

과채류 농축액의 항산화 및 상승효과

정수지 · 심희령 · 이지수 · 남희섭¹ · 이현규*

한양대학교 식품영양학과, ¹동원F&B 동원식품과학연구원

Antioxidant and Synergistic Activities of Fruit and Vegetable Concentrates

Su Ji Jeong, Hee Ryung Shim, Ji-Soo Lee, Hee Sop Nam¹, and Hyeon Gyu Lee*

Department of Food and Nutrition, Hanyang University

¹Research & Development Center, Dongwon F&B

Abstract The principal objective of this study was to investigate the antioxidant and synergistic effects of fruit and vegetable concentrates. Ten foods from two categories, including fruits (raspberry, blackberry, blueberry, acai berry, aronia, cranberry, wild berry, and red grape) and vegetables (spinach and cabbage) were combined in pairs. The antioxidant activity of the individual and combined samples was measured using DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate) and FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. Synergistic antioxidant activities of the combinations of cabbage and acai berry, and blueberry and cranberry showed the most significant ($p<0.05$) increase in the DPPH and FRAP assays, respectively. In addition, the combination of cabbage and red grape demonstrated significantly high synergistic interaction in both DPPH and FRAP assays ($p<0.05$). These results indicate the importance of strategic selection of foods and their composition ratio for maximum synergistic antioxidant activity.

Keywords: antioxidant activity, fruit, vegetable, synergistic effect

서 론

체내 조직의 산화적 손상은 당뇨병을 비롯하여 죽상동맥경화증, 류마티스 관절염과 같은 만성질환의 가장 근본적인 요인으로 알려져 있다(1). 정상적인 세포 대사과정 중에서도 hydrogen peroxide (H_2O_2), superoxide ion (O_2^-), hydroxyl radical (OH^\cdot)와 같은 활성산소가 생성된다(1,2). 정상적인 경우에는 체내에 존재하는 효소적 및 비효소적 항산화 시스템에 의해 활성 산소가 제거되지만, 항산화 시스템에 이상이 초래되거나 각종 물리적 및 화학적 요인들에 의해 활성산소가 과도하게 생성되면 산화적 스트레스가 유발된다(2,3). 따라서 산화적 스트레스로부터 인체를 보호하기 위하여 항산화 물질을 섭취함으로써 체내 항산화 균형을 유지하고자 노력하고 있다. 합성 항산화제는 항산화 활성과 경제적 측면에서 유리하여 널리 이용되어 왔으나, 생체효소나 지방에 대한 변이원성 및 독성, 발암성 등 안전성이 지적되면서 최근에는 합성 항산화제를 대체할 수 있는 효과적이고도 안전한 천연 항산화제에 대한 관심이 증가되고 있다.

가장 대표적인 항산화 식품은 널리 알려진 바와 같이 과일과 야채 등의 식물들이며 이들의 활성성분은 다양한 페놀산들을 비롯해서 flavanol, flavanones, flavones, flavonol, isoflavones, anthocyanin 등을 포함하는 플라보노이드류, 항산화성 비타민들

(vitamin C & E)로 보고되었다. 천연 항산화 물질에 대한 여러 연구에 따르면 다양한 과일들 중에서도 아사이베리를 비롯하여 블루베리, 블랙베리, 크랜베리 등 각종 베리류들의 항산화 활성이 높았다(4). 또한, 전 세계 과일 생산량의 약 30% 차지하고 있는 포도는 resveratrol을 비롯한 각종 항산화 성분들이 함유되어 있어 라디칼 소거능 및 환원능 등 우수한 항산화 활성이 보고되었다(5). 채소류의 총 페놀 함량과 항산화 활성에 대한 연구결과, 양파, 시금치, 양배추, 케일의 항산화 활성이 높았으며, 특히 시금치는 다른 채소류와 비교했을 때 페놀 함량이 월등히 높은 것으로 확인되었다(6). 이 외에도 감자, 마늘, 브로콜리 등도 항산화 활성이 높다고 보고되었으며(7-9), 채소류의 항산화 활성 능력은 myricetin, quercetin 등의 플라보노이드류 조성에 의해 주로 결정된다고 알려져 있다(10). 이상과 같이 항산화 활성이 높은 여러 과채류들의 활성성분들과 항산화 특성에 대한 연구가 매우 활발하게 수행되고 있다.

그러나 이러한 천연 항산화 물질들은 안전성이 확보된 반면 합성 항산화제와 비교했을 때 항산화 활성이 낮다는 문제가 지적되어왔다. 항산화 활성을 증진시킬 수 있는 가장 대표적인 방법은 항산화 성분들 간의 상승작용을 이용하는 것이다. 과일류 및 채소류에 다량 함유된 flavonoids는 페놀화합물과 피란고리를 구성하고 있는 벤조 고리 형태의 구조를 이루고 있으며 수산기, 메톡시기, 배당체의 배열에 따라 그 성분들의 활성 차이는 달라진다(11). 따라서 과채류들을 혼합할 경우에는 함유되어 있는 활성성분에 따라 각각의 단일 활성보다 상승 혹은 저해될 수도 있다(12). Hidalgo 등(13)에 따르면 플라보노이드 중 epicatechin과 quercetin-3-glucoside를 혼합하였을 때 가장 높은 항산화 상승작용이 나타난 반면 myricetin과 quercetin과 혼합 시에는 오히려 항산화 활성이 저해되는 현상이 나타났다. 항산화 상승작용에 대해

*Corresponding author: Hyeon Gyu Lee, Department of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
Tel.: 82-2-2220 1202
Fax: 82-2-2292, 1226
E-mail: hyeonlee@hanyang.ac.kr
Received August 14, 2014; revised December 23, 2014;
accepted December 26, 2014

연구는 많이 진행되어 왔지만 대부분 단일 활성성분들간의 혼합에 의한 활성의 변화 연구를 중심으로 수행되었고 항산화 식품인 과채류간의 혼합에 의한 항산화 활성 변화 연구는 거의 진행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 항산화 활성이 높은 과채류간의 혼합과 각 혼합비율이 항산화 상승작용에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 항산화 활성이 높은 과일과 채소류 각 8종과 2종의 단일 항산화 활성을 분석했으며, 이들을 혼합했을 때의 항산화 활성의 변화를 DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate) 라디칼 소거능과 FRAP (ferric reducing antioxidant power) 환원능 측정을 통해 분석하였다. DPPH 라디칼 소거능과 환원능 각각과 라디칼 소거능과 환원능 모두 가장 높은 상승작용을 나타내는 복합군 3종을 선정하고 혼합 비율별 활성을 측정하여 최적의 혼합비율을 결정하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에 사용된 과일류 8종(라즈베리, 블랙베리, 블루베리, 아사이베리, 크랜베리, 산머루, 적포도, 아로니아)와 채소류 2종(시금치, 양배추)의 농축액은 동원 F&B (Seoul, Korea)에서 제공받아 사용하였다. 항산화 활성 측정을 위한 DPPH, FeCl₃·6H₂O, (±)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetra-methylchromane-2-carboxylic acid (Trolox), 2,4,6-Tris (2-Pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 등은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다.

총 페놀 함량

총 페놀 함량은 Folin-Ciocalteu's phenol reagent와 시료의 페놀성 화합물의 혼합에 의한 발색반응을 이용하여 측정하였다. 각 시료 1mL에 Folin-Ciocalteu's phenol reagent 1mL과 10% Na₂CO₃ 용액 1mL을 혼합하였다. 혼합액을 상온에서 1시간 동안 방치한 후, 750 nm에서 흡광도(DU 650, Beckman Coulter Inc., Brea, CA, USA)를 측정하여 총 페놀 함량을 측정했으며, 표준물질은 gallic acid를 이용하였다(GAE μmole/g).

DPPH 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능은 Katsube 등(14)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 20 μL과 ethanol에 녹인 0.2 mM DPPH 용액 180 μL을 혼합하여 실온에서 45분간 방치한 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능은 다음의 식(1)을 이용하여 산출하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging effect (\%)} = \frac{(Ac - (As - Ab))}{Ac} \times 100 \quad (1)$$

Ac: Control의 흡광도

As: Sample의 흡광도

Ab: Sample Blank의 흡광도

시료들의 DPPH 라디칼 소거능은 대조군의 DPPH 라디칼을 50% 소거시키는 시료의 농도를 산출하여 EC₅₀ 값으로 나타내었다

FRAP 환원능

FRAP 환원능은 Benzie과 Strain (15)의 실험 방법을 이용하여 측정하였다. 반응액은 300 mM acetate buffer (pH 3.6), 10 mM TPTZ와 20 mM ferric chloride를 10:1:1 비율로 실험 직전에 제조

하여 사용하였다. 반응액 150 μL과 시료 50 μL를 혼합하여 4분간 반응시킨 후 595 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 FRAP 환원능은 trolox로 표준곡선을 작성하여 농축액 1 mL당 trolox μmole (μmole TE/g)로 표현하였다.

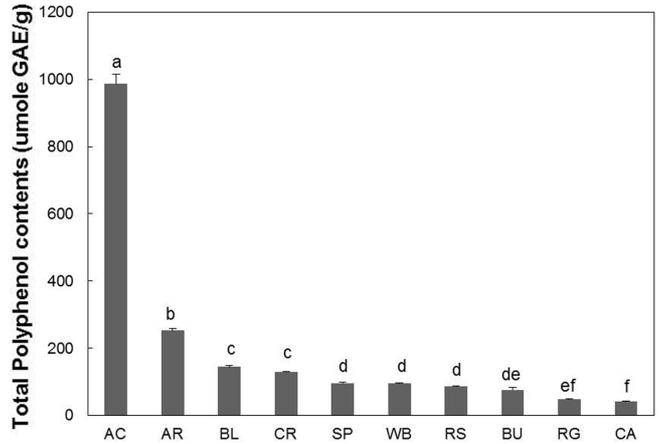


Fig. 1. Total polyphenol contents of fruit and vegetable concentrates. Total phenol content was expressed as gallic acid equivalent (μmole GAE/g). Values are means±standard deviation of three experiments. Different letters on the bars indicate significant differences (*p*<0.05). AC, acaiberry; AR, aronia; BL, blackberry; CR, cranberry; WB, wild berry; RS, raspberry; BU, blueberry; CA, cabbage; SP, spinach; RG, red grape.

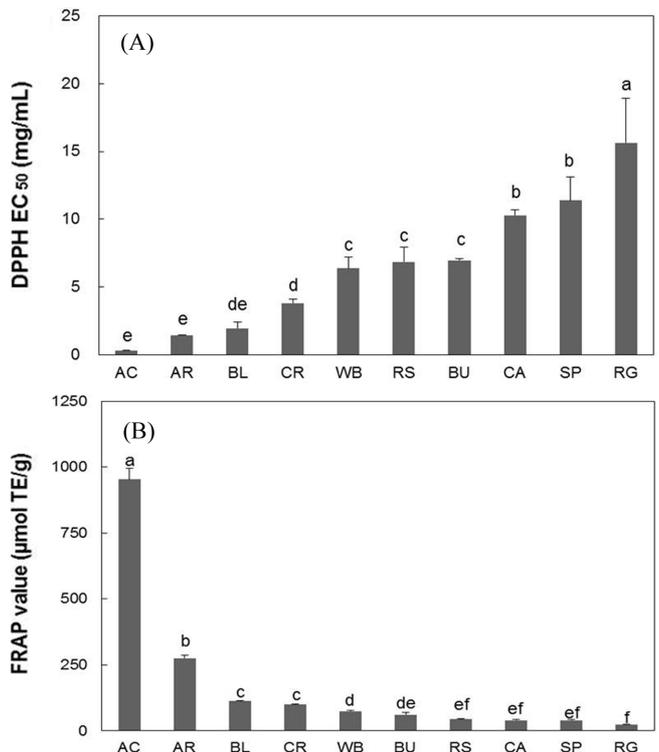


Fig. 2. Comparison of antioxidant activities of individual foods as measured by DPPH (A) and FRAP assay (B). DPPH radical scavenging FRAP reducing activity was expressed as EC₅₀ (mg/mL) and FRAP value (μmole TE/g), respectively. Values are means±standard deviation of three experiments. Different letters on the bars indicate significant differences (*p*<0.05). AC, acaiberry; AR, aronia; BL, blackberry; CR, cranberry; WB, wild berry; RS, raspberry; BU, blueberry; CA, cabbage; SP, spinach; RG, red grape.

통계 처리

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였고 실험에서 얻어진 결과는 SPSS (SPSS version 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 ANOVA로 비교분석 후 평균값±표준편차로 나타내었고 평균값의 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다.

결과 및 고찰

과채류의 총 페놀 함량 및 항산화 활성

높은 항산화 활성을 가지고 있다고 보고된 과일류 8종(라즈베리, 블랙베리, 블루베리, 아사이베리, 크랜베리, 산머루, 적포도, 아로니아)과 채소류 2종(시금치, 양배추)의 항산화 특성을 검토하기 위하여 먼저 각 시료에 함유되어 있는 페놀 함량을 측정하였다(Fig. 1). 식물계에 널리 분포되어 있는 주요 항산화 활성 성분인 페놀성 화합물은 구조 내에 함유되어 있는 phenolic hydroxyl기가 수소공여와 페놀 고리구조의 공명안정화를 통해서 항산화 활성을 발현시킨다고 보고되었다(16). 전체 시료 중 아사이베리의 페놀 함량이 986 $\mu\text{mole GAE/g}$ 으로 유의적으로 가장 높았으며 이러한 결과는 Kim 등의 결과와도 일치하는 것이다(16). 그 다음은 아로니아, 블랙베리, 크랜베리의 순으로 전반적으로 베리류에 페놀함량이 높은 것으로 관측되었다. 또한 실험에 사용된 모든 과채류는 모두 40 $\mu\text{mole GAE/g}$ 이상의 페놀 함량이 비교적 많이 함유되어 있는 것으로 확인되었다.

시료의 항산화 활성은 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 측정을 통하여 분석하였다(Fig. 2). DPPH 라디칼 소거능과 FRAP

환원능 모두 아사이베리가 유의적으로 가장 높은 활성을 나타냈으며 그 다음으로는 아로니아, 블랙베리, 크랜베리, 산머루의 순으로 확인되었으며 적포도가 가장 낮은 활성을 나타냈다. 아사이베리는 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능뿐만 아니라 ORAC (oxygen radical absorbance capacity) 수치 또한 매우 높는데, 이는 1,420-14,800 $\mu\text{mol TE/g}$ 의 높은 ORAC 수치를 나타내는 orietin, homoorietin, vitexin, luteolin, chrysoeriol, quercetin, dihydrokaempferol 등의 주요 플라보노이드가 함유되어 있기 때문으로 알려져 있다(4). 시료들 간에 다소의 차이가 있긴 하지만, 전반적으로 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능은 매우 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 페놀의 함량이 높았던 아사이베리와 아로니아, 블랙베리, 크랜베리는 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두 높은 경향을 나타내므로 과채류의 항산화 활성은 페놀함량과 밀접한 관련이 있다고 추정되며 이러한 결과는 Wang 등(12)의 연구결과와도 일치하는 것이다.

과채류 혼합군의 항산화 활성

과채류 혼합에 따른 항산화 활성을 관측하기 위하여 과채류 10종을 각각 혼합한 총 45군의 혼합군의 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능을 측정하였다. 이때 각 시료의 혼합 비율은 개별적 항산화 활성의 비율이 1:1이 되도록 하였으며, 각 시료들이 혼합됐을 때 산출되는 활성과 혼합군의 실측활성을 비교하여 실측활성이 유의적으로 증가되었을 때 상승작용(synergistic interaction)으로 판단하였다. 또한 실측활성이 산출활성보다 유의적으로 감소됐을 때는 길항효과(antagonistic interaction), 유의적 차이가 관측되지 않았을 때는 첨가효과(additive interaction)으로 판단하였다(12).

Table 1. DPPH radical scavenging activity of combinatorial samples

Sample	DPPH radical scavenging activity (%)			Synergistic interaction	Sample	DPPH radical scavenging activity (%)			Synergistic interaction		
BL+BU	O	46.0±3.1*	E	53.4	An	CR+AR	O	44.7±2.2*	E	51.6	An
BL+CR	O	41.5±2.1*	E	50.9	An	RS+WB	O	46.4±3.3*	E	51.6	An
BL+RS	O	41.5±2.7*	E	46.9	An	RS+RG	O	41.2±3.4*	E	46.1	An
BL+WB	O	36.6±5.1*	E	51.1	An	RS+AC	O	35.5±4.6*	E	43.6	An
BL+RG	O	30.1±4.1*	E	45.7	An	RS+CA	O	43.4±4.9	E	42.0	Ad
BL+AC	O	33.1±3.4*	E	43.2	An	RS+SP	O	34.8±4.6*	E	41.6	An
BL+CA	O	36.7±3.1*	E	41.6	An	RS+AR	O	44.5±1.8*	E	47.7	An
BL+SP	O	31.7±3.4*	E	41.2	An	WB+RG	O	48.5±3.6	E	50.4	Ad
BL+AR	O	43.8±2.7	E	47.2	Ad	WB+AC	O	46.6±3.9	E	47.9	Ad
BU+CR	O	51.4±4.6*	E	57.8	An	WB+CA	O	48.4±4.7	E	46.2	Ad
BU+RS	O	48.5±3.6*	E	53.8	An	WB+SP	O	39.8±4.6	E	45.9	Ad
BU+WB	O	47.5±1.1*	E	58.0	An	WB+AR	O	52.2±2.3	E	51.9	Ad
BU+RG	O	40.8±2.7*	E	52.6	An	RG+AC	O	49.9±1.7*	E	42.4	Sy
BU+AC	O	51.9±3.8	E	50.1	Ad	RG+CA	O	47.1±3.0*	E	40.8	Sy
BU+CA	O	45.6±3.5	E	48.5	Ad	RG+SP	O	42.9±2.9	E	40.4	Ad
BU+SP	O	52.2±3.6	E	48.1	Ad	RG+AR	O	46.6±1.5	E	46.5	Ad
BU+AR	O	46.7±2.3*	E	54.1	An	AC+CA	O	48.2±2.4*	E	38.3	Sy
CR+RS	O	38.9±4.2*	E	51.3	An	AC+SP	O	36.2±1.6	E	37.9	Ad
CR+WB	O	46.2±3.5*	E	55.5	An	AC+AR	O	45.1±1.3	E	44.0	Ad
CR+RG	O	46.5±3.4	E	50.1	Ad	CA+SP	O	39.1±2.7	E	36.3	Ad
CR+AC	O	45.0±2.8	E	47.6	Ad	CA+AR	O	48.0±1.0*	E	42.3	Sy
CR+CA	O	53.1±5.8	E	46.0	Ad	SP+AR	O	36.4±2.2*	E	41.9	An
CR+SP	O	46.0±3.4	E	45.6	Ad						

The asterisk indicates a significant difference between observed value and expected value ($p < 0.05$). AC, acai berry; AR, aronia; BL, blackberry; CR, cranberry; WB, wild grape; RS, raspberry; BU, blueberry; CA, cabbage; SP, spinach; RG, red grape; O, observed value; E, expected value; Sy, synergistic interaction; Ad, additive interaction; An, Antagonistic interaction

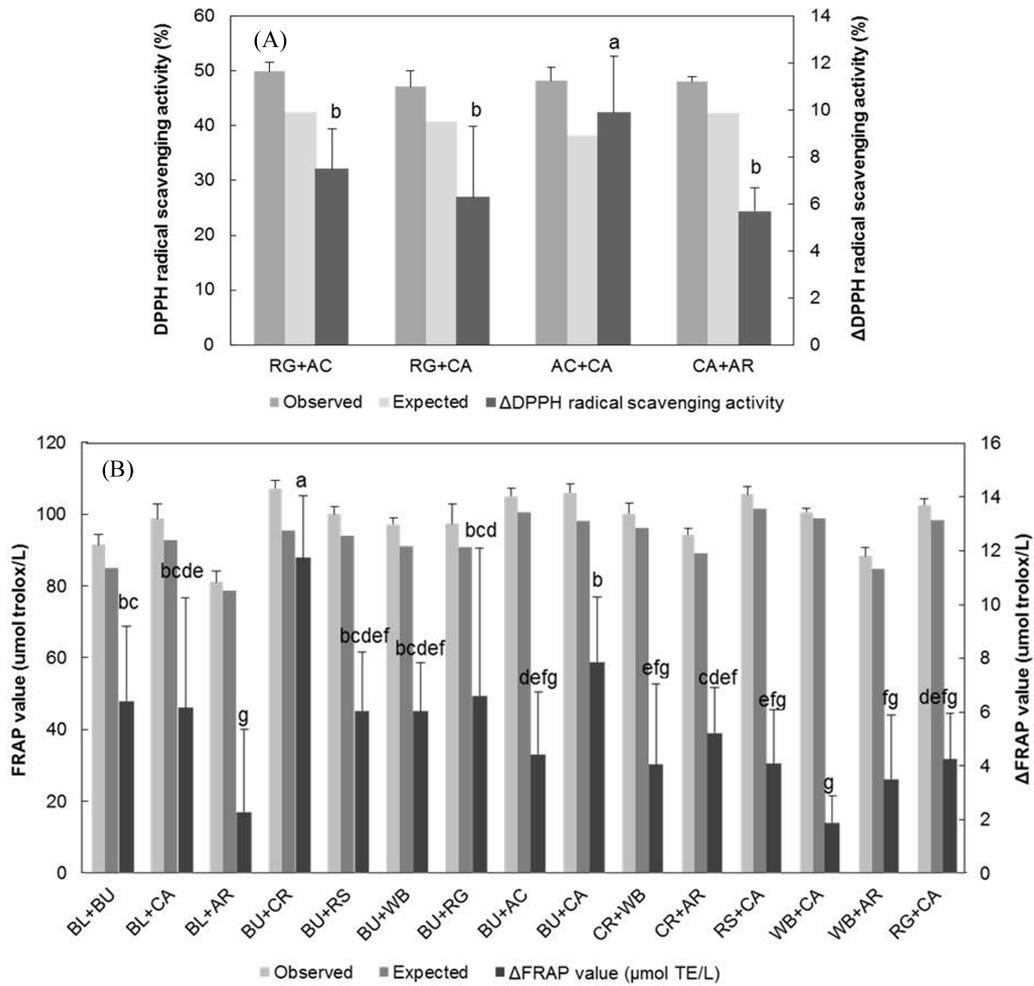


Fig. 3. Synergistic interaction of DPPH radical scavenging (A) and FRAP reducing activity (B) of combined samples. Values are means±standard deviation of three experiments. Different letters on the bars indicate significant differences ($p<0.05$). AC, acai berry; AR, aronia; BL, blackberry; CR, cranberry; WB, wild berry; RS, raspberry; BU, blueberry; CA, cabbage; SP, spinach; RG, red grape; Δ DPPH radical scavenging activity (%) = expected value (%) - observed value (%); Δ FRAP value ($\mu\text{mol TE/L}$) = expected value - observed value.

과채류 혼합군의 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과(Table 1), 총 45개의 혼합군 중 적포도+아사이베리, 적포도+양배추, 양배추+아로니아, 양배추+아로니아의 4개 복합군에서 상승작용을 나타냈으며 가장 높은 항산화 상승작용을 나타내는 복합군은 아사이베리와 양배추 혼합군으로 10%의 DPPH 라디칼 소거능이 증가되었다(Fig. 3A).

과채류 혼합군의 FRAP 환원능을 측정할 결과는 Table 2에 나타내었으며, 총 45개의 혼합군 중 15개의 복합군에서 상승작용을 나타냈다. 그 중 블루베리+크랜베리 혼합군이 약 12 $\mu\text{mol TE/L}$ 의 가장 높은 환원능 상승효과가 관측되었다(Fig. 3B). 또한 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두 상승작용을 나타낸 복합군들을 비교해 보면 적포도+양배추 복합군이 두 실험방법에서 공통적으로 큰 상승작용을 나타내고 있으므로 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두에서 가장 높은 상승작용을 나타내는 복합군으로 선별되었다.

혼합 비율에 따른 항산화 활성

항산화 활성이 가장 우수한 혼합비율을 결정하기 위하여, DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 각각과 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두에 가장 높은 상승작용을 나타내는 복합군의

혼합비율에 따른 항산화 활성의 변화를 관측하였다. 복합군의 혼합비율은 활성의 비율이 10:90, 30:70, 50:50, 70:50, 90:10이 되도록 각 시료의 농도를 조절한 후 활성을 측정하였으며 각 활성의 상승효과는 시료 혼합에 의해 산출된 값과 실측값과의 차이로 산출되었다.

DPPH 라디칼 소거능에 가장 높은 상승작용을 나타내는 양배추+아사이베리 복합군의 혼합 비율에 따른 활성을 측정하였다(Fig. 4). 양배추와 아사이베리의 활성 비율이 50:50 (%:%)가 되는 2.9:97.1 (w:w)의 혼합 비율일 때 8.7%의 가장 높은 상승작용이 측정되었다. 이는 혼합에 의해 산출된 DPPH 라디칼 소거능(49.3%)의 18%에 해당하는 수치로 매우 높은 상승작용을 나타내는 것으로 판단된다.

FRAP 환원능의 측면에서 상승작용이 가장 높았던 블루베리와 크랜베리의 혼합 비율에 따른 활성 변화를 관측한 결과는 Fig. 5와 같다. 블루베리와 크랜베리의 활성 비율이 30:70 (%:%)가 되는 80:20 (w:w)의 혼합 비율일 때 11.2 $\mu\text{mol TE/L}$ 의 유의적으로 가장 높은 상승작용이 측정되었다. 이는 산출된 FRAP 환원능의 12%에 해당하는 수치이다. 또한 블루베리와 크랜베리의 혼합비율에 따라서 상승효과는 1.5-12%까지 다양하게 관측되었다. 따라서 상승효과를 나타내는 복합군이라도 그 혼합비율에 따라 상승

Table 2. FRAP value of combinatorial samples

Sample	FRAP value (μmol trolox/L)	Synergistic interaction	Sample	FRAP value (μmol trolox/L)	Synergistic interaction
BL+BU	O 91.5±2.8*	E 85.1 Sy	CR+AR	O 94.3±1.7*	E 89.1 Sy
BL+CR	O 94.8±1.2	E 90.0 Ad	RS+WB	O 94.1±0.5	E 94.6 Ad
BL+RS	O 88.9±1.9	E 88.5 Ad	RS+RG	O 95.4±2.5	E 94.1 Ad
BL+WB	O 86.0±1.3	E 85.7 Ad	RS+AC	O 99.4±2.8*	E 103.9 An
BL+RG	O 82.5±1.1	E 85.2 Ad	RS+CA	O 105.6±2.0*	E 101.5 Sy
BL+AC	O 93.0±1.6*	E 95.1 An	RS+SP	O 101.0±2.5*	E 107.6 An
BL+CA	O 98.8±4.1*	E 92.6 Sy	RS+AR	O 89.9±1.1	E 87.6 Ad
BL+SP	O 81.4±5.0*	E 98.8 An	WB+RG	O 88.2±1.9*	E 91.3 An
BL+AR	O 81.0±3.1*	E 78.7 Sy	WB+AC	O 93.3±2.4*	E 101.2 An
BU+CR	O 107.2±2.3*	E 95.5 Sy	WB+CA	O 100.6±1.0*	E 98.7 Sy
BU+RS	O 100.0±2.2*	E 94.0 Sy	WB+SP	O 98.1±2.4*	E 104.9 An
BU+WB	O 97.2±1.8*	E 91.2 Sy	WB+AR	O 88.3±2.4*	E 84.8 Sy
BU+RG	O 97.3±5.5*	E 90.7 Sy	RG+AC	O 86.0±8.3*	E 100.7 An
BU+AC	O 105.0±2.3*	E 100.6 Sy	RG+CA	O 102.5±1.7*	E 98.2 Sy
BU+CA	O 106.0±2.4*	E 98.1 Sy	RG+SP	O 97.8±2.4*	E 104.4 An
BU+SP	O 106.1±2.8	E 104.3 Ad	RG+AR	O 84.2±1.3	E 84.3 Ad
BU+AR	O 85.8±1.4	E 84.2 Ad	AC+CA	O 94.0±6.2*	E 108.1 An
CR+RS	O 99.6±1.0	E 98.8 Ad	AC+SP	O 100.3±4.9*	E 114.2 An
CR+WB	O 100.1±3.0*	E 96.0 Sy	AC+AR	O 92.2±3.0	E 94.2 Ad
CR+RG	O 95.2±1.1	E 95.6 Ad	CA+SP	O 97.8±4.2*	E 111.8 An
CR+AC	O 101.0±6.5	E 100.7 Ad	CA+AR	O 93.4±2.3	E 91.8 Ad
CR+CA	O 101.8±1.1	E 103.0 Ad	SP+AR	O 88.2±2.1*	E 97.9 An
CR+SP	O 103.1±1.4*	E 109.1 An			

The asterisk indicates a significant difference between observed value and expected value ($p < 0.05$). AC, acai berry; AR, aronia; BL, blackberry; CR, cranberry; WG, wild grape; RS, raspberry; BU, blueberry; CA, cabbage; SP, spinach; RG, red grape; O, observed value; E, expected value; Sy, synergistic interaction; Ad, additive interaction; An, Antagonistic interaction

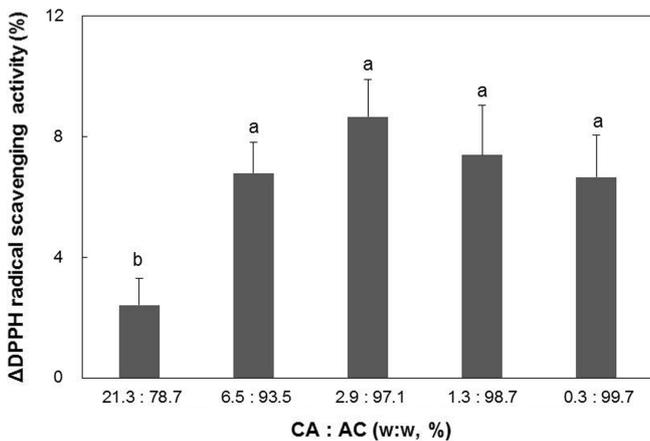


Fig. 4. Synergistic DPPH radical scavenging activity of the mixture of cabbage (CA) and acai berry (AC). Values are means±standard deviation of three experiments. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

효과는 차이가 날 수 있으므로 활성에 적합한 혼합비율을 결정하는 것은 매우 중요한 것으로 판단된다.

DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두에서 상승작용을 나타냈던 양배추+적포도 복합군의 혼합비율에 따른 활성변화를 측정하였다. Fig. 6에서와 같이 DPPH 라디칼 소거능은 양배추의 비율이 높아짐에 따라 상승작용이 증가되는 경향을 나타냈으며 양배추와 적포도의 혼합 비율에 따라 활성이 감소되는 현상이 나타나기도 하였다. 양배추의 활성비율이 70-90%일 때 상승효과는

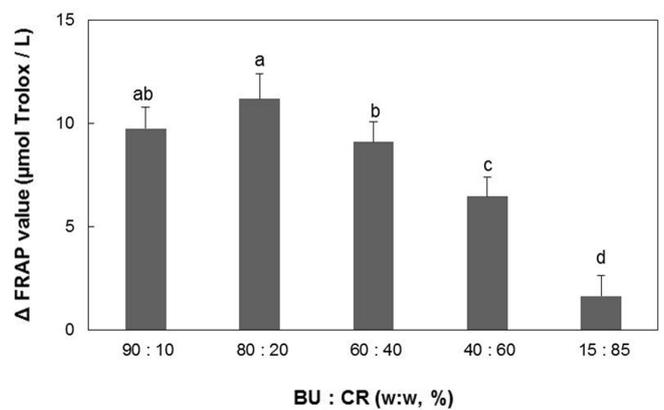


Fig. 5. Synergistic FRAP value of the mixture of blueberry (BU) and cranberry (CR). Values are means±standard deviation of three experiments. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

유의적으로 가장 높은 것으로 확인되었다. FRAP 환원능 측정결과는 이와 달리 모든 혼합비율에서 전반적으로 모두 상승작용이 확인되었으며 양배추와 적포도의 활성이 70:30 (%:%)일 때 유의적으로 가장 높은 상승작용을 나타냈다. 따라서 양배추와 적포도의 활성 비율이 70:30 (%:%)를 나타내는 62:38 (w:w)의 혼합 비율에서 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두 유의적으로 높은 상승작용이 확인되었다. 이는 산출값과 비교했을 때 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두 각각 17%와 11%가 증가된 상승효과를 나타낸다. 이러한 결과는 향산화 식품성분간의 조합

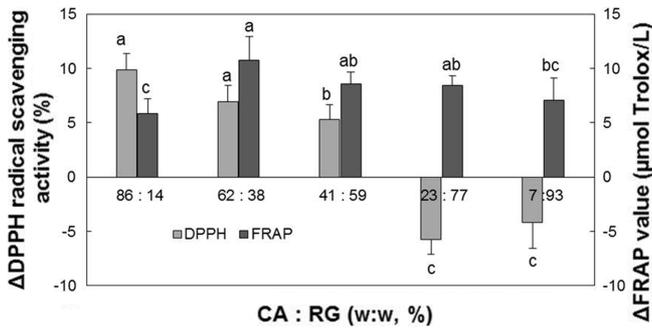


Fig. 6. Synergistic DPPH radical scavenging activity and FRAP value of the mixture of cabbage (CA) and red grape (RG). Values are means±standard deviation of three experiments. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

뿐만 아니라 혼합비율도 항산화 상승작용에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

이상과 같이 DPPH 라디칼과 FRAP 환원능 각각과 두 개 활성 모두에서 상승작용을 나타낸 군은 양배추+아사이베리, 블루베리+크랜베리, 양배추+적포도의 복합군이었으며 각 혼합비율에 따라서 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능은 각각 최대 18%와 12% 정도 산출값보다 증가된 상승효과를 나타냈다. 이러한 결과는 과일(토마토, 블랙베리, 사과, 라스베리 등), 야채(버섯, 브로콜리 등), 두류(대두, 검정콩 등)의 혼합에 따른 항산화 상승작용을 관측하고자 했던 Wang 등(12)의 결과와 비교해왔을 때 매우 높은 수치임을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구에서의 양배추+아사이베리, 양배추+적포도와 같이 과일+두류, 과일+야채 복합군이 서로 다른 식품군간의 혼합이 상승효과가 더 뚜렷하게 확인되었다(12). 이는 동일한 식품군은 항산화 성분 또한 유사하기 쉬운 반면 다른 식품군은 서로 상이한 항산화 활성성분들이 서로 다른 기전에 의해 항산화 활성을 발현하므로 개별적으로 발현되는 활성들을 서로 보완해주기 때문인 것으로 추정된다(12). 항산화 상승작용을 나타내는 정확한 기전에 대해서는 아직까지 뚜렷하게 규명되지는 않았으나 이러한 연구는 천연 항산화 식품의 단점인 낮은 활성을 증진시키기 위한 연구의 기초 자료가 될 것으로 예측되며 동일한 복합군에서도 혼합비율 별로 다양한 상승작용이 관측되므로 보다 높은 상승작용을 발현시키기 위해서는 혼합비율에 따른 활성연구도 병행되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

대표적인 항산화 식품들의 혼합에 따른 항산화 활성의 변화와 가장 우수한 상승작용을 나타내는 복합군 및 그 혼합 비율을 알아보기 위하여, 먼저 항산화 활성이 우수한 과일류 8종(라즈베리, 블랙베리, 블루베리, 아사이베리, 크랜베리, 산머루, 적포도, 아로니아)와 채소류 2종(시금치, 양배추)의 총 페놀함량 및 항산화 활성을 측정하였다. 전체 시료 중 아사이베리가 총 페놀함량이 유의적으로 가장 높았으며 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두에서 가장 유의적으로 높은 활성을 나타냈다. 항산화 상승효과를 알아보기 위하여 총 10종의 시료를 활성 비율 1:1로 혼합한 45군의 복합군의 항산화 활성을 DPPH 라디칼과 FRAP 환원능을 통하여 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능 측면에서는 양배추+아사이베리가 가장 높은 상승작용을 나타냈으며 50:50의 활성비율에서 8.7%의 유의적으로 높은 상승효과를 나타냈다. FRAP 환원능에서는 블루베리+크랜베리가 가장 높은 상승작용을 나타

냈으며 30:70의 활성비율에서 12%의 유의적으로 높은 상승효과를 나타냈다. 또한 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두에서 상승작용을 나타낸 양배추+적포도 복합군은 활성비율 70:30(%)에서 산출값과 비교했을 때 DPPH 라디칼 소거능과 FRAP 환원능 모두 산출값보다 약 17%와 11%가 증가된 것을 확인할 수 있었다. 이상과 같이 항산화 식품간의 혼합에 의해 항산화 상승효과를 발현시킬 수 있었으며 혼합비율에 따라 상승효과에 유의적인 차이가 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 항산화 식품들간의 상승작용을 이용한 활성 개선 및 상승작용의 기전 규명을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발사업에 의해 이루어진 것임.

References

- Seifried HE, Anderson DE, Fisher EI, Milner JA. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. *J. Nutr. Biochem.* 18: 567-579 (2007)
- Castro L, Freeman BA. Reactive oxygen species in human health and disease. *Nutrition* 17: 161-165 (2001)
- Finkel T, Holbrook NJ. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature* 408: 239-247 (2000)
- Kang J, Li Z, Wu T, Jensen GS, Schauss AG, Wu X. Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Chem.* 122: 610-617 (2010)
- Kim KH, Yun YS, Chun SY, Yook HS. Antioxidant and antibacterial activities of grape pomace fermented by various microorganisms. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1049-1056 (2012)
- Ismail A, Marjan ZM, Foong CW. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem.* 87: 581-586 (2004)
- AlSaikhan MS, Howard LR, Miller Jr. JC. Antioxidant activity and total phenolics in different genotypes of potato (*Solanum tuberosum*, L.). *J. Food Sci.* 60: 341-343 (1995)
- Bozin B, Mimica-Dukic N, Samojlik I, Goran A, Igic R. Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food Chem.* 111: 925-929 (2008)
- Cao G, Sofic E, Prior RL. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J. Agr. Food Chem.* 44: 3426-3431 (1996)
- Chu YH, Chang CL, Hsu HF. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *J. Sci. Food Agr.* 80: 561-566 (2000)
- Heim KE, Tagliaferro AR, Bobilya DJ. Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J. Nutr. Biochem.* 13: 572-584 (2002)
- Wang S, Meckling KA, Marcone MF, Kakuda Y, Tsao R. Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. *J. Agr. Food Chem.* 59: 960-968 (2011)
- Hidalgo M, Sánchez-Moreno C, de Pascual-Teresa S. Flavonoid-flavonoid interaction and its effect on their antioxidant activity. *Food Chem.* 121: 691-696 (2010)
- Katsube T, Tabata H, Ohta Y, Yamasaki Y, Anuurad E, Shiwaku K, Yamane Y. Screening for antioxidant activity in edible plant products: Comparison of low-density lipoprotein oxidation assay, DPPH radical scavenging assay, and Folin-Ciocalteu assay. *J. Agr. Food Chem.* 52: 2391-2396 (2004)
- Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76 (1996)
- Kim DB, Shin GH, Cho JH, Baik SO, Lee OH. Antioxidant activities of beverage concentrates and purees. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 997-1002 (2013)