

## 아미노산의 첨가가 anthocyanins 색소의 안정성과 항산화능력에 미치는 영향

오주영 · 임지영\*  
국민대학교 식품영양학과

### Effect of Amino Acids Addition on Stability and Antioxidative Property of Anthocyanins

Ju-Kyoung Oh and Jee-Young Imm\*  
Department of Food and Nutrition, Kookmin University

Effects of amino acids (Arg, Lys, Gly, Ile, Glu, Asp, and Met) on the color intensity, stability and antioxidative properties of anthocyanins extracted from grape skins were investigated. Intensity of anthocyanins was significantly increased by the addition of Asp. Except for basic amino acids such as Arg and Lys, stabilities of anthocyanins were significantly improved by the addition of other amino acids including neutral, acidic and sulfur containing amino acids during the storage at 30°C at pH 3.5. In case of control anthocyanins was remained unchanged the intensity of red color decreased significantly during the storage whereas their antioxidative activity were unchanged. Although effects of amino acids addition on electron donating abilities of anthocyanins were not differentiated by DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method, the addition of Asp or Met resulted in increased ferric reducing ability which measured by FRAP (ferric reducing ability of plasma) assay.

**Key words:** anthocyanins, amino acids, intensity, stability, antioxidative property

## 서 론

식품의 색은 관능적 품질을 결정하는 일차적인 품질요소로서 소비자의 기호성에 직접적인 영향을 미친다. 최근, 식품에 사용되고 있는 인공색소의 안전성 문제가 제기되면서 식품 내 천연색소의 사용이 증가하고 있으며 항산화 기능을 비롯한 다양한 생리적 기능성이 알려짐에 따라 천연 색소의 중요성이 더욱 강조되고 있다(1,2). Anthocyanins은 과일과 채소 등의 다양한 식물체에 존재하는 수용성 색소로서 적색, 자색, 청색 등을 나타내며 자연에서는 주로 배당체의 형태로 존재한다. Anthocyanins 색소는 안정한 상태로 존재하는 산성의 pH 영역에서 소비자가 선호하는 선명한 적자색을 나타내기 때문에 음료, 병과류, 젤리, 잼 등의 가공식품에서 보편적으로 사용되고 있으며, 식품산업에서 그 활용도를 높이기 위하여 anthocyanins 색소의 발현에 영향을 미치는 화학적 변화에 관한 많은 연구가 진행되었다(3-5).

Anthocyanins 색소는 C6-C3-C6의 기본 골격을 가지고 있으며 기본골격에 연결된 수산기의 수, 위치 및 메틸화 정도,

aglycon인 anthocyanidin에 결합된 당의 종류 및 수에 따라 다양한 종류가 존재하며 특히 anthocyanin 분자가 노출되는 pH, 온도 등의 환경요인은 anthocyanin의 구조를 변화시켜 동일한 anthocyanin의 경우에도 발현되는 색에 차이가 존재한다(6). 이 밖에도 anthocyanin 분자와 복합체를 형성할 수 있는 물질(flavonoid, 단백질, 탄닌, 당, 금속 등)과 결합하여 생성되는 copigmentation 역시 anthocyanins 색소의 강도와 안정성에 영향을 미친다(7).

Anthocyanins 색소는 대부분의 천연 색소와 유사하게 매우 불안정한 색소이며, oxonium 화합물의 형태로 존재하므로 pH의 변화에 따라 매우 민감하게 반응한다. 따라서, flavylium 양이온 구조를 형성하여 안정된 적색을 나타내는 산성 수용성 식품에 주로 활용되고 있다.

현재까지 anthocyanins 색소의 pH 및 온도 안정성에 관하여서는 많은 연구가 진행된 반면 anthocyanins 색소와 다양한 유기물들과의 상호 작용에 대한 연구는 극히 제한적으로 이루어졌다. 근래에는 생리적 기능성을 가진 다양한 아미노산 음료가 출시되어 소비자의 주목을 받고 있으며 anthocyanins 색소의 항산화 능력을 고려할 때 아미노산 음료에 관능적 품질은 물론 항산화 기능을 추가하는 목적으로 천연 수용성 색소인 anthocyanins 색소의 잠재적 활용 가능성은 매우 높다고 할 수 있다. 본 연구에서는 포도과피로부터 anthocyanins 색소를 분리하여 7종의 아미노산을 첨가하였을 때 나타나는 색의 변화를 조사하였으며, 저장 시 일어나는 anthocyanins 색소의 색의 변화와 항산화능력과 연관성을 조사하였다.

\*Corresponding author: Jee-Young Imm, Department of Food and Nutrition, Kookmin University, 861-1, Chongnung-dong, Songbuk-gu, Seoul 136-702, Korea  
Tel: 82-2-910-4772  
Fax: 82-2-911-4771  
E-mail: jyimm@kookmin.ac.kr

## 재료 및 방법

### 재료

신선한 포도(*Campbell early*)를 슈퍼마켓에서 구입한 후 포도 과피를 포도과육으로부터 분리하였다. 분리된 포도과피는 250 g씩 나누어 포장한 후 색소를 추출하기 전까지 -50°C에서 냉동하여 보관하였다. 실험에 사용한 시약은 모두 Sigma사(Sigma-Aldrich Chemical Co., St. Louis, USA)의 제품으로써 분석등급 이상을 사용하였다.

### 포도과피로부터 crude anthocyanins 색소의 추출

Anthocyanins 색소는 3% formic acid를 함유한 메탄올 수용액(methanol : formic acid : water = 70 : 3 : 27, v/v/v)을 이용하여 추출하였다. 추출물은 Whatman filter paper(No. 5, Maidstone Ltd., England, UK)를 이용하여 여과한 후 rotary evaporator (Eyela, Tokyo, Japan)로 농축하여 stock solution을 제조하였으며 제조된 stock solution은 eppendorf tube에 분주 후 실험에 사용하기 전까지 -50°C에서 보관하였다. 해동된 stock solution은 0.45 µm syringe filter(Sartorius AG 37070, Goettingen, Germany)를 이용하여 여과 후 실험에 이용하였다. Stock solution의 희석을 위해서는 McIlvaine buffer(citric acid-Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, pH 3.5)를 사용하였다.

### 아미노산의 첨가가 anthocyanins 색소의 강도 및 안정성에 미치는 영향

Anthocyanins stock solution을 초기흡광도가 약 0.9가 되도록 McIlvaine buffer로 희석한 후 7종의 아미노산(Arg, Asp, Glu, Gly, Ile, Lys, Met)을 10-40 mM(Asp의 경우 30 mM)이 되도록 각각 첨가하였다. 발현된 색소의 강도는 Spectrophotometer(Amersham Bioscience, Sweden)를 이용하여 가시광선 영역(400-700 nm)에서 측정하였으며 최대흡수파장(λ<sub>max</sub>)을 기록하였다. 색소의 안정성은 빛의 영향을 배제하기 위하여 색소용액을 amber cap vial(Wheaton, USA)에 넣어 밀봉한 후 30°C의 정온기(Vision Scientific, Korea)에서 14일 동안 보관하면서 흡광도의 변화(0, 3, 5, 7, 14 일)를 측정하였으며 아래의 방법으로 표현하였다.

$$\text{색소안정성(\%)} = (\text{저장 기간 중 최대흡수파장의 흡광도} / \text{초기 최대흡수파장의 흡광도}) \times 100$$

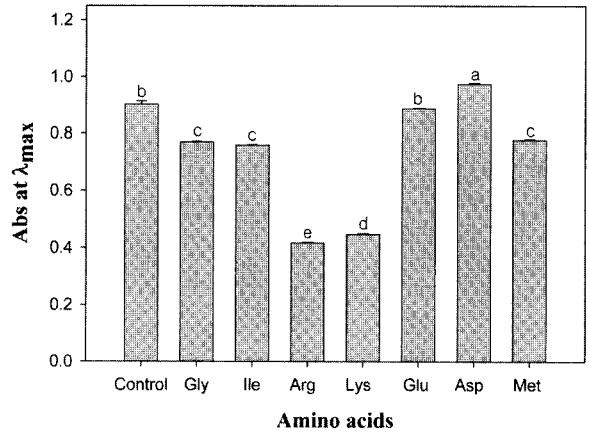
### 전자공여능 평가

전자공여작용(electron donating ability)은 Takao 등의 방법(8)을 일부 변형하여 DPPH(2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) free radical 소거법에 의해 측정하였다. 조제된 DPPH 용액(0.04 mM) 0.8 mL에 시료 용액 0.2 mL을 혼합하여 실온에서 10분 동안 방치하고 525 nm에서 흡광도를 측정하였으며 다음의 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거능(\%)} = \{1 - (\text{시료의 흡광도} / \text{대조구의 흡광도})\} \times 100$$

### FRAP assay에 의한 항산화력

시료의 총체적 항산화 능력(total antioxidant potential)의 측정을 위하여 Benzie와 Strain(9)의 FRAP(ferric reducing ability of plasma) assay를 이용하였다. 신선한 FRAP 시약 용액을 제조하여 37°C로 유지한 시험관에 3 mL씩 분주한 후 시료를 100 µL씩 첨가하여 4분 동안 방치 후 철이 환원되어 생성되는 청색



**Fig. 1.** Effect of amino acid addition on color intensity of anthocyanins solution.

Each amino acid except Asp was added to the anthocyanins stock solution at a concentration of 40 mM. The concentration of Asp added in anthocyanins stock solution was 30 mM because of its low solubility.

<sup>a-c</sup> Means with different superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ).

의 Fe(II)-tripirydyltriazin compound의 양을 593 nm에서 측정하였으며 FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O를 이용하여 표준곡선을 작성하고 생성된 Fe(II)-tripirydyltriazin의 농도를 계산하였다.

### 통계분석

모든 실험은 3회 반복 측정하였으며 실험 결과의 통계분석은 SAS(10)의 General Linear Model을 사용하였다. 처리구 간의 유의적 차이 검정은 유의수준  $p < 0.05$ 를 사용하여 Duncan의 다중비교 검정법을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 아미노산의 첨가가 anthocyanins 색소의 발현 강도에 미치는 영향

다양한 아미노산의 첨가가 anthocyanins 색소의 발현 강도와 안정성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 7가지의 아미노산(Arg, Lys, Gly, Ile, Glu, Asp, Met)을 색소용액에 첨가한 후 저장기간(30°C, 14일)동안 일어나는 색의 변화를 측정하였다. 식품가공에 사용될 수 있는 anthocyanins 색소의 현실성을 고려하여 정제된 단일 anthocyanins 색소 대신 포도과피에서 추출한 다양한 anthocyanins 색소의 혼합물(crude anthocyanins)을 사용하였으며 실험에 이용한 buffer 용액의 pH는 대부분의 food matrix의 pH 범위가 3.0-4.3 내외임을 고려하여 3.5로 선정하여 실험을 진행하였다. 아미노산의 종류와 첨가농도에 따른 anthocyanins 색소의 강도에 미치는 영향은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 Glu, Asp를 제외한 아미노산 첨가구에서는 대조구에 비해 색소의 강도가 감소하는 경향을 나타내었으며 그 중 염기성 아미노산(Lys, Arg)의 첨가 시에는 anthocyanins 색소 강도의 현저한 저하가 관찰되었다. 이와 같은 결과는 Table 1에서 나타난 바와 같이 아미노산의 첨가에 따라 anthocyanin 수용액의 pH가 변화될 때 문인 것으로 판단된다. 40 mM의 산성 및 염기성 아미노산의 첨가 시(Asp의 경우 30 mM)에는 완충용액(McIlvaine buffer, pH 3.5)에 용해된 색소 수용액의 완충영역을 벗어났으며 색소용액의 pH가 증가함에 따라 흡광도는 감소하였다.

**Table 1. Effect of amino acids on  $\lambda_{max}$  and pH of anthocyanins solution**

Amino acids	$\lambda_{max}$ (nm)		pH	
	0 day	14 day	0 day	14 day
Control	524	521	3.47	3.54
Gly	523	524	3.52	3.56
Ile	523	524	3.52	3.55
Arg	527	521	4.16	4.20
Lys	526	521	4.09	4.12
Glu	523	524	3.40	3.43
Asp	523	524	3.32	3.35
Met	523	524	3.50	3.52

$\lambda_{max}$ : the absorption maximum, Each amino acid except Asp was added to the anthocyanins stock solution at a concentration of 40 mM. The concentration of Asp added in anthocyanins stock solution was 30 mM because of its low solubility.

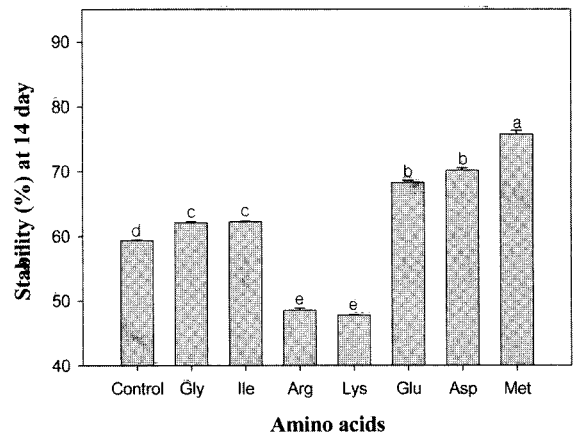
Anthocyanins 색소는 수용액상에서 flavylium 양이온, quinoidal base, pseudo base, chalcone의 네 가지 구조의 평형상태로 존재하며 pH 3 이하의 강한 산성 pH 영역에서는 안정한 flavylium cation의 구조가 지배적이나 pH 3-4의 경우에는 flavylium 양이온이 양자를 잃어버리고 quinoidal base의 형태가 증가하여 옅은 자색을 나타낸다. 그리고 색소 용액의 pH가 중성 근처로 접근함에 따라 무색의 pseudo base의 구조가 anthocyanin의 지배적인 구조가 된다고 보고되어 있다(11). 아미노산의 첨가 시에는 일반적으로 anthocyanin 분자가 다른 유기물과 복합체를 형성하여 색의 특성이 변화하는 copigmentation의 특징적인 변화, 즉 페놀화합물(12)이나 금속이온(3)을 첨가할 때와 유사한 최대 흡수파장이 장파장으로 이동하는 bathochromic effect나 흡광도가 증가하는 hyperchromic effect는 뚜렷이 관찰되지 않았다.

아미노산의 첨가 시 일어나는 색의 변화는 첨가 농도와 관계없이 일정한 경향을 나타내었으며 다만 색소 발현 강도의 증가 또는 감소 정도에 차이를 보였다.

**아미노산의 첨가가 anthocyanins 색소의 저장안정성에 미치는 영향**

색의 강도 측정과 동일한 조건으로 30°C에서 14일간 저장한 후 anthocyanins 색소의 안정성을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 아미노산의 첨가 시 색소의 안정성은 염기성 아미노산인 Arg이나 Lys 첨가구를 제외한 모든 처리구에서 대조구보다 높게 나타났으며( $p < 0.05$ ) 특히 Met의 첨가구는 초기 색소의 발현 강도는 대조구보다 유의적으로 낮았으나 안정성은 현저히 상승하는 것으로 나타났다. 저장 후 Met 첨가구의 pH는 3.52로서 대조구의 저장 후 pH인 3.54와 유사한 수준임을 고려할 때 Met의 첨가 시 관찰된 저장안정성의 향상은 pH의 변화와는 별개의 기작으로 생각되며 그 명확한 기작은 아직 확실치 않다.

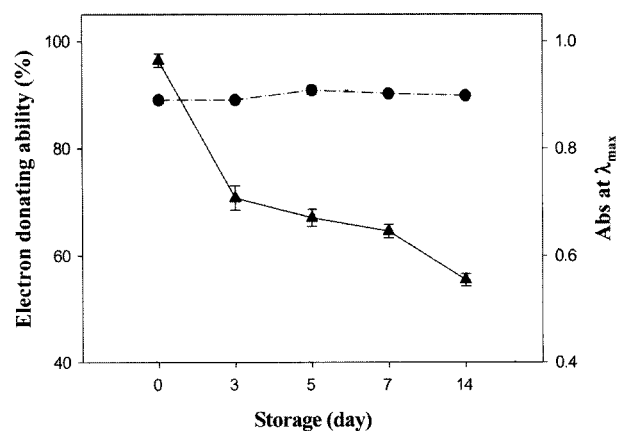
Anthocyanins 색소의 색 발현은 benzopyrylium핵의 공명구조(resonance structure)에서 기인하지만 이 같은 공명구조는 색소의 불안정성의 원인이 되며 안정성은 공명구조에 결합된 수산기의 수와 직접적인 관련이 있다. 또한 간접적으로는 methoxyl group의 수와 관련이 있는 것으로 보고 되어 있으며 이 밖에도 anthocyanin의 aglycon인 anthocyanidin과 결합한 당의 종류와 수도 색소의 안정성에 영향을 미친다(14). Anthocyanin의 flavylium염은 아미노산, 카테킨 등과 쉽게 축합반응을 일으키는 것으로 알려져 있으며(5) Fig. 2에 제시된 것과 같이 축합



**Fig. 2. Effect of amino acid addition on color stability of anthocyanins solution.**

Each amino acid except Asp was added to the anthocyanins stock solution at a concentration of 40 mM. The concentration of Asp added in anthocyanins stock solution was 30 mM because of its low solubility.

<sup>a-c</sup> Means with different superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 3. Changes in color intensity and electron donating ability during storage of anthocyanins solution.**

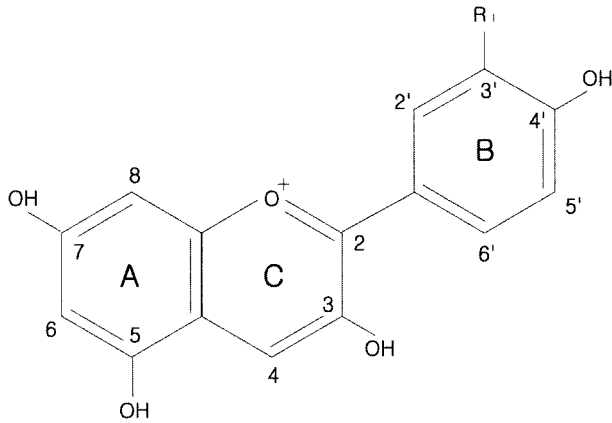
●: Electron donating ability, ▲: Abs at  $\lambda_{max}$ .

된 아미노산의 종류에 따라 그 안정성에는 차이가 존재하는 것으로 판단된다.

**저장기간 중 anthocyanins 색소 수용액의 항산화 능력 변화**

저장기간 중 일어나는 색의 변화와 항산화능력의 관계를 조사하기 위하여 anthocyanin 수용액을 30°C에서 14일간 저장하며 색과 항산화 능력의 변화를 측정하였다(Fig. 3). 색소의 강도는 저장기간이 증가함에 따라 현저히 감소하여 저장 개시 시 최대흡수파장에서 0.952를 나타내던 흡광도는 14일간의 저장 종료 후 0.527로 감소하여 약 60% 수준의 안정성을 나타낸 반면 DPPH 전자공여능으로 측정된 항산화 능력은 저장기간 동안 89-90%를 나타내어 일정하게 유지되었다. 이 같은 결과는 색의 변화 시 일어나는 anthocyanins 색소의 구조적 변화는 항산화 능력과는 직접적 관련이 없음을 의미한다고 할 수 있다.

Anthocyanins 색소가 나타내는 매력적인 색 이외에 anthocyanins의 항산화 능력은 소비자들의 주요 관심사이지만 저장이나 가공 중의 색의 변화와 항산화능력과의 관계는 명확하지 않



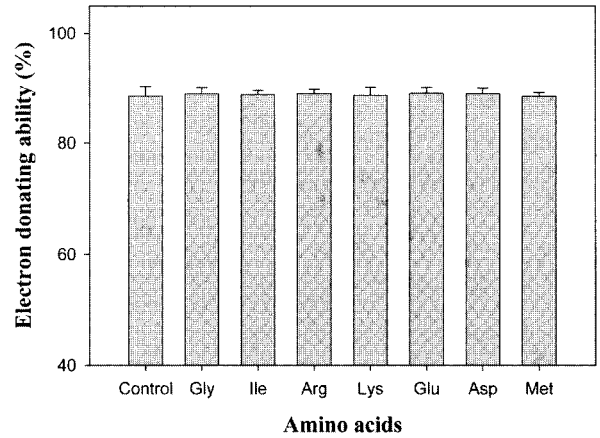
**Fig. 4. Structure of cyanidin and pelargonidin.**  
Cyanidin: R<sub>1</sub> = OH, Pelargonidin R<sub>1</sub> = H.

다. 아마도 그 이유는 anthocyanins의 원천, 분리방법 및 분리된 anthocyanins 종류의 다양성에 따라 가공이나 저장 중에 일어나는 변화에 차이가 존재함은 물론 항산화능력을 평가하는 방법간의 차이도 일치된 결과를 얻기에 어려움으로 작용할 것으로 추측된다.

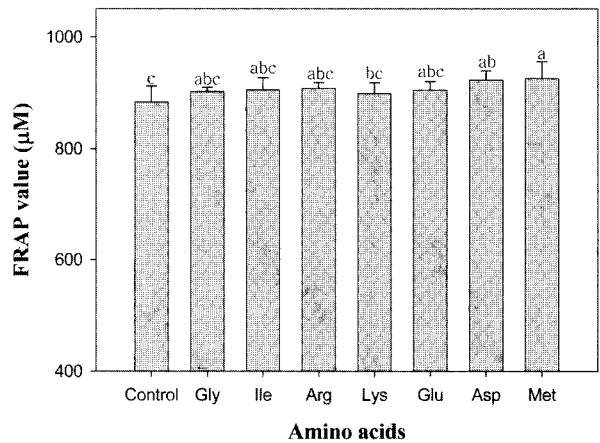
Wang 등(1)은 과일과 채소에 존재하는 몇 가지 종류의 anthocyanins 색소를 분리하고 구조의 차이에 따른 oxygen radical absorbing capacity(ORAC)를 비교한 결과 cyanidin 3-glucoside는 pelargonin 보다 항산화능력이 우수함을 보고하였으며 산소 라디칼을 소거하는 항산화 능력은 B ring에 결합된 수산기의 위치(Fig. 4)나 결합된 당의 종류에 따라 차이를 보인다고 하였다. 한편 Stintzing 등(15)은 cyanidin을 base로 한 다양한 종류의 anthocyanins을 사용하여 ORAC를 측정하였을 때 anthocyanin의 혼합물은 동일한 양의 한 종류의 anthocyanin과 비교하여 3-6배 높은 항산화 능력을 가지고 있음을 근거로 anthocyanins 혼합물에서 항산화능력의 상승효과(synergistic effect)가 존재할 가능성을 보고하였다. 따라서 다양한 anthocyanin 혼합물이 존재하는 경우 기대되는 항산화능력은 단순히 존재하는 anthocyanin 종류의 평균효과로 설명할 수 없는 것으로 판단된다.

이상의 보고들을 종합하여 볼 때 anthocyanins 색소의 강도 저하를 일으키는 구조적 변화는 oxonium ion을 함유한 C ring의 변화에 의해 야기되므로 Fig. 3에서와 같이 항산화능력이 크게 저하되지 않았을 것으로 추측할 수 있다. 이와 같은 논리의 근거로써 Lapidot 등(16)은 금속으로 촉매 된 지방산화모델시스템에서 malvidin 3-glucoside의 pH에 따른 변화 형태인 pseudo base 및 quinoidal base는 지방산화를 효과적으로 억제하였으며 그 항산화 능력은 catechin보다 우수하였다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 적포도果皮에 존재하는 대표적인 anthocyanin의 종류가 malvidin 3-glucoside임을 고려할 때(1) 색의 강도저하를 일으키는 pseudo base 및 quinoidal base의 형성은 항산화능력의 감소에 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 생각된다.

그 밖에 다양한 anthocyanins 분자간들 간의 상호작용이 항산화 능력의 감소를 완화하는 효과를 보였을 가능성도 배제할 수는 없을 것으로 생각된다. Tsai 등(17)은 Roselle 추출물을 20°C나 40°C에서 4주간 저장한 경우 Ferric reducing ability of plasma(FRAP), ORAC, total antioxidant status(TAS) 등의 방법으로 측정된 항산화능력에 유의적인 변화가 나타나지 않았다고 보고하였으며 anthocyanins이 항산화능력을 부여하는 가장 큰 요소라고 설명하여 본 실험과 유사한 결과를 나타냈다.



**Fig. 5. Effect of amino acid addition on electron donating ability of anthocyanins solution.**



**Fig. 6. Effect of amino acid addition on ferric reducing ability of anthocyanins solution.**

<sup>a-c</sup> Means with different superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**아미노산이 첨가 된 anthocyanins 색소 수용액의 항산화 능력 변화**

아미노산이 첨가 된 anthocyanins 색소의 항산화 능력 변화는 DPPH에 의한 전자공여능과 FRAP 법으로 측정하였으며 두 가지 방법 모두에서 저장기간에 따른 변화는 관찰되지 않았으므로 저장기간을 측정 반복수로 인정하여 아미노산의 첨가가 항산화능력에 미치는 효과를 분석한 결과는 Fig. 5 및 6과 같다. DPPH에 의한 전자공여능으로 측정된 항산화 능력은 처리구 모두에서 유의적인 변화가 관찰되지 않은 반면 FRAP법으로 측정된 항산화 능력의 경우 Asp와 Met의 첨가 시 항산화 능력이 대조구에 비하여 증가하는 것으로 나타났다.

DPPH법이나 FRAP법은 모두 과일이나 채소 또는 이들의 추출물에서 간편하고 정확하게 항산화 능력을 측정할 수 있는 방법으로 알려져 있으나 친수성 항산화제의 경우 DPPH법은 FRAP법에 비교하여 그 민감성이 떨어지며 DPPH와 항산화제의 상호작용은 항산화제의 구조에 의존적인 것으로 보고 되어 DPPH법은 시스템의 항산화 능력을 대표하는 총체적 지표로서의 적합성은 떨어지는 것으로 보고 되어 있다(18). 따라서 Asp나 Met과 같은 일부 아미노산의 첨가는 anthocyanins의 항산화 능력을 향상시킬 수 있는 것으로 판단된다. 흥미롭게도 Met의 첨가는 저장안정성(Fig. 2)과 항산화 능력을 모두 향상시키는 결

과를 나타내었으므로 현재 Met의 첨가 시 일어나는 구조적인 변화 및 작용기작에 대한 연구가 진행 중이다.

## 요 약

천연색소이며 항산화제인 anthocyanins을 포도과피로부터 추출하여 7가지의 아미노산(Arg, Lys, Gly, Ile, Glu, Asp, Met)을 색소용액(pH 3.5)에 첨가한 후 저장기간(30°C, 14일)동안 일어나는 색소의 강도, 안정성 및 항산화능력의 변화를 측정하였다. 색소의 강도는 Asp의 첨가 시 유의적으로 증가하였으며, 색의 안정성은 염기성 아미노산을 제외한 중성, 산성 아미노산과, 함유량 아미노산인 Met의 첨가 시 대조구보다 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). DPPH법으로 측정한 anthocyanins 색소의 항산화능력은 저장기간 중 변화를 나타내지 않았으며 색소의 강도 감소에도 불구하고 항산화 능력은 유지되었다. 아미노산의 첨가는 DPPH법에 의한 anthocyanins 색소의 전자공여능을 측정할 경우 차이를 나타내지 않았으나, FRAP법으로 측정할 때  $Fe^{3+}$  이온의 환원 능력은 Asp 또는 Met을 첨가한 경우 대조구에 비하여 증가하는 것으로 나타났다.

## 문 헌

1. Wang H, Cao G, Prior RL. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.* 45: 304-309 (1997)
2. Tamura H, Yamagami A. Antioxidative activity of monoacylated anthocyanins isolated from Muscat Bailey A grape. *J. Agric. Food Chem.* 42: 1612-1615 (1994)
3. Yoon JM, Hahn TR, Yoon HH. Effect of copigmentation on the stability of anthocyanins from a Korean pigmented rice variety. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 733-738 (1998)
4. Rhim JW, Kim SJ. Characteristics and stability of anthocyanin pigment extracted from purple-fleshed potato. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 348-355 (1999)
5. Francis FJ. Food colorants: anthocyanins. *Crit. Rev. Food Sci.*

- Nutr.* 28: 273-314 (1989)
6. Jackman RL, Yada RY, Tung MA, Speers RA. Anthocyanins as food colorants - a review. *J. Food Biochem.* 11: 201-247 (1987)
7. Mazza G, Brouillard R. The mechanism of co-pigmentation of anthocyanins in aqueous solution. *Phytochemistry* 29: 1097-1102 (1990)
8. Takao T, Kitatani F, Watanabe N, Yagi A, Sakata KA. Simple screening method for antioxidants and isolation of several antioxidants produced by marine bacteria from fish and shellfish. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58: 1780-1783 (1994)
9. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as measurement of "antioxidant power": The Frap assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76 (1996)
10. SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA (1990)
11. Brouillard R. Chemical structure of anthocyanins. pp. 1-40. In: Anthocyanins as food colors. Markakis P (ed). Academic Press, New York, NY, USA (1982)
12. Eiro MJ, Heinonen M. Anthocyanin color behavior and stability during storage: Effect of intermolecular copigmentation. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7461-7466 (2002)
13. Lewis CE, Walker JRL. Effect of polysaccharides on the colour of anthocyanins. *Food Chem.* 54: 315-319 (1995)
14. Delgado-Vargas F, Jimenez AR, Paredes-Lopez O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40: 176-289 (2000)
15. Stintzing FC, Stintzing AS, Carle R, Frei B, Wrolstad RE. Color and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6172-6181 (2002)
16. Lapidot T, Harel S, Akiri B, Granit R, Kanner J. pH dependent forms of red wine anthocyanins as antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 47: 67-70 (1999)
17. Tsai PJ, McIntosh J, Pearce P, Camden B, Jordan BR. Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) extract. *Food Res. Int.* 35: 351-356 (2002)
18. Kaur C, Kapoor HC. Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 36: 703-725 (2001)

(2005년 2월 21일 접수; 2005년 6월 8일 채택)