

자색고구마 색소 농축액과 매실음료 Anthocyanin의 가열분해에 대한 속도론적 연구

임중환* · 이장욱

목포대학교 식품공학과 및 식품산업기술연구센터

Degradation Kinetics of Anthocyanins in Purple-Fleshed Sweet Potato Pigment Concentrates and a Japanese Plum Juice Based Beverage

Jong-Whan Rhim* and Jang-Wook Lee

Department of Food Engineering and Food Industrial Technology Research Center, Mokpo National University

The effects of concentration and temperature on degradation of anthocyanins of purple-fleshed sweet potato pigment concentrate and a Japanese plum juice were determined over temperature ranges of 60 to 90°C and 5 to 60°C, respectively. Degradation of anthocyanins in pigment concentrates followed the first-order reaction rate. Activation energies of the pigment solutions ranged 51.29-73.02 kJ/mol, linearly decreasing as concentration increased except the pigment solution of 8.4°Brix which was not concentrated after extraction. Anthocyanins in Japanese plum juice was also degraded by the first-order reaction kinetics with activation energy of 75.80 kJ/mol. Storage life of the beverage was extended with decreasing storage temperature. Pigment was retained more than 80% until 8 months storage at 5°C.

Key words: purple-fleshed sweet potato, anthocyanin, thermal degradation, kinetics

서 론

최근에 합성색소의 사용이 점차 규제됨에 따라 새로운 천연식용색소의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다⁽¹⁻³⁾. 천연식용색소의 소재로는 동물이나 식물 및 미생물 등이 이용되고 있는데, 과채류의 열매나 식물의 꽃, 잎, 줄기, 뿌리 등에 존재하는 색소가 주로 이용하고 있다. 천연식용색소는 합성색소에 비해 착색도가 낮고 안정성이 떨어지며, 색소원에서 유래하는 이취 문제와 경우에 따라 용해성 문제가 있으며, 상대적으로 가격이 높아 산업적으로 이용하는 데 제한이 있었으나^(3,4), 인체에 대한 안전성이 높고, 영양가 및 약리작용이 있는 경우가 많아 최근의 건강지향적이고 천연지향적인 소비자의 요구에 부응하여 그 사용이 점차 늘어나고 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 천연식용색소 중의 하나인 anthocyanin은 포도, 딸기, 적양배추 등의 과채류나 자색의 고구마나 감자와 같은 뿌리나 줄기의 저장기관 및 식물의 꽃이나 열매에 존재하는 주황에서부터 적색, 분홍색, 보라색 및

청색에 이르는 다양한 색상을 나타내는 수용성 색소로서 자연계에 약 300여 종이 존재하며⁽⁴⁾, 현재 사용이 금지되었거나 제한적으로 사용이 허용되고 있는 적색의 합성색소를 대신하여 사용할 수 있는 잠재력이 가장 높은 것으로 알려져 있다^(2,5,6). 그런데 대부분의 천연식용색소들은 합성색소에 비해 안정성이 떨어지는 문제점을 가지고 있는데, 일반적으로 anthocyanin계 색소의 안정성은 주로 pH, 온도, 산소, 광, 금속이온, 당, 수분, 효소 등의 인자들에 의해 영향을 받는다^(2,6,9). Anthocyanin은 구조적으로 전자가 하나 부족한 불안정한 oxonium화합물로서^(2,6) anthocyanin을 함유하는 제품의 가공이나 저장 시의 여러 환경조건 하에서 변색이나 퇴색 또는 색소의 파괴에 의해 품질 저하의 주 요인이 되기 때문에 anthocyanin의 변색기구의 규명과 방지에 관한 연구는 매우 중요한 과제이다.

Maccarone 등⁽¹⁰⁾은 blood orange fruit juice에 함유되어 있는 anthocyanin의 안정성을 저장기간에 따라 조사하고 항산화제나 phenolic acids, rutin 등의 첨가제가 anthocyanin 색소의 저장성에 미치는 영향에 관하여 조사하였으며, Bassa와 Francis⁽¹¹⁾는 자색고구마 anthocyanin 색소를 모델음료에 적용시켰을 때 deacylation된 anthocyanin 색소보다 acylation된 anthocyanin 색소가 안정성이 높음을 보고하였다. Brouillard⁽¹²⁾는 *Zebrina* anthocyanin의 예외적으로 높은 안정성이 caffeic, ferulic acid의 diacyl group에 기인하며, 이들 acyl group은

*Corresponding author : Jong-Whan Rhim, Department of Food Engineering, Mokpo National University, Chungkye, Muan, Chonnam 534-729, Korea
Tel: 82-61-450-2423
Fax: 82-61-454-1521
E-mail : jwrhim@chungkye.mokpo.ac.kr

oxonium ion을 보호하여 수화에 의해 pseudobase나 chalcone이 형성되는 것을 막아준다고 설명하였다. Dangles 등⁽¹³⁾은 *Pharbitis nil cultivars*의 적자색 꽃잎에 존재하는 anthocyanidin인 pelagonidin에 caffeic acid가 acylation되어 flavylium cation이 수화되는 것을 막아주는 현상을 intramolecular copigment effect에 의한 것으로 설명하였다. Teh와 Francis⁽¹⁴⁾도 *Zebrina pendula*, *Ipomoea tricolor* anthocyanin을 모델음료에 첨가하여 그 안정성을 조사하였으며, Skrede와 Wrolstad^(15,16)는 딸기와 blackcurrant 시럽의 저장중 색소 안정성에 대해 보고하였고, Poesi-Langston과 Wrolstad⁽¹⁷⁾는 ascorbic acid와 flavonoid가 anthocyanin에 미치는 영향을 조사하기 위해 model 음료를 제조하여 anthocyanin의 안정성에 관하여 연구하였다.

본 연구에서는 최근에 새로운 anthocyanin의 색소원으로 알려진 자색고구마 색소의 열안정성 및 식품에 대한 적용 가능성을 조사하기 위하여 자색고구마 색소 농축액과 자색고구마 색소와 매실주스를 이용하여 제조한 모델음료를 사용하여 자색고구마 anthocyanin 색소의 열 안정성에 대한 속도론적 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

색소 농축액의 제조 및 정제

자색고구마로부터 색소의 추출은 Rhim 등⁽¹⁸⁾의 방법에 따라 두께 2 mm 정도로 세절한 자색고구마 50 kg에 대해 500 L의 1% 구연산을 함유한 20% 에탄올을 용매로 상온에서 24 시간 추출하였다. 두 차례의 여과를 통해 색소추출액을 분리한 후, 색소 추출액을 진공농축기(Korea Sanitary Eng., Co.)를 사용하여 600 mmHg의 진공 하에서 약 40°C로 가열하면서 추출액의 최종 부피가 약 1/20로 되도록 진공농축하여 색소 농축액을 제조하였다. 색소의 농도가 각기 다른 시료를 만들기 위해 농축 전의 색소 추출액과 색소 농축액을 적절한 비율로 혼합하여 Table 1에 표시된 바와 같은 네 종류의 자색고구마 색소 시료를 제조하였다. 이 때 색소 추출액과 농축액을 Whatman No. 2 filter paper와 pore size가 0.45 µm인 membrane filter로 재차 여과한 후 사용하였다. 모델 음료의 제조를 위해 색소 농축액을 Rhim과 Lee⁽¹⁹⁾의 방법에 따라 정제하였는데, 색소 농축액을 Amberlite XAD-7 (Sigma Co., Ltd, USA) column(4.5×35 cm)을 사용하여 deionized water와 10% 초산을 함유하는 에탄올 용액을 용매계로 하여 에탄올 농도를 20, 40, 60, 80, 100% 까지 단계적으로 증가시키면서 분획정제하였다.

Table 1. TOD, pH and soluble solid content of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solutions with different concentration ratio

Pigment Solution (conc. ratio)	TOD (A _{530nm})	pH	Soluble Solid (°Brix)
1	5.73	2.69	8.4
5	26.73	2.79	12.2
10	57.43	2.71	16.4
20	108.49	2.54	25.0

매실음료의 제조

자색고구마 색소를 적용하기 적합한 음료를 제조하기 위해 삼투압법에 의해 추출한 매실주스를 기본으로 여기에 자색고구마 색소액을 첨가하여 제조하였다. 매실은 인근 지역의 농수산물시장에서 구입한 것을 깨끗이 세척한 후 물기를 제거한 다음 20 L 크기의 유리병에 동량의 설탕과 혼합하여 실온에서 7일간 보관하면서 삼투압에 의해 매실액을 추출하였다. 추출된 매실액을 10겹의 거즈로 거른 후 Whatman No. 2 filter paper로 여과하고 80°C에서 30분간 살균하여 시료로 사용하였다. 시중에서 판매되고 있는 매실주스와 같은 정도의 당도를 갖도록 매실 추출액과 증류수를 1:3의 비율로 혼합하고 530 nm에서 흡광도가 0.9 정도가 되도록 자색고구마 정제색소를 첨가하여 매실음료를 제조하였는데, 이 음료의 pH는 2.9였다.

온도에 따른 열안정성

색소 용액의 가열을 위해 내용적이 약 120 mL인 stainless steel 재질의 반응기를 제작하여 사용하였는데, 그 구조는 Rhim 등⁽²⁰⁾에 의하여 보고된 바 있다. 이 반응기는 double jacket으로 되어 있어 이를 통해 온수를 순환시켜 내용물을 가열할 수 있으며, 용기의 바깥면은 단열재로 마감하여 외부로의 열손실을 최소화할 수 있도록 하였다. 반응기에 색소 용액 100 mL를 충전한 후 뚜껑을 닫아 밀봉하고 circulating water bath(MC-31, Jeio Tech, Korea)를 이용하여 내용물을 가열하고, 용기 내부에는 magnetic bar를 넣어 일정속도로 교반하면서 색소액이 균일하게 가열되도록 하였다. 가열온도는 60, 70, 80 및 90°C를 사용하였으며, 각각의 온도에서 일정 시간 간격으로 시료를 채취하여 색소의 농도 변화를 조사하였다. 시료의 채취는 용기의 뚜껑에 있는 sampling port를 통하여 Pasteur pipette를 이용하여 1 mL 정도의 시료를 취하였다. 채취된 시료는 더 이상의 색소의 변화를 방지하기 위하여 즉시 ice bath에서 냉각시킨 후 색소 함량을 측정하였다.

자색고구마 색소를 첨가한 매실음료를 50 mL 용량의 cap tube에 40 mL를 주입하여 질소기류 하에서 뚜껑을 닫은 후 저장 중에 발효가 일어나는 것을 방지하기 위하여 85°C의 수욕조 상에서 30초간 살균한 다음 5, 20, 40 및 60°C로 조절된 항온기에 보관하면서 경시적인 색소의 변화를 조사하였다. 시료는 온도별로 30개씩을 준비하여 사용하였으며, 매번 3개씩 취하여 색소함량을 측정하여 그 평균값으로 표시하였다.

색소의 농도 및 pH

자색고구마 색소용액과 모델음료의 가열 및 저장 중의 색소 함량의 변화를 자색고구마 anthocyanin의 최대흡수파장인 530 nm에서 분광광도계(8452A, Hewlett Packard, USA)로 흡광도 값을 측정하여 total optical density(TOD)로 측정하였다. TOD는 분광광도계로 측정 가능한 농도범위까지 추출용매로 희석한 색소액의 흡광도 값에 희석배수를 곱하여 시료 전체의 흡광도 값으로 나타냈으며⁽¹⁸⁾, 용액 중의 색소 잔존량(% pigment retained)은 초기 TOD 값을 기준으로 하여 시간의 경과에 따른 TOD 값의 상대적인 값의 백분율로 표시하였다. 색소 용액의 pH는 pH-meter(520A, Orion Research Inc., USA)로 측정하였으며, 색소 용액의 가용성 고형분의 함량은

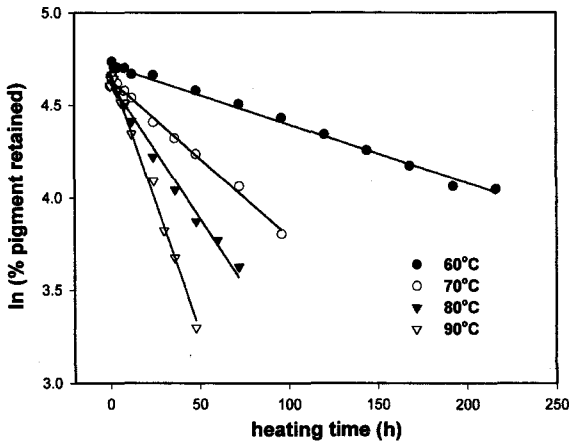


Fig. 1. Degradation rate plot of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solution (8.1°Brix) during heating at different temperatures.

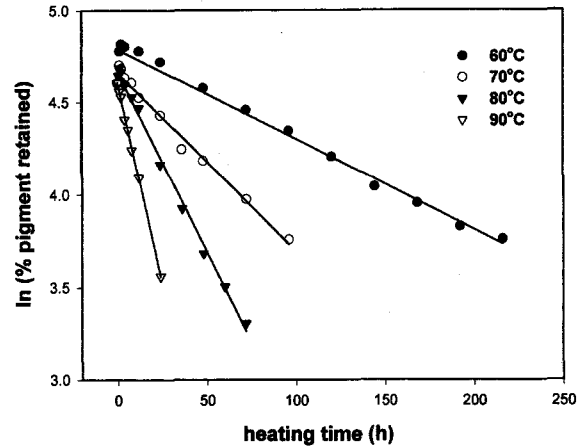


Fig. 3. Degradation rate plot of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solution (16.4°Brix) during heating at different temperatures.

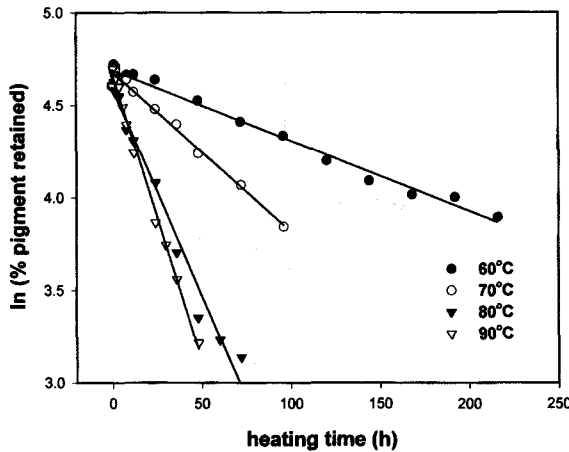


Fig. 2. Degradation rate plot of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solution (12.2°Brix) during heating at different temperatures.

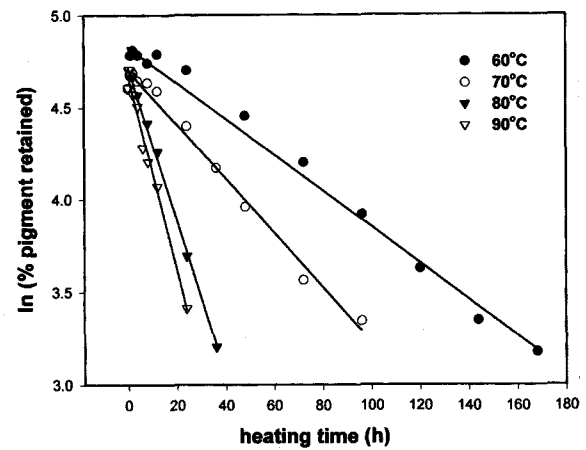


Fig. 4. Degradation rate plot of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solution (25°Brix) during heating at different temperatures.

refractometer(NAR-IT, Atago Co., LTD., Japan)를 사용하여 측정하였다. 모든 측정값은 동일한 조건에서 처리된 시료를 3회 반복 측정하여 그 평균값으로 표시하였다.

결과 및 고찰

자색고구마 색소 용액의 가열 변화

자색고구마 색소 용액의 가열에 의한 색깔의 변화를 530 nm에서의 흡광도 값으로 측정된 바 그 변화 정도는 가열 온도가 증가하거나 가열시간이 증가할수록 증가하였다(Fig. 1-4). 색소 용액의 색깔의 변화는 색소의 파괴, 색소의 중합, 색소의 산화 및 비효소적 갈변 등의 요인에 의해 발생하는데, 자색고구마 색소용액의 변화는 주로 가열에 의한 색소의 파괴에 기인하는 것으로 생각된다. 색소의 가열에 의한 변색 반응이 일어나는 과정에 대해서는 아직 확실하게 밝혀지지는 않았으나 일반적으로 가열에 의해 anthocyanin이 구성 당과 열에 약한 anthocyanidin으로 가수분해되며, 계속하여 anthocyanidin은 가열에 의해 무색 또는 미황색의 chalcone 형

태로 되어 anthocyanin의 색깔이 변하는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 색소 잔존량의 대수값과 가열시간 사이에는 직선적인 관계가 성립되어 자색고구마 색소의 가열에 의한 변화는 1차 반응을 따름을 알 수 있었다. Cemeroglu 등⁽²¹⁾은 sour cherry 주스의 anthocyanin이 1차 반응에 의해 파괴됨을 보였으며, Skrede⁽¹⁵⁾는 blackcurrant 시럽 anthocyanin의 저장 중 anthocyanin 색소의 감소는 1차 반응을 따른다고 보고하였다. 이외에도 여러 연구자들⁽²²⁻²⁴⁾이 anthocyanin색소의 가열에 의한 색소의 파괴반응이 1차 반응을 따른다고 보고하여 본 연구의 결과와 일치하고 있다. 반면에 Lee와 Rhim⁽²⁵⁾은 자색고구마 anthocyanin색소를 pH 2~5의 범위에서 121, 131, 141°C로 가열했을 때 색소변화의 지표인자로 browning index를 사용하여 조사한 결과, 갈변에 의한 자색고구마 색소의 변화는 2차 반응을 따른다고 보고하였는데, 이는 anthocyanin색소의 감소를 직접적으로 조사한 것이 아니라 갈변에 의한 색깔의 변화를 browning index를 지표로 조사하였기 때문이다.

Figures 1-4에 나타난 각 직선에 대한 직선회귀식의 기울기 값으로부터 자색고구마 색소의 파괴반응에 대한 반응속

Table 2. Effect of temperature and solid content on the reaction rate and half-life ($t_{1/2}$) of thermal degradation of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solutions

Solid Content (°Brix)	Temp. (°C)	k (h ⁻¹)	$t_{1/2}$ (h)	R ²
8.4	60	0.0032	216.6	0.98
	70	0.0084	82.5	0.99
	80	0.0147	47.2	0.98
	90	0.0280	24.8	0.99
12.2	60	0.0038	182.4	0.98
	70	0.0086	80.6	0.98
	80	0.0220	31.5	0.98
	90	0.0310	22.4	0.99
16.4	60	0.0049	141.5	0.97
	70	0.0079	87.7	0.98
	80	0.0195	35.5	0.99
	90	0.0300	23.1	0.98
25	60	0.0098	70.7	0.98
	70	0.0147	47.2	0.98
	80	0.0338	20.5	0.99
	90	0.0405	17.1	0.98

도상수(k)를 결정하였으며, 각 색소 용액에 대한 각 온도에서의 반감기 ($t_{1/2}$)를 $t_{1/2} = \ln 2/k$ 의 관계식을 이용하여 계산하여 그 결과를 Table 2에 표시하였다. 자색고구마 anthocyanin 색소 용액의 농도와 온도에 따른 색소파괴반응에 대한 반응 속도상수와 색소의 반감기는 Table 2에 나타난 바와 같다. 대부분의 경우 직선에 대한 결정계수(R²)가 0.98 이상의 높은 값을 보여 색소의 잔존율과 가열시간 사이에 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 자색고구마 색소의 가열에 의한 분해반응은 가열온도와 색소 함량이 높을수록 반응이 빨리 일어나는데, 특히 농도가 가장 높은 20배 농축액(25°Brix)의 경우 농축을 하지 않은 색소 추출액(8.4°Brix)에 비해 가열온도에 따라 색소의 파괴에 의한 변색이 1.5-3.1배 가량 빠르게 일어났다. 따라서 anthocyanin을 함유하는 음료의 가공 시에 색소의 함량을 최대한 유지하기 위해서는 고온에서 단 시간 가열처리하는 것이 유리함을 알 수 있다. Cemeroglu 등⁽²¹⁾은 고형분 함량이 15, 45 및 71°Brix인 sour cherry 농축액의 반감기가 60, 70 및 80°C에서 각각 54.34-8.1 시간, 24.0-4.4 시간 및 13.1-2.8 시간임을 보고하였다. 이러한 결과로 볼 때 자색고구마 색소가 sour cherry의 anthocyanin 색소에 비해 열안정성이 3배 이상 높음을 알 수 있다. Anthocyanin 색소의 열안정성은 색소의 acylation 정도와 관련이 있는 것으로 알려져 있는데^(7-9,12), 자색고구마의 anthocyanin 색소는 peonidin이 diacylation된 구조를 가지므로⁽²⁶⁾ acyl group이 없는 sour cherry의 anthocyanin 색소에 비해 열안정성이 높은 것으로 판단된다.

자색고구마 anthocyanin색소의 농도별 가열분해반응에 대한 반응속도상수(k)의 온도의존성을 Arrhenius식을 사용하여 조사한 결과는 Fig. 5와 같았다. 직선회귀식에 의해 결정된 직선식으로부터 이들 반응에 대한 Arrhenius kinetic parameter를 결정하여 Table 3에 나타냈다. 자색고구마 색소 용액의 가

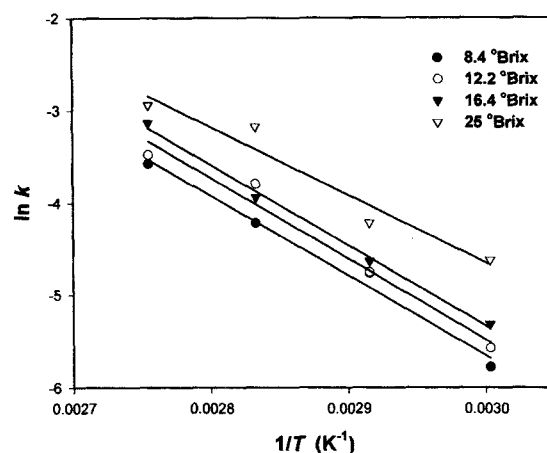


Fig. 5. Arrhenius plot for thermal destruction of the purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solutions.

Table 3. Arrhenius kinetic parameters for the reaction of thermal degradation of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment solutions

Solid Content (°Brix)	Ea ¹⁾ (kJ/mol)	k ₀ ²⁾ (h ⁻¹)	R ²
8.4	71.23	5.13×10 ⁸	0.99
12.2	73.02	1.13×10 ⁹	0.98
16.4	63.76	4.62×10 ⁷	0.98
25	51.29	1.07×10 ⁶	0.95

¹⁾activation energy; ²⁾pre-exponential factor.

열에 의한 변색반응의 활성화 에너지는 색소 함량에 따라 51.29-73.02 kJ/mol이었으며, 이는 Lund⁽²⁷⁾가 식품의 조직 변화, 색깔 변화 및 flavor의 변화에 대한 대표적인 값이라고 제안한 40-125 kJ/mol의 범위에 있으며, Cemeroglu 등⁽²¹⁾이 sour cherry anthocyanin의 가열변화에 대해 보고한 활성화 에너지값인 68.5-80.1 kJ/mol과도 잘 일치한다. 자색고구마 색소 용액의 활성화 에너지는 색소의 농도가 증가할수록 감소하고 있는데, 농축을 하지 않은 색소 추출액에 대한 값을 제외하면 활성화에너지는 색소의 농도가 증가함에 따라 직선적으로 감소하였으며, 그 관계를 다음과 같이 직선식으로 표시할 수 있었다.

$$y = -1.66x + 92.36 \quad (R^2 = 0.99)$$

여기에서 y 는 kJ/mol로 표시되는 활성화 에너지이고, x 는 °Brix로 표시되는 색소용액의 고형분 함량이다. 반면에 Cemeroglu 등⁽²¹⁾의 결과에서는 sour cherry 주스 농축액의 농도가 높아질수록 활성화 에너지가 높아져, 본 연구의 결과와 상반되는 듯 하나 이는 아마도 Cemeroglu 등⁽²¹⁾이 사용한 시료가 anthocyanin 색소만을 추출하여 농축한 것이 아니라 anthocyanin이 함유된 sour cherry 주스 농축액을 사용하였기 때문에 이들 시료에는 유기산이나 당 또는 vitamin C 등과 같은 색소 이외의 성분들이 함유되어 있어 색소의 반응성에 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다⁽²⁸⁾.

매실음료의 색소 변화

자색고구마 anthocyanin 색소를 첨가한 매실음료는 투명하

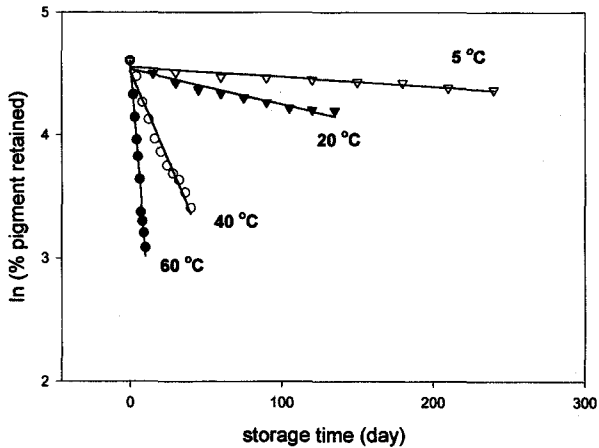


Fig. 6. Destruction rate plot of purple-fleshed sweet potato pigment in the Japanese plum juice based beverage during storage at different temperatures.

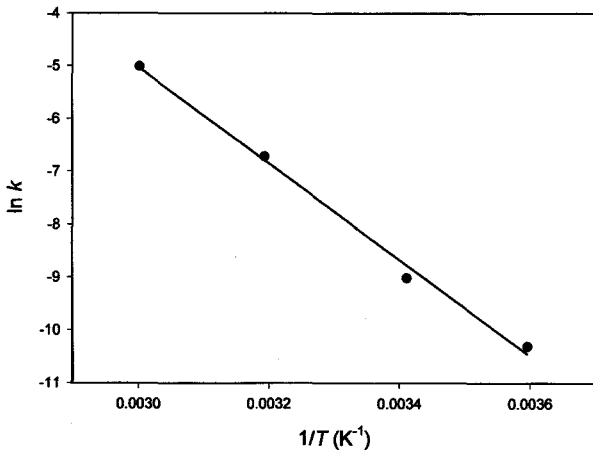


Fig. 7. Arrhenius plot for the destruction of purple-fleshed sweet potato pigment in the Japanese plum juice based beverage.

고 선명한 붉은 색을 나타냈는데, 이는 매실음료의 pH인 2.9에서 자색고구마의 anthocyanin 색소가 flavylium 양이온의 형태로 존재하기 때문이다.^(2,6,28) 이 매실음료를 5, 20, 40 및 60°C의 온도에서 저장하면서 색소 함량의 변화를 조사한 결과, 매실음료 내의 자색고구마 색소는 역시 1차 반응속도식에 따라 그 함량이 감소하였다(Fig. 6). Cemeroglu 등⁽²¹⁾은 sour cherry juice 농축액을 가열하였을 때 색소 함량이 1차 반응속도식에 따라 감소함을 밝혔으며 Skrede⁽¹⁶⁾와 Ochoa 등⁽²⁹⁾은 blackcurrant syrup과 raspberry anthocyanin의 저장 중에 anthocyanin이 시간에 따라 지수함수적인 감소를 보이므로 1차 반응속도식에 따름을 확인하였다. 또한 Bassa와 Francis⁽¹¹⁾도 자색고구마 anthocyanin 색소를 모델음료에 적용하였을 때 동일한 경향을 보임을 보고하였다. 자색고구마 색소의 감소 속도는 저장온도가 낮을수록 감소하여 5°C에 저장한 경우 저장 8개월 후에도 80% 이상의 색소가 잔존해 있었다. 이러한 사실은 anthocyanin을 함유하는 음료를 저온에서 저장해야 함을 보여주고 있다. 이들 직선식으로부터 구한 반응속도상수(k)를 사용하여 Arrhenius plot을 한 결과 Fig. 7에서 보는 바

와 같은 직선적인 관계($R^2=0.99$)를 얻었으며, 이 반응의 활성화 에너지와 지수앞인자는 각각 75.80 kJ/mol 및 4.96×10^9 h⁻¹이었다. 이는 앞서 살펴본 바와 같이 여러 종류의 anthocyanin 색소의 가열분해에 대한 활성화 에너지 값과 잘 일치하고 있다.

요 약

자색고구마 anthocyanin 색소 용액은 가열에 의해 1차 반응속도식에 따라 색소 함량이 감소하였으며, 이 반응은 색소 용액의 농도와 가열온도에 영향을 받았다. 이 반응의 활성화 에너지 값은 색소 용액의 농도에 따라 51.29-73.02 kJ/mol이었으며, 농축하지 않은 색소 추출액을 제외하면 활성화 에너지는 색소의 농도가 증가함에 따라 직선적으로 감소하였다. 자색고구마색소를 첨가한 매실음료의 anthocyanin 색소 역시 저장 중 1차 반응에 따라 색소가 감소하였는데, 저장온도가 낮아질수록 반응속도가 낮아져 저장기간이 증가하여, 5°C에서 저장한 경우는 저장 8개월까지 80%이상의 색소 잔존율을 나타냈다. 매실음료에 함유된 자색고구마 anthocyanin 색소 변화에 대한 활성화 에너지는 75.80 kJ/mol이었다.

문 헌

1. Labell, F. Grapes provide brilliant red color. *Food Processing* 54: 88-89 (1993)
2. Francis, F.J. Food Colorants: Anthocyanins. *Crit. Rev. Food Sci. and Nutr.* 28: 273-314 (1989)
3. Newsome, R.L. Food colors. *Food Technol.* 40: 49-56 (1986)
4. Henry, B.S. Natural food colours, pp. 39-78. In: *Natural Food Colorants*, 2nd ed. Hendry, G.A.F. and Houghton, J.D. (eds.). Houghton Blackie A&P, Great Britain (1992)
5. Mazza, G. and Miniati, E. Introduction pp. 1-28. In: *Anthocyanins in Fruits, Vegetables and Grains.*, Mazza, G. and Miniati, E. (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA (1993)
6. Jackman, R.L., Yada, R.Y., Tung, M.A., and Speers, R.A. Anthocyanin as food colorants-a review. *J. Food Biochem.* 11: 201-247 (1987)
7. Mazza, G. and Brouillard, R. Recent development in the stabilization of anthocyanins in food products. *Food Chem.* 25: 207-225 (1987)
8. Markakis, P. Stability of anthocyanins in foods. pp. 163-180 In: *Anthocyanins as Food Colors.*, Markakis, P. (ed.). Academic press, New York, USA (1982)
9. Markakis, P. Anthocyanins and their stability in foods. *Crit. Rev. Food Technol.* 4: 437-456 (1974)
10. Maccarone, E., Maccarone, A. and Rapisarda, P. Stabilization of anthocyanins of blood orange fruit juice. *J. Food Sci.* 50: 901-904 (1985)
11. Bassa, I.A. and Francis, F.J. Stability of anthocyanins from sweet potatoes in a model beverage. *J. Food Sci.* 52: 1753-1754 (1987)
12. Brouillard, R. Origin of the exceptional color stability of the *Zebrina* anthocyanin. *Phytochem.* 20: 143 (1981)
13. Dangles, O., Saito, N. and Brouillard, R. Anthocyanin intramolecular copigment effect. *Phytochem.* 34: 119-124 (1993)
14. Teh and Francis, F.J. Stability of anthocyanins from *Zebrina pendula* and *Ipomoea tricolor* in a model beverage. *J. Food Sci.* 53: 1580-1581 (1988)
15. Skrede, G., Wrolstad, R.E., Lea, P. and Enersen, G. Color stability of strawberry and blackcurrent syrups. *J. Food Sci.* 57: 172-177 (1992)
16. Skrede, G. Color quality of blackcurrent syrups during storage

- evaluated by hunter L', a', b' values. *J. Food Sci.* 50: 514-517 (1985)
17. Poesi-Langston, M.S. and Wrolstad, R.E. Color degradation in an ascorbic acid-anthocyanin-flavonol model system. *J. Food Sci.* 46: 1218-1222 (1981)
 18. Rhim, J.W., Lee, J.W., Jo, J.S. and Yeo, K.M. Pilot plant scale extraction and concentration of purple-fleshed sweet potato anthocyanin pigment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 808-811 (2001)
 19. Rhim, J.W. and Lee, J.W. Photostability of anthocyanin extracted from purple-fleshed sweet potato. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 346-349 (2002)
 20. Rhim, J.W., Nunes, R.V., Jones, V.A. and Swartzel, K.R. Determination of kinetic parameters using linearly increasing temperature. *J. Food Sci.* 54: 446-450 (1988)
 21. Cemeroglu, B., Velioglu, S. and Isik, S. Degradation kinetics of anthocyanins in sour cherry juice and concentrate. *J. Food Sci.* 59: 1216-1218 (1994)
 22. Lukton, A., Chichester, O. and Mackinney, G. The breakdown of strawberry anthocyanin pigment. *Food Technol.* 10: 427-432 (1956)
 23. Mok, C. and Hettiarachchy, N.S. Heat stability of sunflower-hull anthocyanin pigment. *J. Food Sci.* 56: 553-555 (1991)
 24. Palamidis, N. and Markakis, P. Stability of grape anthocyanin in a carbonated beverage. *J. Food Sci.* 40: 1047-1049 (1975)
 25. Lee, L.S. and Rhim, J.W. Thermal kinetics of color changes of purple sweet potato anthocyanin pigment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 497-501 (1997)
 26. 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)
 27. Lund, D.B. Quantifying reactions influencing quality of foods: texture, flavor and appearance. *J. Food Proc. Preserv.* 6: 133-153 (1982)
 28. Brouillard, R. Chemical structures of anthocyanins. pp. 1-40. In: *Anthocyanins as Food Colors*, Markakis, P. (ed.). Academic Press, New York, USA (1982)
 29. Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Vullioud, M.B. and Lozano, J.E. Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: storage effect on composition and color. *Lebensm-Wiss. u-Technol.* 32: 149-153 (1999)

(2002년 2월 21일 접수)