

## 자색고구마(자미) Anthocyanin 색소의 성분 분석

이란숙 · 김선재 · 임종환<sup>†</sup>

목포대학교 식품공학과 및 식품산업기술연구소

### Analysis of Anthocyanin Pigments from Purple-Fleshed Sweet Potato (Jami)

Lan-Sook Lee, Seon-Jae Kim and Jong-Whan Rhim<sup>†</sup>

Dept. of Food Engineering and Food Industrial Technology Research Center,  
Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea

#### Abstract

Anthocyanin pigments of purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*) were extracted with methanol containing 1% HCl and purified with Amberlite IRC-50 cation exchange resin column chromatography. Individual pigments were isolated by paper chromatography. Among the four bands obtained by paper chromatography, three major bands were identified to be pure pigments by HPLC system. Two pigments were identified through the analysis of acyl moiety, sugar moiety, alkaline degradation products of aglycone,  $R_f$  value of paper chromatogram and retention time of HPLC. The anthocyanin pigments of purple-fleshed sweet potato seemed to be composed of peonidin-3-diglucoside-5-glucoside acylated with caffeic or ferulic acids.

**Key words:** purple-fleshed sweet potato, anthocyanin, peonidin

#### 서 론

최근 합성식용색소의 사용이 점차 규제되면서 천연식용색소에 대한 관심이 높아지고 있는데, 현재 사용되고 있는 천연 식용색소 중에서 가장 많이 이용되고 있는 것이 anthocyanin이다. 이는 각종 과일이나 채소 등에서 발견되는 적색이나 자주색 또는 청색을 띠는 색소로서 자연 중에 현재 약 300여 종의 anthocyanin이 존재함이 보고된 바 있다(1). Anthocyanin은 수용성의 밝은 색깔을 띠는 천연색소로서 인체에 아무런 부작용이 없을 뿐만 아니라 오히려 인체에 항산화 효과 등이 있는 것으로 알려져 높은 관심을 불러일으키고 있다(2-6).

현재 식품가공용으로 사용되고 있는 anthocyanin 색소는 주로 포도주 제조시에 부산물로 얻어지는 포도껍질(6)이나 적양배추(7-10)로부터 얻고 있는데, 최근에 새로운 색소원으로서 자색고구마의 이용가능성에 관한 연구가 이루어진 바 있다(11-15). 자색고구마는 일본 규슈지방에서 자생하던 산천자(山川紫)라고 알려진 품종을 국내에 도입하여 재배하기 시작한 것으로 일반 고구마와는 달리 표피층뿐만 아니라 육질 전체가 진한 자색을 띠고 있는데, 이는 수용성 색소인 anthocyanin을 다량 함유하

고 있기 때문이다. 원래의 자색고구마는 단위 면적당 생산량이 보통의 고구마에 비해 약 60% 정도이고, 색소함량도 높지 않아 경제적인 가치가 낮은 것으로 알려져 있으나 최근에 농촌진흥청 산하의 호남농업시험장 목포시험장에서 단위생산량이 높은 건미를 모본으로 하고 일본의 재래종 자색고구마인 산천자를 부분으로 교배한 육종 연구에 의하여 생산량이나 색소함량 면에서 우수한 품종을 개발하여 자미라는 품종명을 부여하였다. 이 신품종의 자색고구마는 anthocyanin의 색소원으로 개발 가능성이 높은 것으로 기대된다(11-15).

자색고구마 anthocyanin 색소의 구조에 대해서는 여러 연구자에 의해 보고된 바 있다(16-22). Odake 등(16)은 자색고구마(*Ipomoea batatas* cv. Yamagawa mura-saki)의 주요 색소성분이 cyanidin과 peonidin의 3-caffeylferulylsophoroside-5-glucosides라고 보고하였으며, Tsukui 등(17)은 자색고구마의 주색소(*Ipomoea batatas* L.; Yen 217)는 cyanidin-(3,6)- $\alpha$ -D-glucopyranosyl-(1,2)- $\beta$ -D-fructofuranoside와 cyanidin-(3,6)- $\alpha$ -D-glucopyranosyl-(5,1)- $\alpha$ -D-xyloside이 caffeic acid나 ferulic acid로 acylation된 형태라고 보고하였다. Imbert 등(18)은 적색고구마(*Ipomoea batatas*) anthocyanin의 주성분

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

은 cyanidin과 peonidin의 dicaffeoyl-3-sophoroside-5-glucoside라고 보고하였으며, Shi 등(19)은 적색고구마 색소의 주성분은 peonidin-3-diglucoside-5-glucoside가 둘 또는 세분자의 ferulic acid와 한 분자의 caffeic acid로 acylation되어 있음을 밝혔다.

또한 최근에 Lee 등(22)은 자색고구마(*Ipomoea batatas*) 색소성분의 구조가 3-O-(6-O-*trans*-caffeoyl)-2-O-(6-O-*trans*-caffeoyl)glucopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranosyl-5-O-( $\beta$ -D-glucopyranosyl)-peonidin과 3-O-(6-O-*trans*-caffeoyl)-2-O-(6-O-*trans*-feruloyl)glucopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranosyl-5-O-( $\beta$ -D-glucopyranosyl)-peonidin 및 3-O-(6-O-*trans*-caffeoyl)-2-O-(6-O-*p*-hydroxylbenzoyl)glucopyranosyl)- $\beta$ -D-glucopyranosyl-5-O-( $\beta$ -D-glucopyranosyl)-peonidin으로 구성되어 있음을 밝혀 냈다. 이들의 결과에 의하면 자색고구마 색소의 주성분은 품종에 따라 달라짐을 알 수 있다.

그런데 국내에서 새로 육종된 자미의 구조에 관한 연구는 아직 이루어지지 않고 있는 실정이어서 본 연구에서는 국내에서 새로 육종하여 보급하기 시작한 자미의 anthocyanin 색소의 구조를 밝히기 위한 기초 연구로서 paper chromatography, spectrophotometer 및 HPLC 등의 기기분석을 통하여 자색고구마 anthocyanin 색소의 aglycone, 당 및 acyl group 등을 동정하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

자색고구마(자미)는 전남 무안에서 재배한 것으로 수확 후 상대습도 85%, 온도 13°C로 조절된 항온습습기(HB-105S, 한백)에 보관하면서 시료로 사용하였다. 표준물질로서 사용된 유기산 및 당류는 Sigma Chemical사(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다.

### 색소의 추출 및 정제

자색고구마로부터 anthocyanin 색소의 추출 및 정제는 Morris 등(23)의 방법에 따라 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 자색고구마 100 g을 2 mm 크기로 세절한 후 1% HCl 함유 methanol을 시료가 완전히 잠기도록 가하여 4°C의 암소에서 24시간 방치하면서 색소를 추출하였다. 추출이 끝난 후 색소추출액을 분리하기 위하여 Whatman No. 1 여과지를 사용한 Büchner funnel을 사용하여 흡인여과하고 잔사는 고구마 색소가 완전히 제거될 때까지 동일 용매를 사용하여 3회 반복 추출하였다. 추출액을 모두 모아서 anthocyanin 색소의 정제용 시료로 사용하였다. 정제용 시료는 회전감압농축기(Büchi, R-124, Switzerland)를 사용하여 40°C에서 농축한 후 농축액을 분액여두를 사용하여 petroleum ether로 지용성 색소인 chlo-

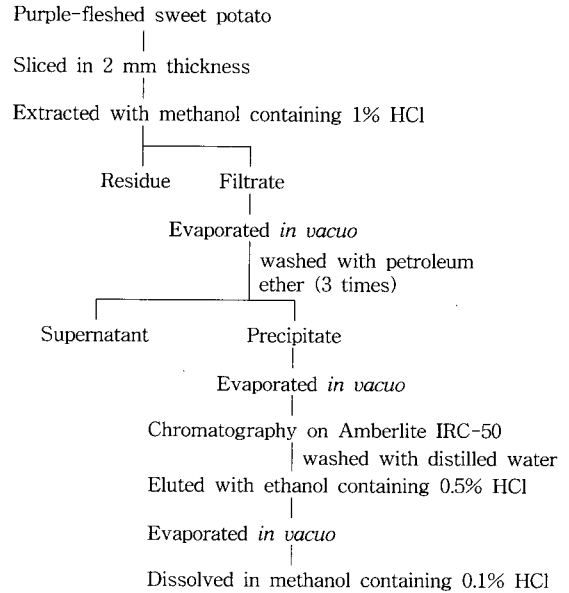


Fig. 1. Procedure for extraction and purification of anthocyanin from purple-fleshed sweet potato.

rophyll과 carotenoid 및 기타 지질성분 등을 제거하였으며, 이 과정을 3회 반복하여 실시하였다. 이렇게 얻어진 색소 추출액 중에는 여전히 anthocyanin 이외에 다른 불순물이 섞여 있으므로 anthocyanin의 정제와 농축을 위해 양이온교환수지관을 통과시켜 유기산, 유리당류 등을 제거하였다. 수지관은 Morris 등(23)의 방법에 의해 Amberlite IRC-50을 관에 충전하고 사용전에 5% HCl 용액을 주입하여 H<sup>+</sup>형으로 활성화시켜서 사용하였다. 색소 농축액을 이온교환수지관에 주입시켜 수지에 색소를 흡착시킨 후 유출물이 무색이 될 때까지 증류수를 통과시킨 후 0.5% HCl 함유 ethanol을 주입시켜 색소를 용출시킨 후 회전감압농축기를 사용하여 색소가 완전히 건조될 때까지 감압농축하여 소량의 0.1% HCl 함유 methanol에 녹인 후 냉장고에 보관하면서 시료로 사용하였다.

### 개별색소의 분리

이온교환 수지관을 통과시켜 정제한 혼합색소용액을 Whatman 3 MM paper로 AHW(acetic acid : HCl : water = 15 : 3 : 82, v/v/v) 용매계를 사용하여 개별색소를 분리하였다. 분리된 각 개별색소들은 하단으로부터 순서에 따라 band 1, 2, 3로 구분하였으며 분리된 색소대를 취하여 0.1% HCl 함유 methanol로 추출하였다. Paper chromatography에 의해 분리된 개별색소를 Sep-pak(C<sub>18</sub> type)으로 정제하고 membrane filter(Gelman Acrodisc LC 13 PVDF, 0.2  $\mu$ m)로 여과한 후,  $\mu$ -Bondapak C<sub>18</sub>(3 mm  $\times$  300 mm) column을 사용한 HPLC system(Waters 510, Waters사, USA)에 의해 분석하였다. 이때 이동상은 FWM(formic acid : water : methanol, 7 : 63 : 30, v/v/v), 유속

은 1.0 mL/min, 검출기는 Waters 486 turnable absorbance detector를 사용하여 530 nm에서 측정하였다.

**Aglycone의 확인**

자색고구마 anthocyanin 색소의 aglycone은 Luh 등의 알칼리 분해법(24)에 따라서 분석하였다. 시험관에 농축된 색소액과 2 mL의 2 N HCl을 넣고 reflux 장치로 100°C에서 1시간 가열한 후 isoamyl alcohol로 aglycone 부분을 1 mL씩 3회 추출하였다. 얻어진 추출액에 대하여 15% Ba(OH)<sub>2</sub> 혼합액 5 mL를 가하여 reflux 장치로 100°C에서 40분간 가열 분해하였다. Ice-water bath에서 냉각 후 분해물에 2 mL의 진한 HCl을 가한 뒤 잘 흔들고 ethyl ether로 추출하였다. 추출액을 증류수로 2회 수세한 후 70°C의 회전감압농축기로 완전 농축하였다. 이것을 methanol에 용해시킨 후 membrane filter(Whatman, nylon, 0.2 µm)에 통과시켰다. 기지물질인 phloroglucinol, protocatechuic acid, vanillic acid, gallic acid, *p*-hydroxybenzoic acid, syringic acid 등을 이용하여 Table 1에 나타낸 조건에 따라 역상 HPLC를 사용하여 확인하였다.

**Acyl group의 확인**

Francis(25)의 알칼리 가수분해법에 따라 색소액을 시험관에 넣고 질소가스를 충전한 다음 2 N NaOH 1 mL를 넣고 다시 질소가스를 충전한 후 밀봉하여 실온에서 2시간 방치하였다. 여기에 2 N HCl 1 mL를 가한 후 ethyl ether로 acyl compounds를 추출한 다음 회전감압농축기로 완전 농축시킨 후 methanol에 용해시켜 표준물질인 chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid, *o*-coumaric acid, *p*-coumaric acid 등을 이용하여 Table 1에 나타낸 조건에 따라 HPLC를 사용하여 acyl group을 확인하였다.

**결합당의 확인**

**부분가수분해**

소량의 정제된 색소를 Abe-Hayashi 방법(26)으로 시험관에 넣고 1.5 mL의 2 N HCl을 가하여 가열하면서 0, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 60분 간격으로 분해물을 분취하여 Whatman No. 1 paper에 각각 점으로 찍어 용매계 AHW로 전개하였다.

**결합당의 확인**

색소에 2 mL의 2 N HCl을 넣고 100°C에서 1시간 가열 분해 하였다. 이 분해액을 ice-water bath에서 냉각한 후 Albach 등(27)의 방법에 따라 isoamyl alcohol로 aglycone을 제거하였고 ethyl ether로 불순물을 제거하였다. 이 액을 중화시킨 후 기지당인 glucose, xylose, fructose 등을 이용하여 BPW(*n*-butanol : pyridin : water, 6 : 3 : 1, v/v/v)를 전개용매로 하여 paper chromatography를 행하였고 Table 1의 조건으로 HPLC system을 이용하여 결합당을 확인하였다.

**결과 및 고찰**

**개별색소의 분리**

자색고구마 색소추출물을 Fig. 1에 나타낸 과정을 통하여 정제하고 얻어진 정제 색소액에 대해 paper chromatography를 행하고 얻어진 개별색소에 대해 530 nm에서 HPLC를 행한 결과 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 각각의 band는 단일의 화합물로 이루어졌음을 알수 있었다. HPLC를 통하여 얻어진 band 1, 2, 3의 순도는 단일 peak area로 계산하여 각각 99.5, 99.2, 99.3%를 나타내 자색고구마 anthocyanin 색소가 순수분리 되었음을 확인할 수 있었다. 각 개별색소의 용출시간대는 band 1이 4.21분,

**Table 1. Operating conditions of HPLC used for the analysis of aglycone, acyl group and sugar moiety of purple-fleshed sweet potato anthocyanin**

Aglycone analysis	Instrument	Waters Associate
	Detector	Waters 486 Turnable Absorbance Detector
	Wavelength	270 nm
	Mobile phase	1% Acetic acid : Methanol (70 : 30, v/v)
	Column	µ-Bondapak C <sub>18</sub> (3×300 mm)
	Flow rate	1.0 mL/min
Acyl group analysis	Instrument	Waters Associate
	Detector	Waters 486 Turnable Absorbance Detector
	Wavelength	320 nm
	Mobile phase	1% Acetic acid : Methanol (65 : 35, v/v)
	Column	µ-Bondapak C <sub>18</sub> (3×300 mm)
	Flow rate	1.0 mL/min
Sugar moiety analysis	Instrument	Waters Associate
	Detector	410 RI
	Mobile phase	Acetonitrile : Water (83 : 17, v/v)
	Column	Carbohydrate (4 mm×30 cm)
	Flow rate	0.7 mL/min

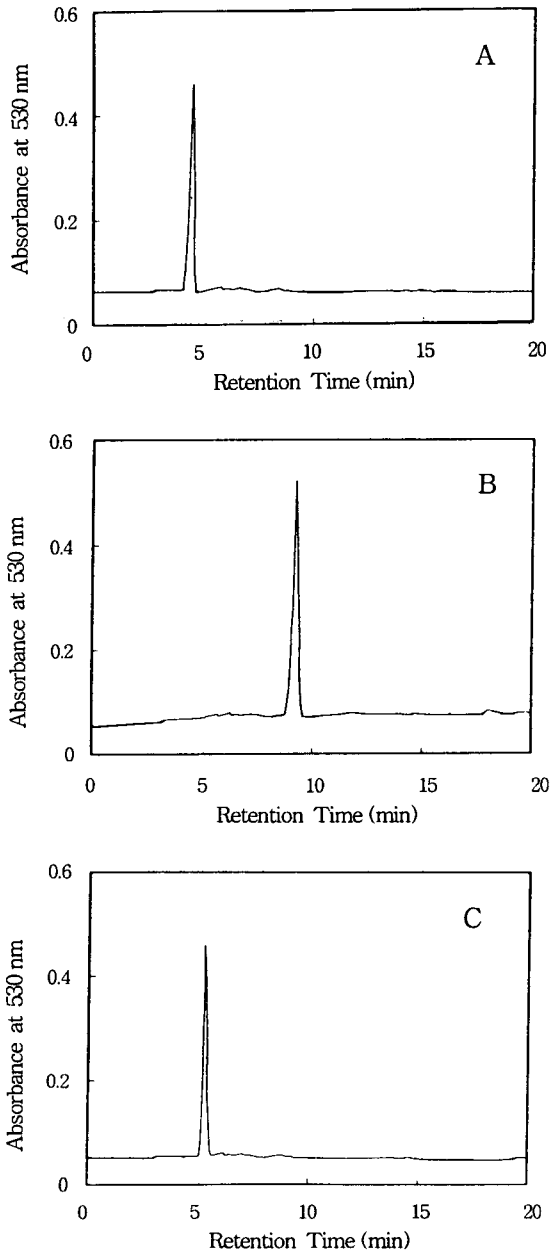


Fig. 2. HPLC chromatograms of crude anthocyanins extracted from purple-fleshed sweet potato. (A) band 1, (B) band 2, (C) band 3.

band 2가 9.24분 그리고 band 3이 5.10분을 나타내 자색 고구마의 anthocyanin은 적어도 3종 이상으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

#### Aglycone의 확인

자색고구마 anthocyanin 색소의 aglycone에 대한 정보를 얻기 위하여 barium hydroxide degradation방법(28)과 그 분해산물들에 대해 HPLC system을 이용하여 확

인한 결과 Table 2와 같이 band-1, 2, 3에 나타난 자색고구마 anthocyanin 색소의 aglycone은 phloroglucinol과 vanillic acid로 구성되어 있었다. Shin(28)은 elderberry anthocyanin의 aglycone이 알칼리 분해에 phloroglucinol과 benzoic acid 유도체를 생성함을 관찰하였는데, pelargonidin은 *p*-hydroxy benzoic acid를 cyanidin은 protocatechuic acid를 delphinidin은 gallic acid를 그리고 peonidin은 vanillic acid를 생성한다고 보고하였다. 본 연구 결과에서는 자색고구마 anthocyanin 색소의 aglycone이 phloroglucinol과 vanillic acid로 구성되어 있어 자색고구마 anthocyanin 색소는 peonidin으로 구성되었음을 알 수 있었으며, 이는 다른 자색고구마 품종에 대해서 밝혀진 사실과 일치하였다(16,18,19,22).

#### Acyl group의 확인

자색고구마 anthocyanin 색소의 acyl group에 대한 분석은 각각의 색소 band에서 얻어진 색소에 대하여 알칼리 분해하여 acyl compounds를 얻었다. 표준물질은 chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid, *o*-coumaric acid, *p*-coumaric acid 등을 대상으로 하여 HPLC분석을 행하면서 동일 용출시간대의 peak를 관찰하였다. 그 결과 Table 3에 나타난 바와 같이 band 2의 용출시간(14.20분)은 표준물질 ferulic acid의 용출시간(14.23분)과 동일 용출시간을 나타내어 band 2의 acyl compound는 ferulic acid로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 또한 band 3의 용출시간(8.25분)도 표준물질인 caffeic acid의 용출시간(8.27분)과 동일 용출시간을 나타내어 band 3의 acyl compound는 caffeic acid로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 본 실험 결과 자색고구마 anthocyanin 색소의 acyl compound는 ferulic acid와 caffeic acid로 구성되어 있음을 알 수 있는데, Odake 등(16)과 Tsukui 등(17)도 자색고구마 antho-

Table 2. Retention time in HPLC chromatogram of alkaline degradation products of purple-fleshed sweet potato anthocyanin

Aglycone	Retention time (min)	Identification
Band 1	3.80	phloroglucinol
	9.75	vanillic acid
Band 2	3.81	phloroglucinol
	9.90	vanillic acid
Band 3	3.81	phloroglucinol
	9.91	vanillic acid
Authentic compound		
Phloroglucinol	3.82	
Gallic acid	4.20	
Protocatechuic acid	5.83	
<i>p</i> -Hydroxy benzoic acid	8.75	
Vanillic acid	9.91	
Syringic acid	11.06	

**Table 3. Retention time in HPLC chromatogram of the acyl group of purple-fleshed sweet potato anthocyanin**

Acyl group	Retention time (min)	Identification
Band 1	6.42	-
Band 2	14.20	ferulic acid
Band 3	8.25	caffeic acid
Authentic compound		
Chlorogenic acid	6.09	
Caffeic acid	8.27	
<i>p</i> -Coumaric acid	13.15	
Ferulic acid	14.23	
<i>o</i> -Coumaric acid	20.03	

anthocyanin 색소가 ferulic acid와 caffeic acid로 acylation되어 있음을 보고한 결과와 일치하였다. Band 1은 표준물질과 용출시간이 일치하지 않아 더 이상의 분석을 진행하지 않았다.

**결합당의 확인**

부분가수분해에 의한 확인

각 배당체 색소에 결합된 당의 수와 결합형태를 확인하기 위하여 각 색소를 부분 가수분해시켜 paper chromatography로 확인한 결과 band 1, band 2, band 3 모두 6개의 spot을 나타내었다.

Shin(28)은 elderberry anthocyanin에 대한 연구에서 당의 부분가수분해에 의해 4개의 spot을 얻어 이들이 원색소와 3,5-diglucoside의 부분 가수분해 산물인 3-glycoside, 5-glycoside, aglycone으로 구성되어 있음을 보고하였다. 본 실험결과로 미루어 보아 자색고구마 anthocyanin은 원색소, 3-mono-5-mono glycoside, 5-mono glycoside, 3-diglycoside, 3-mono glycoside, aglycone인 peonidin의 6가지 분해물이 생성됨을 추정할 수 있다. 그리고 자색고구마 anthocyanin은 aglycone에 3개의 당이 결합된 triose임을 알 수 있다.

또한 부분 가수분해에 의하여 얻어질 수 있는 trioside로는 3-diglycoside-5-monoglycoside 및 3-monoglycoside-5-diglycoside 두가지로 생각할 수 있는데, 3-monoglycoside-5-diglycoside는 아직 자연계에서 발견된 바 없다고(1) 인용한 바 있어 본 연구에 사용한 자색고구마 anthocyanin으로부터 분리한 결합당은 3-diglycoside-5-monoglycoside임을 추정할 수 있다.

**결합당의 확인**

자색고구마 anthocyanin 색소를 산가수분해하여 얻은 당을 표준물질과 함께 paper chromatography와 HPLC로 분석하여 얻은 결과는 Table 4와 같이 모든 band에서 glucose만이 검출되어 자색고구마 anthocyanin에는 glucose가 배당체의 구성물로써 결합되어 있음을 추정할 수

**Table 4. R<sub>f</sub> value in paper chromatogram and retention time in HPLC chromatogram of the sugar moiety of purple-fleshed sweet potato anthocyanin**

Sugar	R <sub>f</sub> value (BPW) <sup>1)</sup>	Identification
Band-1	0.25	glucose
Band-2	0.25	glucose
Band-3	0.23	glucose
Authentic sugar		
Galactose	0.18	
Glucose	0.24	
Fructose	0.28	
Arabinose	0.29	
Xylose	0.35	
Sugar	Retention Time (min)	Identification
Band 1	13.42	glucose
Band 2	13.46	glucose
Band 3	13.38	glucose
Authentic sugar		
Xylose	9.86	
Fructose	11.40	
Glucose	13.40	

<sup>1)</sup> n-BuOH : pyridin : water (6 : 3 : 1, v/v/v)

있다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 자색고구마 anthocyanin 색소는 peonidin-3-diglucoside-5-monoglucoside에 caffeic acid 또는 ferulic acid가 acylation된 구조로 구성되어 있음을 알 수 있다. 현재 이들 anthocyanin 색소의 명확한 구조의 규명을 위해 MS와 NMR 등을 사용한 자색고구마 anthocyanin 색소의 구조분석이 진행 중에 있다.

**감사의 글**

본 연구는 한국과학재단 지정 목포대학교 식품산업기술연구센터(RRC-FRC)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

**요 약**

자색고구마(자미) anthocyanin 색소의 분석을 위하여 1% HCl 함유 methanol로 추출한 자색고구마 색소액을 Amberlite IRC-50 양이온교환수지판을 통과시켜 정제하고 paper chromatography로 개별색소를 분리, 3개의 band를 얻었다. Paper chromatography에 의해 분리된 각 개별색소에 대해 부분가수분해, aglycone의 확인, acyl group의 확인, 결합당의 확인, paper chromatography 그리고 HPLC 등을 기초로 한 각종 기기분석 결과 자색고구마의 anthocyanin 색소는 caffeic acid와 ferulic acid로 acylation된 peonidin-3-diglucoside-5-glucoside의 구조를 나타냄을 알 수 있었다.

## 문헌

1. Henry, B.S.: Natural food colors. In *Natural Food Colorants*, Hendry, G.A.F. and Houghton, J.D. (eds.), Blackie and Son Ltd., Glasgow, p.39-78 (1992)
2. Jackman, R.L., Yada, R.Y., Jung, M.A. and Speers, R.A.: Anthocyanin as food colorants. *J. Food Biochem.*, **11**, 201-247 (1987)
3. Jackman, R.L., Yada, R.Y. and Jung, M.A.: Separation and chemical properties of anthocyanins used for their qualitative and quantitative analysis. *J. Food Biochem.*, **11**, 279-308 (1987)
4. Mazza, G. and Miniati, E.: *Anthocyanins in Fruits, Vegetables and Grains*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, p.29-40 (1993)
5. Francis, F.J.: Future trends. In *Developments in Food Colors-2*, Walford, J. (ed.), Applied Science Publishers, New York, p.233-247 (1984)
6. Francis, F.J.: Food colorants Anthocyanins. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **28**, 273-314 (1989)
7. Idaka, E., Suzuki, K., Yamakita, H., Ogawa, T. and Goto, T.: Structure of monoacylated anthocyanins isolated from red cabbages, *Brassica oleracea*. *Chem. Lett.*, 145-148 (1987)
8. Shi, Z., Lin, M. and Francis, F.J.: Stability of anthocyanins from *Tradescantia pallida*. *J. Food Sci.*, **57**, 758-759 (1992)
9. Shi, Z., Lin, M. and Francis, F.J.: Anthocyanins of *Tradescantia pallida*. Potential food colorants. *J. Food Sci.*, **57**, 761-765 (1992)
10. Murai, K. and Wilkins, D.: Natural red color derived from red cabbage. *Food Technol.*, **44**, 131 (1990)
11. Kim, S.J., Rhim, J.W., Lee, L.S. and Lee, J.S.: Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 345-351 (1996)
12. Lee, L.S., Rhim, J.W., Kim, S.J. and Chung, B.C.: Study on the stability of anthocyanin pigment extracted from purple sweet potato (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 352-359 (1996)
13. Kim, S.J., Rhim, J.W., Lee, L.S., Lee, J.S. and Chung, B.C.: Growth characteristics and changes of pigment content of purple sweet potato during growth (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 1180-1183 (1996)
14. Kim, S.J. and Rhim, J.W.: Concentration of pigment extracted from purple sweet potato by nanofiltration (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **29**, 492-496 (1997)
15. Lee, L.S. and Rhim, J.W.: Thermal kinetics of color changes of purple sweet potato anthocyanin pigment (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **29**, 479-501 (1996)
16. Odake, K., Terahara, N., Saito, N., Toki, K. and Honda, T.: Chemical structures of two anthocyanins from purple sweet potato, *Ipomoea batatas*. *Phytochem.*, **31**, 2127-2130 (1992)
17. Tsukui, A., Kuwano, K. and Metanura, T.: Anthocyanin pigment isolated from purple root of sweet potato. *Kaseigaku Zasshi.*, **34**, 153-159 (1983)
18. Imbert, M.P., Seaforth, C.E. and Williams, D.B.: The anthocyanin pigments of the sweet potato *Ipomoea batatas*. *Proc. Am. Hortic. Sci.*, **288**, 481-485 (1966)
19. Shi, Z., Bassa, I.A., Gabriel, S.L. and Francis, F.J.: Anthocyanin pigments of sweet potato-*Ipomoea batatas*. *J. Food Sci.*, **57**, 755-757 (1992)
20. Nozue, M., Kawai, J. and Yoshitama, K.: Selection of a high anthocyanin producing cell line of sweet potato cell cultures and identification of pigments. *J. Plant Physiol.*, **129**, 81-89 (1987)
21. Miyazaki, T., Tsuzuki, W. and Suzuki, T.: Composition and structure of anthocyanin in the periderm and flesh of sweet potatoes. *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, **60**, 217-224 (1991)
22. Lee, L.S., Chang, E.J., Rhim, J.W., Ko, B.S. and Choi, S.W.: Isolation and identification of anthocyanins from purple sweet potatoes. *J. Food Sci. Nutr.*, **2**, 83-88 (1997)
23. Morris, Q.L., Gage, T.B. and Wender, S.H.: The isolation and purification of morin on an ion-exchange resin. *J. Am. Chem. Soc.*, **73**, 3340 (1951)
24. Luh, B.S., Stachowicz, K. and Hsia, C.L.: The anthocyanin pigments of boysenberries. *J. Food Sci.*, **30**, 300-305 (1965)
25. Francis, F.J.: Analysis of anthocyanin. In *Anthocyanins as food colors*, Markakis, P. (ed.), Academic Press, New York, p.182-208 (1982)
26. Abe, Y. and Hayashi, K.: Further studies on paper chromatography of anthocyanins, involving an examination of glycoside types of partial hydrolysis. *Bot. Mag. (Tokyo)*, **69**, 577-585 (1956)
27. Albach, R.F., Webb, A.D. and Kepner, E.: Structures of acylated anthocyanin pigments *Vitis vinifera* variety Tinta pinheira identification of anthocyanidin, sugar and acid moieties. *J. Food Sci.*, **30**, 69-76 (1965)
28. Shin, M.S.: Studies on identification of the anthocyanins in elderberries. *M.S. Thesis*, Seoul National Univ. (1979)

(2000년 4월 14일 접수)