.20	37.23	5.58	548
Seaweeds	185.33	10.69	5.02	395
Nuts	78.13	3.11	1.22	199
Mushrooms	190.57	5.18	7.45	132
Oils	15.83	5.44	1	86
Total dietary antioxidant capacity (TDAC)				11,815

1) Dietary antioxidant capacity (DAC) = mean of antioxidant capacity (DPPH, ORAC_{ROO}, TEAC (TE, μ M) \times per capita daily intake / freeze-drying factor 2) Freeze-drying factor: Fresh weight of food (g) / dry weight of food after freeze-drying (g)

**Fig. 2.** Comparison of *in vitro* antioxidant activity of plant foods in Korean diet. Total: mixture of 10 Korean plant food groups

활성을 분석한 연구에서 견과류, 과일류, 채소류가 높은 페놀함량과 항산화활성을 보였다고 보고하였다.²⁷ 또한 본 실험실에서 수행된 선행연구에서 제5기 1차년도 결과를 바탕으로 81종의 우리나라 식물성 식품을 11가지 식품군으로 나누어 항산화활성 (DPPH, TEAC, ORAC_{ROO})을 측정된 결과 총 페놀함량과 항산화활성이 채소류에서 가장 높았으며, 과일류, 과일주스, 견과류, 버섯류 등의 순으로 나타났다.²¹ 본 연구에서도 채소류, 과일류, 견과류 등에서 항산화활성이 높았던 것은 선행연구들과 비슷하였으나, 특히 버섯류에서 총 페놀함량과 항산화 활성, 그리고 *ex vivo* 임파구 DNA 손상 회복 효과까지 모두 가장 높게 나타난 것은 선행연구들과는 차이를 보인다. 특히 제5기 국건영 1차년도 조사결과를 사용하여 본 연구실에서 수행한 선행연구²¹에서 버섯류보다 채소류에서 항산화 활성이 가장 높게 나온 것과는 차이를 보였는데, 이는 아마도 선행

**Fig. 3.** Contribution of total antioxidant capacities (mean of DPPH, ORAC and TEAC) from all plant foods as a percentage of total dietary antioxidant capacities (TDAC) from per capita daily intake in the Korean diet (KNHANES V-2, 2011). The TDAC values were obtained by multiplying the total antioxidant capacity of each food group and the intake of each food.**Fig. 4.** Relative score of lymphocyte DNA damage by Comet assay expressed as tail moment (TM) of different food groups in Korean diet. Different letters are significantly different among groups by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). P: positive control (H_2O_2) Total: mixture of 10 Korean plant food groups

연구에서 사용한 버섯류의 버섯 종류와 본연구에서 사용한 버섯류의 버섯 종류가 달랐던 것과 관련이 있을 것으로 생각된다. 즉 제5기 국건영 1차년도 조사결과를 사용한 선행연구에서는 버섯류 섭취량 중 우리나라 국민이 1% 이상 섭취한 버섯 종류가 느타리버섯, 송이버섯, 표고버섯과 팽이버섯이었는데 비해, 제5기 국건영 2차년도 조사결과를 사용한 본 연구에서 버섯류 섭취량 중 우리나라 국민이 1% 이상 섭취한 버섯 종류가 기존의 버섯 외에 양송이버섯과 상황버섯이 추가되었다. 버섯류의 항산화 활성을 비

Table 3. Protective effect on lymphocyte DNA damage by Comet assay expressed as TM, TL, TD of food groups in whole blood

Food groups	Tail moment	Tail length	% DNA in tail
Mushrooms	89.6 ± 0.6 ^{1)a2)}	84.5 ± 1.5 ^a	74.4 ± 2.9 ^a
Vegetables	86.6 ± 1.0 ^{ab}	79.5 ± 1.0 ^b	71.5 ± 2.5 ^{ab}
Fruits	86.3 ± 0.9 ^{ab}	80.1 ± 2.2 ^b	70.5 ± 3.4 ^{ab}
Seaweeds	84.2 ± 1.2 ^{ab}	77.3 ± 0.6 ^{bc}	67.4 ± 3.2 ^{abc}
Kimchi	82.3 ± 1.9 ^{bc}	76.5 ± 0.5 ^{bc}	62.1 ± 3.7 ^{abc}
Nuts	82.0 ± 1.7 ^{bc}	77.9 ± 0.8 ^{bc}	62.7 ± 4.5 ^{abc}
Total	81.0 ± 1.7 ^{bc}	74.4 ± 1.2 ^{cd}	63.5 ± 3.0 ^{abc}
Legumes	78.2 ± 1.7 ^c	71.8 ± 2.0 ^{de}	56.4 ± 3.5 ^{cd}
Potatoes	77.1 ± 2.4 ^{cd}	71.5 ± 1.7 ^{de}	57.6 ± 5.4 ^{bcd}
Cereals	72.5 ± 2.1 ^{de}	67.7 ± 1.6 ^{ef}	46.0 ± 5.1 ^d
Oils	71.3 ± 2.7 ^e	63.8 ± 1.1 ^f	47.7 ± 7.3 ^d

1) Mean ± SE; All values are relative score (%) for the positive control (H₂O₂), the maximum amount of DNA damage. 2) Means with different superscripts in the same column are significantly different by the least significant difference test.

Table 4. Correlation between DNA damage protective effect and antioxidant capacities (total phenolic contents, DPPH, ORAC_{ROO·}, and TEAC)

	Total phenolic contents	COMET (ex vivo)
Total phenolic contents	-	0.863***
DPPH	0.881*** ²⁾	0.961***
ORAC _{ROO·}	0.753**	0.850**
TEAC	0.874***	0.843**
COMET (ex vivo)	0.863**	-
Mean DAC ¹⁾ (TE, μm)	0.803**	0.895***

1) Dietary antioxidant capacity (DAC) = mean of antioxidant capacity (DPPH, ORAC_{ROO·}, TEAC (TE, μM) × per capita daily intake / freeze-drying factor 2) **p < 0.01, ***p < 0.001

교해 볼 때, 상황버섯과 양송이버섯의 항산화 활성이 다른 버섯보다 높다는 연구²⁸⁾를 비롯하여 식용버섯인 느타리버섯, 송이버섯, 표고버섯, 팽이버섯 등에 비해 상황버섯이나 차가버섯 등 약용버섯의 경우 DPPH 라디칼 소거능으로 본 항산화 활성이 5배 이상 높다는 연구,²⁹⁾ 그리고 상황버섯의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 다른 버섯류에 비해 가장 높았으며, 비타민 C 보다도 항산화 활성이 높았다는 연구³⁰⁾ 등으로 볼 때 본 연구에서 상황버섯과 양송이버섯이 버섯류에 추가된 것이 버섯류의 항산화활성을 높이는 데 부분적으로 기여할 수 있을 것으로 여겨진다. 또 선행연구²¹⁾에서는 버섯의 구입시기가 겨울이었던 것에 비해 본 연구에서는 여름이어서 아마도 동일한 버섯류라고 해도 재배 조건, 수확 시기, 품종 등에 따라 항산화활성이 다르게 나타날 수도 있을 것이다.^{31,32)} 본 연구에서 사용한 버섯류 중 가장 섭취량이 많았던 것이 느타리버섯이었고, 그 다음이 송이버섯, 표고버섯, 팽이버섯, 양송이버섯 및 상황

버섯이었는데, 특히 우리나라 사람들이 주로 섭취하는 버섯 종류에서 식품군 중 가장 높은 항산화 활성이 나왔다는 이와 같은 결과는 한식의 항산화 우수성을 연구할 때 매우 소중한 기초자료가 되리라고 본다. 물론 현재 우리나라 식사에서 버섯류의 섭취량이 다른 식품군에 비해 많지 않아서 한식의 총항산화능에서 차지하는 기여도는 1.1% 밖에 되지 않으나 (Fig. 3) 앞으로 버섯류를 이용한 많은 조리법과 다양한 레시피를 개발하여 한국인의 항산화 활성을 높일 수 있는 구체적인 방법에 대한 정책적인 고려가 필요할 것이다. 나아가 앞으로 버섯류에서 항산화활성을 보이는 유효 기능성분을 찾아내고 이를 중심으로 건강기능식품을 개발하는 일도 광범위하게 시도되어야 할 것이다.

식물의 2차 대사산물의 주요 물질인 페놀화합물은 페놀기 (-OH)를 가지고 있기 때문에 단백질 및 거대 물질들과 쉽게 결합하여 항산화 효과, 항균효과 등 생리활성 기능을 가진다.³³⁾ 본 연구에서도 식물성 식품의 총 페놀함량과 *in vitro* 항산화활성의 상관관계를 관찰한 결과 각각 DPPH method (r = 0.881), TEAC method (r = 0.874), ORAC method (r = 0.753)의 순서로 상관관계가 높은 사실을 확인하였다. 이와 같은 결과는 본 연구실에서의 선행연구²¹⁾ 결과와도 일치하는 결과이며, 페놀 함량과 항산화활성 사이의 높은 상관관계가 있다고 보고한 Saura-Calixto와 Goni²⁷⁾의 연구와도 같은 경향을 보였다 (r = 0.9924, FRAP method/ r = 0.9446, ABTS method). 개별식품인 산수유를 분석한 결과, 총 페놀함량이 높을수록 DPPH 라디칼 소거능, superoxide dismutase 활성, ORAC assay에 의한 항산화 활성이 높아 양의 상관관계를 보임도 보고되었다.³⁴⁾

이와 같이 많은 선행연구들에서 식물의 총 페놀함량과 *in vitro* 항산화활성 분석법 간의 양의 상관관계가 있음을 보고하고 있으나 최근 *in vitro* 항산화 활성 분석법보다 더 의미 있는 결과를 도출하는 생체 세포를 이용한 *ex vivo* 실험법을 사용하여 식품의 항산화 활성 분석 방법들 간의 상관성을 본 연구들은 많지 않다. 본 연구에서는 *in vitro* 항산화 활성 외에 *ex vivo* 방법으로 인체 임파구 DNA 손상 정도를 측정한 결과, 11가지 식품군 중 가장 많은 페놀 화합물을 가지고 있었던 버섯류의 *ex vivo* DNA 손상 보호효과가 가장 높았으며, 다른 식품군 역시 페놀함량 및 *in vitro* 항산화 활성이 높을수록 *ex vivo* DNA 손상 보호효과가 높음을 보여 DNA 손상 보호효과와 총 페놀함량 (r = 0.853) 및 *in vitro* 항산화 활성 (DPPH, r = 0.961; ORAC, r = 0.850; TEAC, r = 0.843)과의 상관성이 매우 높게 나타났다. Jayakumar와 Kanthimathi³⁵⁾는 여러 가지 향신료에서 페놀함량이 높을수록 DNA 손상 보호효과가 높았으며, 암세포 증식 억제효과도 높아진다고 보고하여 본 연구결과

를 뒷받침 해 주었다.³⁵ 그러나 이와는 달리 식물의 페놀 함량과 DNA 손상 보호효과 사이에 상관관계가 나타나지 않았다는 보고도 있는데,³⁵ 이는 페놀 성분 이외 다른 유효 성분들이 DNA 손상 회복에 더 크게 기여하기 때문인 것으로 사료된다. 현재까지 총 페놀 함량과 *ex vivo* DNA 손상 보호효과의 상관관계에 대한 연구는 개별 식품 단위로 진행되어 왔으며, 개별 식품 속 성분에 따라 유전 독성을 나타내기도 한다.³⁶ 따라서 본 연구에서 보인 한식 식품군의 총 페놀 함량 및 *in vitro* 항산화 활성과 *ex vivo* DNA 손상 보호효과 사이의 높은 상관관계는 항산화활성이 높은 식물성 식품의 섭취와 질병과의 역의 상관관계를 연구한 여러 선행연구^{4,7}의 결과를 뒷받침 하는 기초 자료로 사용될 수 있을 것이며, 나아가 한식의 건강상의 이로움을 증명할 수 있는 도구가 될 수 있을 것이다.

매일의 식사 (Korean diet)에서 식물성 식품으로부터 섭취할 수 있는 모든 항산화활성을 나타내는 총 항산화능 (TDAC)에 대한 각 식품군의 기여도를 평가 한 결과 곡류가 33.4%로 가장 높은 기여도를 보였으며, 과일류 (23.9%), 채소류 (12.7%), 김치류 (11.2%), 감자류 (7.3%) 등의 순으로 나타났다. 이와 같은 결과는 국건영 1차년도 자료를 사용하여 한식 식품군의 총 항산화능에 대한 기여도를 평가한 선행 연구²¹에서 곡류가 39.7%로 가장 높은 기여도를 보였으며, 과일류 (27.8%), 채소류 (13.9%), 김치류 (4.5%), 감자류 (4.4%) 등의 순으로 나타난 것과 같은 경향이다. 한식은 밥, 국, 채소를 이용한 다양한 반찬으로 구성되어 있으며, 김치는 매 식사 때 마다 제공 된다.³⁷ 밥을 주식으로 하는 우리나라의 식사 패턴으로 인해 1인 1일 곡류의 섭취는 246.8 g으로 전체 식품섭취량의 31.1%를 차지하며, 버섯류와 해조류는 각각 0.6%, 1.3%를 차지한다. 따라서 *in vitro* 실험법 (DPPH, TEAC, ORAC_{ROO})으로 본 곡류의 항산화활성이 매우 낮았음에도 불구하고 총 항산화능 (TDAC) 기여도가 가장 높게 나타났으며, 반대로 항산화활성이 높았던 버섯류와 해조류는 총 항산화능 (TDAC) 기여도가 낮음을 보였다. 이는 총항산화능이 각 식품의 항산화 활성과 그 식품의 섭취량으로부터 계산되기 때문이다. 즉 곡류의 경우는 섭취량이 매우 높고, 버섯류와 해조류는 항산화 활성은 높으나 실제 섭취량이 낮기 때문에 총항산화능이 낮게 나타난다. 만약 식품섭취량에 대한 고려 없이 각 식품별 혹은 각 식품군별 항산화 활성만 측정한다면 개별 식품이 식사 안에서 차지하는 항산화활성에 대해 과평가 될 위험이 있다. 따라서 식품 또는 whole diet의 건강상의 이익을 설명하기 위해서는 개별적인 식품의 항산화활성 뿐만 아니라 식품 섭취량의 개념을 결합하여 총 항산화능으로써 항산화활성을 평가 하는 일이 중요할 것이다. 본 연

구결과 총 항산화능 (TDAC)에 대해 가장 높은 기여도를 보인 곡류가 한식의 건강상의 이익에 주된 역할을 하고 있음을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

본 연구에서 샘플로 사용된 곡류군은 쌀 (rice)이 73.3%로 가장 많이 섭취되고 있으며, 떡 (rice cake) 6.1%, 찰쌀 (glutinous rice) 4.1%, 라면 (noodles) 3.9%, 보리 (barley) 2.8%, 현미 (brown rice) 2.7%의 순으로 전곡이 아닌 도정된 쌀을 주로 섭취하고 있다. 일반적으로 도정된 곡류 (refined rice)보다는 전곡 (whole grain)을 섭취하는 것이 질병의 위험을 낮춘다고 알려져 있다. 여러 cohort 선행 연구에서 전곡 (whole grain) 섭취와 심혈 관계 질환, 뇌졸중, 관상동맥 심장 질환의 상관관계를 연구한 결과, 전곡의 섭취가 많을수록 심혈 관계 질환 등 여러 질병의 발생과 역의 상관관계가 있다고 보고하였다.³⁸ 또한 전곡의 섭취가 많을수록 BMI가 낮고, 고혈압 또는 고콜레스테롤을 유병률이 적었으며, 2형 당뇨병에 대한 상대적 위험도가 낮았다는 보고도 있다.³⁹ 그러나 Enright L과 Slavin J⁴⁰의 연구에서 전곡과 도정된 곡류의 섭취 후 혈장 항산화활성을 비교하기 위해 14일 동안 무작위-교차 식이 중재연구를 실시한 결과 전곡과 도정된 곡류를 섭취한 두 그룹 사이의 혈장 항산화활성에 유의적 차이를 보이지 않았다. 또한 6주간 무작위-교차 식이 중재 연구를 통해 전곡과 도정된 곡류의 섭취 후에 인슐린 민감성과 지질과산화, 염증반응 marker의 차이를 측정한 결과 전곡 섭취가 공복 시 혈당에 영향을 미치지 않았으며, 지질과산화와 염증반응 마커에서도 도정된 곡류를 섭취 했을 때와 차이를 보이지 않았다.⁴¹ 이러한 결과는 본 연구에서 사용된 곡류가 전곡이 아닌 도정된 곡류로 구성되어 있음에도 불구하고 섭취량이 많음으로 인해서 한식 전체의 항산화활성에 상당부분 기여한다는 사실을 증명한다. 그러므로 식사 패턴과 질병의 상관관계 연구에 있어 개별 식품이나 식품군의 항산화능뿐 만 아니라 그 식품(군)의 섭취량을 고려해야 하는 총항산화능 (TDAC)의 개념은 식사의 올바른 항산화활성을 평가하는 기준이 될 수 있으며, 나아가 질병 예방을 위해 한식을 활용한 정책 개발의 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

결론적으로, 본 연구에서 한식 식품군의 총페놀 함량, *in vitro* 항산화활성, 그리고 인체세포를 이용한 *ex vivo* DNA 손상 보호효과를 측정하여 이 측정법들 간의 상관성을 비교한 결과, 한식 식품군의 총 페놀함량, *in vitro* 항산화 활성 및 세포 수준에서 평가한 *ex vivo* DNA 손상 보호효과의 순위가 비슷한 경향을 보였으며 각 실험법들 간의 상관성도 매우 높게 나타났다. 본 연구에서 사용한 11가지 한식 식품군 중에서 버섯류의 *in vitro* 항산화 활성과 *ex vivo* DNA 손상 보호효과가 가장 높게 나타났으며, 채소류와 과

일류, 그리고 해조류가 그 다음의 순이었다. 이로써 한식 식품군, 특히 버섯류가 우수한 항산화활성을 갖고 있으며, 생체 내에서 산화스트레스로부터 세포를 보호 할 수도 있음을 보여준다. 한식의 총 항산화능 (TDAC)은 식품군의 섭취량을 고려하여 계산되므로, 항산화활성이 가장 낮았던 곡류가 한식의 총 항산화능에 가장 큰 기여를 하고 있다는 사실을 다시 한 번 확인하였으며, 식사의 올바른 항산화 활성 평가를 위해서는 섭취량을 고려한 총 항산화능의 개념으로 접근할 필요성을 보여준다. 본 연구에서는 식사의 항산화활성 평가도구로서 TDAC의 유용성을 밝히고, 한식 식품군의 *in vitro* 항산화 활성과 *ex vivo* DNA 손상 보호효과의 높은 상관관계를 증명하였다. 이러한 결과는 식물성 식품이 풍부한 한식 식사패턴을 유지하는 것이 인체 내에서 산화스트레스로 인한 손상을 보호하여 질병을 예방할 수 있을 가능성이 있음을 증명한다.

요 약

본 연구는 제5기 2차년도 국민건강영양조사 결과를 활용하여 한식 식품군의 총 페놀 함량, *in vitro* 항산화활성 및 인체세포를 이용한 *ex vivo* DNA 손상 감소효과를 비교하고, 각 지표간의 상관성을 분석하며, 한식의 총 식사 항산화능에 대한 각 식품군의 기여도를 알아보기 위해 수행되었다. 제5기 2차년도 국민건강영양조사 결과를 바탕으로 한식의 식물성 식품을 10가지 식품군 (곡류, 과일류, 채소류, 견과류, 김치류, 해조류, 감자류, 버섯류, 두류, 오일류)으로 분류한 후 각 식품군별로 총 섭취량의 1% 이상 섭취한 식품 84종을 한식의 식물성 식품으로 최종 선정하였다. 각 식품군의 총 페놀함량을 측정하였고, DPPH radical scavenging assay, TEAC assay, ORAC_{ROO·} assay를 사용하여 *in vitro* 항산화능을 측정하였다. 한식의 식품군별 항산화능 (dietary antioxidant capacity, DAC)은 *in vitro* 항산화활성 평균값과 각 식품군의 1일 섭취량을 고려하여 계산하였고 한식 TDAC는 각 식품군의 DAC로의 합으로 구하였으며, TDAC에 대한 각 식품군 항산화능의 기여도를 평가하였다. 인체 임파구에서의 *ex vivo* DNA 손상 정도는 comet assay를 사용하여 평가하였다. 한식 식품군의 총 페놀함량은 버섯류, 과일류, 채소류, 해조류, 김치류 등의 순으로 높았으며, 3가지 *in vitro* 실험법을 평균한 식품군의 항산화활성 순위는 버섯류, 해조류, 채소류, 김치류, 과일류 등의 순이었다. 각 식품군의 항산화활성에 식품섭취량을 고려하여 계산한 한식의 TDAC에 대한 식품군의 항산화능 기여도는 곡류가 33.4%로 가장 높았으며, 과일류 (23.9%), 채소류 (12.7%), 김치류 (11.2%) 등의 순으로 나

타났다. 인체 임파구에서 *ex vivo* DNA 손상 보호효과는 버섯류에서 가장 높았으며, 그 다음 채소류, 과일류, 해조류, 김치류의 순으로 나타났다. 각 식품군의 페놀함량과 *in vitro* 항산화 활성, 그리고 *ex vivo* DNA 보호효과의 순위가 비슷하게 나타났으며 각 지표간의 상관성은 매우 높았다. 한식 식품군 중 버섯류, 과일류, 채소류, 해조류에서 총 페놀함량과 항산화 활성, DNA 손상 보호효과가 높게 나타났다. 각 식품군의 총 페놀함량과 *in vitro* 항산화 활성, *ex vivo* DNA 보호효과 지표 간의 상관성은 매우 높았다. 한식의 TDAC에 대한 식품군별 항산화능 기여도는 곡류가 가장 높았고, 그 다음이 과일류, 채소류, 김치류의 순이었다. 이러한 결과는 앞으로 한식의 우수성을 항산화 측면에서 밝히는데 매우 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

1. De Bont R, van Larebeke N. Endogenous DNA damage in humans: a review of quantitative data. *Mutagenesis* 2004; 19(3): 169-185.
2. Benzie IF. Evolution of antioxidant defence mechanisms. *Eur J Nutr* 2000; 39(2): 53-61.
3. Saura-Calixto F, Goñi I. Definition of the Mediterranean diet based on bioactive compounds. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2009; 49(2): 145-152.
4. Hertog MG, Feskens EJ, Hollman PC, Katan MB, Kromhout D. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen elderly study. *Lancet* 1993; 342(8878): 1007-1011.
5. Hertog MG, Kromhout D, Aravanis C, Blackburn H, Buzina R, Fidanza F, Giampaoli S, Jansen A, Menotti A, Nedeljkovic S, Pekkarinen M, Simic BS, Toshima H, Feskens EJ, Hollman PC, Katan MB. Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Arch Intern Med* 1995; 155(4): 381-386.
6. Doll R. An overview of the epidemiological evidence linking diet and cancer. *Proc Nutr Soc* 1990; 49(2): 119-131.
7. Hertog MG, van Poppel G, Verhoeven D. Potentially anticarcinogenic secondary metabolites from fruit and vegetables. In: Tomás-Barberán FA, Robins RJ, editors. *Phytochemistry of Fruit and Vegetable*. Oxford: Clarendon Press; 1997. p.313-329.
8. Serafini M, Del Rio D, Crozier A, Benzie IF. Effect of changes in fruit and vegetable intake on plasma antioxidant defenses in humans. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(2): 531-532.
9. Mullen W, Marks SC, Crozier A. Evaluation of phenolic compounds in commercial fruit juices and fruit drinks. *J Agric Food Chem* 2007; 55(8): 3148-3157.
10. Luthria DL, Pastor-Corrales MA. Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *J Food Compos Anal* 2006; 19(2-3): 205-211.
11. Wang S, Meckling KA, Marcione MF, Kakuda Y, Tsao R. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. *J Agric Food Chem* 2011; 59(3): 960-968.

12. Lila MA. Interactions between flavonoids that benefit human health. In: Gould K, Davies KM, Winefield C, editors. *Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Application*. New York (NY): Springer; 2009. p. 305-320.
13. Yang M, Chung SJ, Chung CE, Kim DO, Song WO, Koo SI, Chun OK. Estimation of total antioxidant capacity from diet and supplements in US adults. *Br J Nutr* 2011; 106(2): 254-263.
14. Serafini M, Del Rio D. Understanding the association between dietary antioxidants, redox status and disease: is the total antioxidant capacity the right tool? *Redox Rep* 2004; 9(3): 145-152.
15. Hermsdorff HH, Puchau B, Volp AC, Barbosa KB, Bressan J, Zulet MÁ, Martínez JA. Dietary total antioxidant capacity is inversely related to central adiposity as well as to metabolic and oxidative stress markers in healthy young adults. *Nutr Metab (Lond)* 2011; 8: 59.
16. Wang Y, Yang M, Lee SG, Davis CG, Koo SI, Chun OK. Dietary total antioxidant capacity is associated with diet and plasma antioxidant status in healthy young adults. *J Acad Nutr Diet* 2012; 112(10): 1626-1635.
17. Rockett JC, Burczynski ME, Fornace AJ Jr, Herrmann PC, Krawetz SA, Dix DJ. Surrogate tissue analysis: monitoring toxicant exposure and health status of inaccessible tissues through the analysis of accessible tissues and cells. *Toxicol Appl Pharmacol* 2004; 194(2): 189-199.
18. Collins A, Dusinská M, Franklin M, Somorovská M, Petrovská H, Duthie S, Fillion L, Panayiotidis M, Raslová K, Vaughan N. Comet assay in human biomonitoring studies: reliability, validation, and applications. *Environ Mol Mutagen* 1997; 30(2): 139-146.
19. Suh JH, Paek OJ, Kang YW, Ahn JE, Yun JS, Oh KS, An YS, Park SH, Lee SJ. Study on the antioxidant activity in the various vegetables. *J Food Hyg Saf* 2013; 28(4): 337-341.
20. Jeon EJ, Park YK, Kim JS, Kang MH. Comparison of the protective effect of antioxidant vitamins and fruits or vegetable juices on DNA damage in human lymphocyte cells using the comet assay. *Korean J Nutr* 2004; 37(6): 440-447.
21. Han JH, Lee HJ, Cho MR, Chang NS, Kim YR, Oh SY, Kang MH. Total antioxidant capacity of the Korean diet. *Nutr Res Pract* 2014; 8(2): 183-191.
22. Randhir R, Shetty P, Shetty K. L-DOPA and total phenolic stimulation in dark germinated fava bean in response to peptide and phytochemical elicitors. *Process Biochem* 2002; 37(11): 1247-1256.
23. 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.
24. Lee YJ, Lee SW, Lee SC, Park EJ. Antioxidant activities and antigenotoxic effect of ethanol extracts of *Acorus gramineus*, *Bud of Aralia elata* Seem, *Capsella bursa-pastoris*, and *Taraxacum officinale*. *J Basic Sci* 2014; 31: 45-58.
25. 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.
26. Park YK, Kim JS, Jeon EJ, Kang MH. The improvement of chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract supplementation on the blood glucose and cellular DNA damage in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutr* 2009; 42(1): 5-13.
27. Saura-Calixto F, Goñi I. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. *Food Chem* 2006; 94(3): 442-447.
28. Choi SJ, Lee YS, Kim JK, Ki JK, Lim SS. Physiological activities of extract from edible mushrooms. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2010; 39(8): 1087-1096.
29. Qi Y, Zhao X, Lim YI, Park KY. Antioxidant and anticancer effects of edible and medicinal mushrooms. *Molecules* 2015; 20: 19489-19525.
30. Song YS, Kim SH, Sa JH, Jin C, Lim CJ, Park EH. Anti-angiogenic, antioxidant and xanthine oxidase inhibition activities of the mushroom *Phellinus linteus*. *J Ethnopharmacol* 2003; 88(1): 113-116.
31. Kim HY, Koo SC, Kang BK, Lee YH, Kim HT, Yun HT, Baek IY, Jeong HS, Choi MS. Growth characteristics of sprouts and changes of antioxidant activities in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with cultivated temperature. *Korean J Crop Sci* 2014; 59(2): 201-207.
32. Woo KS, Seo HI, Lee YH, Kim HY, Ko JY, Song SB, Lee JS, Jung KY, Nam MH, Oh IS, Jeong HS. Antioxidant compounds and antioxidant activities of sweet potatoes with cultivated conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2012; 41(4): 519-525.
33. Kim SM, Na MS. A study on skin care effects of rapeseed meal extract. *KSBB J* 2013; 28(3): 177-184.
34. Lee MH, Kim JM, Park EJ. Antioxidant and antigenotoxic effect of Sansuyu fruit (*Cornifrutus*) extracted with various solvents. *Cancer Prev Res* 2013; 18(1): 66-73.
35. Jayakumar R, Kanthimathi MS. Dietary spices protect against hydrogen peroxide-induced DNA damage and inhibit nicotine-induced cancer cell migration. *Food Chem* 2012; 134(3): 1580-1584.
36. Madrigal-Bujaidar E, Diaz Barriga S, Mota P, Guzman R, Cassani M. Sister chromatid exchanges induced in vitro and in vivo by an extract of black pepper. *Food Chem Toxicol* 1997; 35(6): 567-571.
37. Kim SH, Kim MS, Lee MS, Park YS, Lee HJ, Kang SA, Lee HS, Lee KE, Yang HJ, Kim MJ, Lee YE, Kwon DY. Korean diet (K-diet): characteristics and historical background. *J Ethn Food* 2016; 3(1): 26-31.
38. Mellen PB, Walsh TF, Herrington DM. Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2008; 18(4): 283-290.
39. Fung TT, Hu FB, Pereira MA, Liu S, Stampfer MJ, Colditz GA, Willett WC. Whole-grain intake and the risk of type 2 diabetes: a prospective study in men. *Am J Clin Nutr* 2002; 76(3): 535-540.
40. Enright L, Slavin J. No effect of 14 day consumption of whole grain diet compared to refined grain diet on antioxidant measures in healthy, young subjects: a pilot study. *Nutr J* 2010; 9(1): 12-19.
41. Andersson A, Tengblad S, Karlström B, Kamal-Eldin A, Landberg R, Basu S, Aman P, Vessby B. Whole-grain foods do not affect insulin sensitivity or markers of lipid peroxidation and inflammation in healthy, moderately overweight subjects. *J Nutr* 2007; 137(6): 1401-1407.