

## 자색고구마를 첨가한 스펀지케이크의 항산화성 및 호화 특성

김 종 희<sup>1</sup> · 이 근 종<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>서일대학교 식품영양과, <sup>2</sup>숭의여자대학교 식품영양과

### Antioxidative Activities and Gelatinization Characteristics of Sponge Cake added with Purple Sweet Potato

Jong-Hee Kim<sup>1</sup> and Kun Jong Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food and Nutrition, Seoil University, Seoul 131-702, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Food and Nutrition, Soongui College, Seoul 100-751, Korea

#### Abstract

In the study, purple sweet potato sponge cake was prepared with different ratios of purple sweet potato powder in order to examine the antioxidative activities and gelatinization characteristics. For DPPH radical scavenging effect, content of IC<sub>50</sub> came out with (+) control group of BHA. Sponge cake with purple sweet potato powder of 0% showed a range of 49.7 mg/mL. The treatment groups with purple sweet potato powder of 5~30% showed a range of 25.0 mg/mL~6.0 mg/mL. That was, the higher the added quantity of purple sweet potato powder was, antioxidative activities increased. With the higher quantity of purple sweet potato, the content of phenols and flavonoids also increased. As a result of examining the gelatinization activity with DSC, the group with purple sweet potato powder showed a faster progress in temperature for starting gelatinization compared to the control group. Gelatinization activity increased in proportion to the content of purple sweet potato powder. Based on the above study results, it was proved that there is a possibility to produce baking processed foods using purple sweet potato with stable gelatinization and excellent antioxidative activities.

Key words : Purple sweet potato, sponge cake, DPPH radical scavenging effect (antioxidative activities), DSC, gelatinization.

#### 서 론

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 예로부터 구황식물로 재배되었으나, 최근에는 고구마와 고구마 잎이 갖고 있는 여러 가지 유익한 성분 때문에 기능성 식품과 다이어트 식품 등으로 이용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Haung *et al* 2004, Islam S 2006, Lochmann *et al* 2013). 특히, 자색고구마를 이용한 가공식품으로 양갱, 생면, 떡 등에 관한 연구가 점점 증가하고 있다(Lee & Choi 2009, Lee & Yoo 2012, Ahn GJ 2010, Park *et al* 2012).

자색고구마는 다른 일반 고구마에 비해 영양소 면에서 단백질, 무기질, 조지방(Ko & Seo 2010), 토크페롤, 페놀화합물, β-carotene이 높다고 보고(Teow *et al* 2007)되었고, 국내 연구로는 기능성 물질로 anthocyanin 색소와 폴리페놀 등이 알려져 있다(Lee & Yoo 2012, Song *et al* 2005). 또한, 자색고구마가 함유한 성분인 chlorogenic acid와 isochlorogenic acid는 항돌연변이 효과가 크다고 주로 알려져 있다(Park OK 2011).

자색고구마의 주 색소는 dicaffeoyl-peonidin-3-sophoroside-5-glucoside라고 보고(Imbert *et al* 1966)되었으며, 품종 등에 따라 자색고구마의 anthocyanin 색소 함량이 약간 다르다고 알려져 있다(Park *et al* 2011). 그러나 기본적으로 자색고구마의 안토시아닌 색소는 페놀산 등의 공통적인 aromatic acyl group을 갖고 있어서 다소 간의 색상의 차이는 있을 수 있으나, 항산화력이 매우 뛰어난 것으로 보고되었다(Lee *et al* 1997).

이러한 자색고구마의 여러 가지 효능이 밝혀짐에 따라 항산화력이 뛰어난 자색고구마를 이용한 제빵성에 대한 연구(Kim & Ryu 1997)도 활발히 진행되고 있다. 지금까지 자색고구마를 첨가한 연구로는 식빵(Lee & Park 2011), 머핀(Ko & Seo 2010), 설기떡(Oh & Hong 2008) 등이 있고, 특히, Park OK(2011)은 자색고구마를 첨가하여 스펀지케이크를 제조한 후, 이화학적 특성으로 5~20% 함량의 자색고구마를 첨가하면 비중, 점도, 당도, 무게, 수분 함량, 경도 및 a 값 등은 증가하였고, 반면에 pH, 높이, L 값 등은 감소하였다. 관능검사에서도 자색고구마 가루를 10% 첨가군이 가장 높다고 보고하였다.

한편, 자색고구마의 수용성 성분은 천연색소로 이용하기

\* Corresponding author : Kun Jong Lee, Tel: +82-2-3708-9247, Fax : +82-2-3708-9121, E-mail: kunjong@hanmail.net



질화하여 3회 측정하였다(Han *et al* 2011).

자색고구마를 첨가한 스펀지케이크의 산도는 시료 1 g에 3차 증류수 40 mL를 가하여 시료용 플라스틱 비커에 10초간 마쇄시켰다. 그 후 계측기(T50, Mettler-Toledo, Switzerland)로 3회 중화적정법을 이용하여 기계로 자동 측정하여 다음 공식에 의하여 계산된 평균값을 자동 계산하여 구하였다(Han *et al* 2011).

$$\text{산도 (\%)} = \frac{0.9 \times 0.1N \text{ NaOH(mL)} \times F}{\text{시료의무게 (g)}}$$

(F: Factor of 0.1 N NaOH)

### 3. 색도

자색고구마 스펀지케이크의 색도는 분광측색계(Chroma meter CR-400, Minolta, Japan)를 사용하여 명도를 나타내는 L 값(lightness), 적색도를 나타내는 a 값(redness), 황색도를 나타내는 b 값(yellowness)을 측정하였다. 시료 농도(0~20%) 별로 구연산을 첨가하지 않은 군과 첨가한 군 간(0~30%) 색도를 각각 3회 반복 측정하여 평균값과 표준편차를 구하였다. 이 때 사용한 표준 백색판의 L 값은 94.34, a 값은 -0.63, b 값은 2.74이었다.

### 4. 호화 특성

#### 1) Differential Scanning Calorimetry(DSC) 호화 특성 조사

자색고구마 분말을 첨가한 스펀지케이크의 호화 특성에 미치는 thermal properties를 알아보기로 자색고구마가루와 증류수로 반죽한 시료를 폴리에틸렌(PE) film 봉지에 싸서 5°C에서 냉장 저장한 후 액체 전용팬(Alscaling 용기)에 약 5.0 mg씩 넣은 후, 수분 증발을 막기 위하여 재빨리 밀봉하였다. 수분 확산이 충분히 되도록 하기 위해 상온에서 2시간 방치 후 DSC(DSC-1, Mettler-Toledo, Switzerland)를 측정하였다. 그 후 10°C/min의 가열속도로 25~250°C까지 가열하여 흡열 곡선을 얻었으며, reference pan은 빈 용기 상태로 하였다. 증류수로 reference fan에 peak 면적을 측정하였고, 그 만큼 시료 면적에서 빼 주므로 상대적인 노화도를 측정하였다.

또한, 자색고구마 분말을 첨가한 스펀지케이크 반죽의 호화 특성은 약 10 mg을 취해서 위 방법과 동일하게 저장하여 20~300°C, 10 k/min동안 50 mL/min N<sub>2</sub> 조건에서 50 mV로 반죽의 온도를 서서히 높이면서 오븐에서와 유사한 조건으로 흡열 곡선을 비교하여 측정하여 호화 정도를 조사하였다. DSC를 측정한 데이터 값은 2회 측정하여 기계 내 평균값을 구하도록 보정하여 Star° SW 9.30으로 그래프로 나타내었다.

### 5. DPPH Radical Scavenging Effect

자색고구마 스펀지케이크의 에탄올 추출물을 동결건조하여 분쇄한 시료 10 g에 10배 부피의 에탄올(100 mL)을 플라스크에 넣고 shaking water bath(40°C, 150 rpm)에서 24시간씩 2회 추출한 후 filter paper(Watman No. 2)로 걸러 상층액을 모은 후 40°C evaporator(R-210, Büchi-rotavator, Switzerland)로 농축시켜 시료로 이용하였다. 시료 농축물의 무게를 0.01 g/1 mL에 ethanol이 되도록 에탄올에 녹여서 0.2 µM 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl(DPPH, Sigma, St. Louis, MO, USA) 1mL를 넣고 교반 후 37°C water bath에서 30분 동안 incubation한 후 UV/Vis spectrophotometer(D-1900PC, Kangsung Technology, Korea)를 이용하여 517 nm로 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능은 대조군의 흡광도를 100%로 하였을 때 시료 농도별 저해율을 구하고, 흡광도 검량선은 BHA를 에탄올에 녹여서 mg BHA/mL의 항산화력으로 나타내었다. IC<sub>50</sub>을 구하여 50% 억제 효과를 보이는 자색고구마 스펀지케이크 추출물(µg/mL)로 나타내었다.

### 6. Polyphenol

자색고구마 가루를 첨가한 스펀지케이크를 동결건조 후 총 페놀 함량은 Singleton의 방법(1999)을 일부 변형하여 측정하였다. 즉, 고구마 분말 0.5 g에 75% 에탄올 50 mL를 첨가하고, shaker(LSI-3016A, Daehan Lab. Tech. Co., Korea)로 24시간씩 2회 걸쳐 추출하여 filter paper(No. 2)로 거른 후 총 에탄올 추출액 100 mL를 얻었다. 자색고구마 스펀지케이크 에탄올 추출물에 200 µL와 증류수 Folin-Ciocalteu's 페놀시약 1 mL를 섞은 후 5분간 반응시킨 후, 이 반응액에 7.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.8 mL를 혼합하여 vortex 후 실온(25°C)에서 호일로 랙을 싸서 빛을 차단한 후 30분 동안 방치하였다. UV/Vis spectrophotometer로 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 검량선은 tannic acid를 75% EtOH에 녹여서 위와 같은 방법으로 측정하여 작성하였고, 총 페놀 함량은 건조 고구마 1 g당 µg tannic acid를 표준 곡선으로 하여 그 양을 환산하여 나타내었다.

### 7. Flavonoids

자색고구마 가루를 첨가한 스펀지케이크를 동결건조 후 플라보노이드 함량은 AOAC(1995)의 방법에 따라 일부 변형하여 측정하였다. 추출 시료의 0.5 g에 75% 에탄올 용액 50 mL를 첨가하고 shaker로 24 시간씩 2회에 걸쳐 추출하여 filter paper(No. 2)로 거른 후 총 에탄올 추출액 100 mL를 얻었다. 이 추출 시료를 5배 희석하여 100 mL에 90% diethylene glycol 0.9 mL를 넣고 잘 섞는다. 여기에 1 N NaOH 20 µL를 얻었다. 총 플라보노이드 함량은 건조 고구마 1 g 당 µg rutin을 표준 곡선으로 하여 그 양을 환산하여 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 1. pH

자색고구마스펀지 케이크의 pH를 측정(Table 2)하였는데, 0~15% 첨가군에서는 7.69~7.56으로 유의적인 차이가 없었으나, 20~30% 첨가군에서 7.39~7.11 범위로 대조군에 비해 유의적으로 감소하였다( $p<0.001$ ). 이는 열풍 건조한 자색고구마 가루의 pH가 5.8 정도로 약산성이기 때문이고, 자색고구마를 첨가 식빵의 품질 특성(Lee *et al* 2011)과 오디 분말을 첨가한 파운드케이크의 품질 특성에서 오디 첨가량에 따라 pH가 감소되었다는 결과와 일치하였다(Yoo & Jeong 2012). 식빵의 pH는 5.5인 반면에, 스펀지케이크의 pH는 베이킹파우더 등 재료의 영향으로 인해 오븐에 구운 후 pH가 7.11~7.69 범위로 비교적 약알칼리성을 나타내었다.

색소 추출 용매로 0.1% 구연산을 첨가하여 20% 에탄올 용액에 추출하는 것이 최적 용매라는 보고(Kim & Song 2010)가 있으나, 0.1%에서는 색도의 안정화가 일어나지 않았고, 구연산 0.5% 이상의 농도에서는 예비실험 관능검사에서 지나치게 신맛이 생겼으므로 사용량으로 부적합하여 구연산 농도는 0.3%가 적당하였다.

### 2. 산도

자색고구마 스펀지케이크의 산도를 측정한 결과는 Table 3과 같다. 대조군과 자색고구마 첨가량이 5~20%까지 산도는 유의차가 거의 없었으나, 대조군과 25%와 30% 첨가군에서 산도 변화가 유의적으로 나타났다( $p<0.05$ ). 이는 pH의 변화(Table 2)의 결과의 경향과도 잘 일치하는 것으로, 자색고구마 가루의 함량 30%에서는 산도와 pH 변화에 현저한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

### 3. 색도

자색고구마 스펀지케이크의 색도를 측정한 결과는 Table 4와 같다. 초기 예비실험(5~20%)에서 구연산을 첨가하지 않은 대조군과 0.3% 구연산을 첨가한 자색고구마 스펀지케이크의 색도는 현저한 유의차가 있는 것으로 나타났다( $p<0.01$ ). 이 농도는 자색고구마 스펀지케이크는 구연산 첨가 없이 스펀지케이크를 만들었을 때 a값이 감소하여 초록색을 약간 띠는 반면에, 구연산을 첨가한 군의 자색고구마 스펀지케이크의 색이 보라색 쪽에 가까워지고 더 선명하여 a값이 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 0.3%의 구연산을 첨가하면 약산성이 되면서 안토시아닌 색소의 안정화에 일부 기여하는 것으로 여겨진다. a, b값은 농도에 비례하여 유의적인 차이를 나타내었고, 반면에 L값은 20% 이상에서는 큰 유의차를 보이지는 않음을 알 수 있었다. 이는 자색고구마 농축액을 첨가하여 제조한 젤리에서도 L값은 감소하나, a 값과 b 값이 증가하는 것과 유사한 결과이다(Choi & Lee 2013).

자색고구마의 함량에 따라 보라색이 짙어져 색도에 반영되었으며, 함량에 따른 유의차도 현저하게 나타났다( $p<0.01$ ). 따라서 향후 좀 더 관능검사와 이화학적인 연구를 통해서 자색고구마 스펀지케이크의 맛과 저장성에 관련된 연구를 더 진행할 필요가 있다.

### 4. DSC

자색고구마를 첨가한 스펀지케이크의 DSC 측정 결과는 소화 개시 온도가 대조군에 비해 높았다(Table 5). 이는 자색고구마 속에 들어있는 식이섬유나 단백질, 지방, 안토시아닌, 캐로티노이드 등 여러 영양소의 영향으로 전분입자와 완전히 분리되지 않은 상태로 호화를 이루어 소화 온도가 대조군(56.75°C)에 비해서 높은 것(57.69~60.32°C)으로 나타났다.

Table 2. pH of sponge cake added with purple sweet potato powder

	Control	Purple sweet potato powder (%)						F-value
		5	10	15	20	25	30	
pH	7.69±0.00 <sup>a</sup>	7.45±0.03 <sup>bc</sup>	7.63±0.00 <sup>a</sup>	7.56±0.13 <sup>ab</sup>	7.39±0.12 <sup>c</sup>	7.29±0.00 <sup>c</sup>	7.11±0.05 <sup>d</sup>	16.402 <sup>***</sup>

Values are Mean±S.D. (n=3), \*\*\*  $p<0.001$ .

Table 3. Acidity of sponge cake added with purple sweet potato powder

	Control	Purple sweet potato powder (%)						F-value
		5	10	15	20	25	30	
Acidity	0.037±0.002 <sup>c</sup>	0.048±0.003 <sup>bc</sup>	0.043±0.001 <sup>c</sup>	0.048±0.007 <sup>bc</sup>	0.05±0.006 <sup>bc</sup>	0.06±0.001 <sup>ab</sup>	0.07±0.016 <sup>a</sup>	6.209 <sup>*</sup>

Values are Mean±S.D. (n=3), \*  $p<0.05$ .

Values within different superscripts are significant at  $p<0.05$  by Duncan's multiple range test.

Table 4. Hunter's value of sponge cake added with purple sweet potato powder

0.3% Citric acid	Control <sup>1)</sup>	Purple sweet potato powder (%)						F-value	
		5	10	15	20	25	30		
L	Non	65.3±0.02 <sup>a</sup>	47.6±0.01 <sup>b</sup>	46.9±0.01 <sup>c</sup>	44.3±0 <sup>d</sup>	38.61±0.01 <sup>e</sup>	-	-	2,497,485 <sup>***</sup>
	Added	68.9±2.78 <sup>a</sup>	52.4±0.57 <sup>b</sup>	44.9±0.28 <sup>c</sup>	40.2±1.74 <sup>d</sup>	39.5 ±0.81	38.1±1.3	36.3±0.1	295.7 <sup>***</sup>
	t-value	62.1 <sup>***</sup>	46.0 <sup>***</sup>	102.2 <sup>***</sup>	41.44 <sup>***</sup>	138.6 <sup>***</sup>	-	-	
a	Non	-3.8±0.01 <sup>e</sup>	0.4±0 <sup>d</sup>	0.1±0.01 <sup>c</sup>	1.1±0.01 <sup>b</sup>	1.3 ±0.01 <sup>a</sup>	-	-	277,219.8 <sup>***</sup>
	Added	-4.0±0.29 <sup>e</sup>	0.8±0.07 <sup>d</sup>	2.3±0.15 <sup>c</sup>	3.5±0.18 <sup>b</sup>	4.6 ±0.15 <sup>a</sup>	5.4±0.2	5.8±0.29	1200.4 <sup>***</sup>
	t-value	-43.6 <sup>***</sup>	7.1 <sup>**</sup>	2.5 <sup>n.s</sup>	4.4 <sup>**</sup>	4.0 <sup>*</sup>	-	-	
b	Non	15.5±0.15 <sup>a</sup>	6.9±0.01 <sup>b</sup>	5.7±0.01 <sup>c</sup>	5.1±0.01 <sup>d</sup>	3.0 ±0.01	-	-	14,968.2 <sup>***</sup>
	Added	18.7±0.82 <sup>a</sup>	9.6±0.06 <sup>b</sup>	6.7±0.25 <sup>c</sup>	5.7±0.31 <sup>d</sup>	4.8 ±0.31	4.2±0.2	3.6±0.1	850.7 <sup>***</sup>
	t-value	22.9 <sup>***</sup>	13.9 <sup>***</sup>	26.74 <sup>***</sup>	33.8 <sup>***</sup>	9.1 <sup>***</sup>	-	-	

Values are Mean±S.D. (n=3), \*  $p < 0.05$ . \*\*  $p < 0.01$ . \*\*\*  $p < 0.001$ .

Values within different superscripts are significant at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

신선찰벼 성분과 찰흑미 성분의 호화 개시 온도는 각각 62.9와 63℃로 나타나 시료 간 차이가 없었고, 호화 최대 온도는 각각 69.1℃와 69.4℃로 일반미와 찰흑미의 호화 온도에는 유의차가 없다고 보고(Choi *et al* 2005)되었는데, 자색고구마에 비해서는 호화 온도가 비교적 높았다. 반면에, 전분의 팽윤이 느린 전분이 호화 개시 온도가 더 높게 나타난다는 보고(Gaiashi *et al* 1982)와 같이 자색고구마 전분이 가열 시 이미 열풍 건조된 가루상태이지만, 이것이 팽윤되는 시간이 또 필요하므로 더 높은 호화 온도를 나타낸 것으로 사료된다. 즉, 자색고구마의 첨가량이 증가할수록 호화 정점 온도(Tp), 호화 종결 온도(Tc)도 더욱 상승하였다. 호화에 요구되는 에너지 양( $\Delta H$ )을 측정하여 흡열 곡선의 아래 면적을 계산하여 나타낸 것(Table 5)으로 자색고구마 처리량이 5~30%로 증가할수록 엔탈피가 감소하는 경향을 보였다. 이는 대조군에 비해 자색고구마 가루 첨가량에 따라 박력분량의 감소되어 상대적으로 섬유질의 양이 증가하므로 호화에 필요한 수분을 빼앗겨 호화 종결 온도(Tc)가 증가하였다. Kim *et al*(1998)의 연구에서는 대조군의 61℃ 호화 온도를 나타내었고, 10~30%의 밀기울을 첨가하면 호화 온도가 61~63℃로 증가하여 자색고구마 가루를 첨가하였을 때 호화 온도가 증가하는 것과 유사한 경향을 보였다. 이는 자색고구마나 밀기울을 첨가하면 엔탈피의 감소가 일어난 것으로 사료된다. 고구마 수침에 의한 변성 전분의 호화와 노화 특성에 관한 연구(Lee & Shin 1994)으로 전분의 호화 개시 온도는 수침 처리함에 따라 59.8~63.6℃ 범위로 나타났고, 호화 종결 온도는 83.9~84.3℃로 보고하였다. 본 연구와 비교하면 자색고구마를 첨가한 군은 호화 개시 온도는 56.75~60.32℃로 고구

마 수처리군과 비슷하였으나, 호화 종결 온도는 일반 고구마 전분에 비해서 10℃ 이하가 낮음을 알 수 있었다. 고구마 품종에 따라 호화양상이 다르다. 즉, 신자미, 신황미와 같은 고구마는 일반 고구마보다 점도가 높았고, 일반 고구마는 가열 중에 호화된 전분에 작용하여 점도를 낮추게 된다. 그러나 자색고구마 분말은 일반 고구마와는 달리 첨가 시 전분 분해 효소가 가열 중에 호화된 전분에 작용하여 점도를 낮추므로 호화 개시 온도가 낮게 보인다고 보고(Lee & Shin 1994)하였다. 호화된 자색고구마 가루를 첨가하면 오히려 가열 중에 물성 변화가 적을 것이라고 예상하였다. 실제로 본 결과에서는 호화된 자색고구마 가루를 첨가한 스펀지케이크에서는 초기 호화 온도만 증가했으며, 엔탈피 변화는 오히려 첨가량에 따라 감소하였다(Table 5, Fig. 1). 자색고구마 전분의 영향으로 호화 및 노화 억제에도 영향을 줄 것으로 사료되며, 향후 노화 억제 효소 등에 관한 후속 연구가 필요할 것이다.

자색고구마 스펀지케이크 반죽의 오븐 내에서 실제로 제과로서의 호화 정도를 알아보기 위해서 반죽의 일부(약 10 mg)를 DSC로 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 20~300℃까지 온도가 서서히 증가시켰는데, 100~120℃로 오븐 온도의 증가함에 따라 8~10분에 50 mV 이상의 급격하게 전류 감소가 일어났다. 자색고구마의 첨가량이 많을수록 변화 감소율도 적었다. 이것은 Table 5에서 반죽에 첨가한 자색고구마의 첨가량이 증가할수록 호화가 빠르게 진행되는 경향과 녹차가루를 첨가하여 밀가루 반죽의 물성 및 호화 특성을 살펴본 결과(Oh & Kim 2002) 등과 일치하였다(Fig. 1). 따라서 자색고구마 가루의 제과 분야에서 빠른 호화를 일으키게 해주므로 제과·제빵에 응용가능성이 크다고 사료된다.

**Table 5. DSC data for sponge cake in the presence of different purple sweet potato powder**

Addition level(%)	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH (J/g)
0	56.75	62.25	67.83	4.13
5	57.69	62.99	68.33	6.17
10	58.20	63.67	68.95	5.59
15	58.81	64.16	69.16	4.95
20	59.01	64.69	70.02	4.60
25	60.09	65.18	70.27	4.64
30	60.32	65.68	71.10	4.26

To (°C) : onset temperature.

Tp (°C) : peak temperature.

Tc (°C) : completion temperature.

ΔH (J/g) : enthalpy for gelatinization.

### 5. DPPH 라디칼 소거능

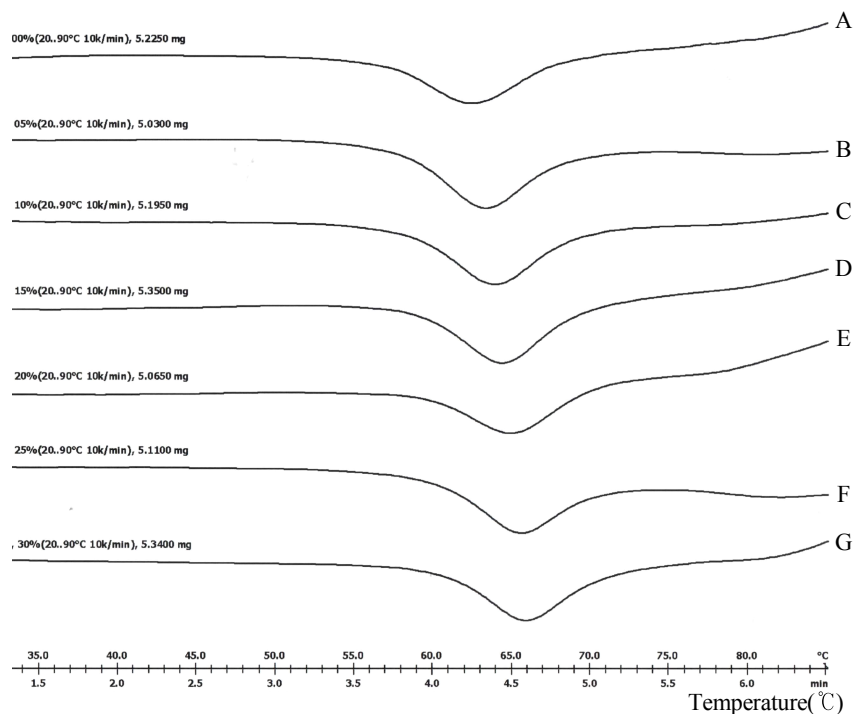
자색고구마를 첨가한 스펀지케이크의 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과는 Table 6과 같다. 일차함수 관계식에 의해서 DPPH 50%를 제거하는 시료의 농도(IC<sub>50</sub>)을 구했으며, 이를

제시하였다. DPPH 라디칼 소거능은 최대 흡광도가 515~517 nm에서 나타나며, 전자를 받으면 흡광도가 감소한다. 환원력이 있는 물질을 만나면 전자를 내어주면서 DPPH 라디칼을 소거하면서 그 특유의 보라색이 투명하고 노란색을 띠는 원리이다(Cho MS 2003).

대조군인 0.01% BHA를 기준으로 자색고구마를 0~30% 첨가량에 따라 DPPH 라디칼 소거능의 IC<sub>50</sub> 값을 구했을 때 49.7 mg/mL, 24.9 mg/mL, 13.1 mg/mL, 12.9 mg/mL, 9.5 mg/mL, 6.1 mg/mL로 유의적인 차이가 있었다( $p < 0.001$ ). 이때 양성대조군으로 사용한 BHA의 IC<sub>50</sub> 값은 10.3 μg/mL이었다. 따라서 자색고구마의 첨가량에 따라 DPPH 라디칼 소거능이 높아 항산화능력이 높은 것으로 밝혀졌다. 이것은 일반 스펀지케이크보다 자색고구마 스펀지케이크(30% 기준)를 제조하면 약 10배 정도의 항산화능이 있는 것으로, 이런 결과를 통해 자색고구마 첨가 함량이 높을수록 항산화능력이 증가함을 알 수 있었다.

### 6. Total Polyphenol

자색고구마를 첨가한 스펀지케이크의 총 페놀 함량은 Table 6과 같다. 0~30% 첨가량에 따라 총 페놀의 함량은 각각 66~179.8 mg TA/100 g로 나타났으며, 자색고구마의 첨가량에



**Fig. 1. DSC-thermogram of starch-water mixture and starch-water-purple sweet potato mixture.**

A : control, B: sponge cake added with 5% purple sweet potato powder, C: sponge cake added with 10% purple sweet potato powder.

D: sponge cake added with 15% purple sweet potato powder, E: sponge cake added with 20% purple sweet potato powder.

F: sponge cake added with 25% purple sweet potato powder, G: sponge cake added with 30% purple sweet potato powder.

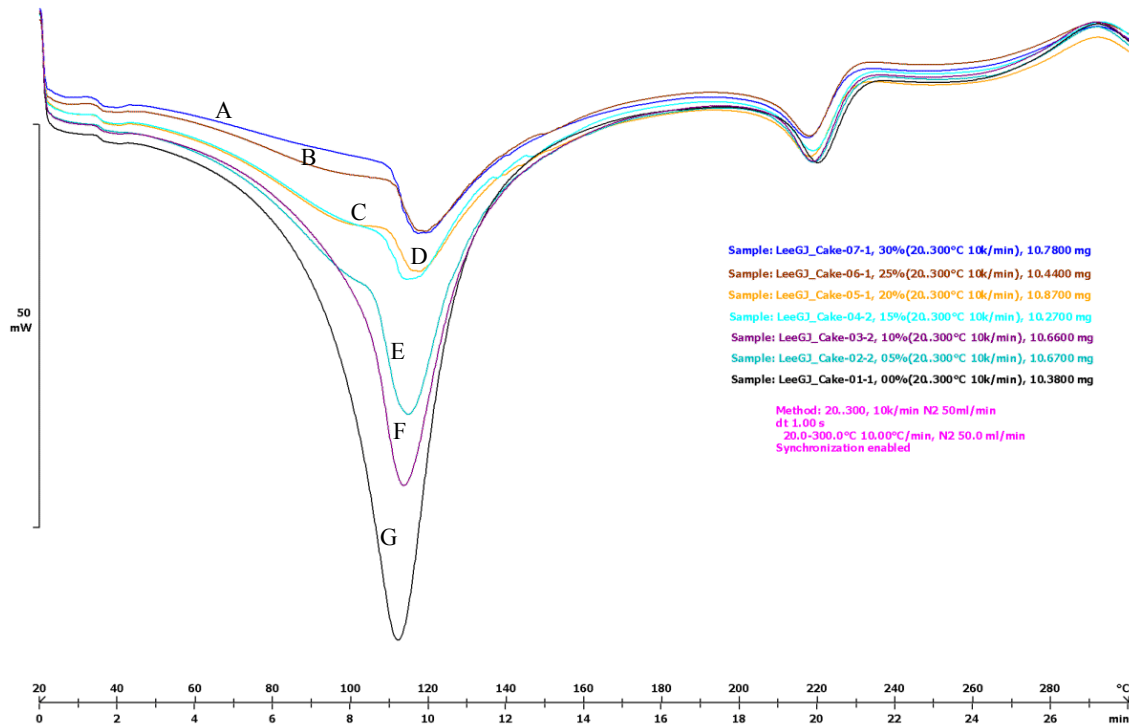


Fig. 2. DSC-thermogram of sponge cake dough added with different purple sweet potato.

A: control, B: sponge cake added with 5% purple sweet potato powder, C: sponge cake added with 10% purple sweet potato powder. D: sponge cake added with 15% purple sweet potato powder, E: sponge cake added with 20% purple sweet potato powder. F: sponge cake added with 25% purple sweet potato powder, G: sponge cake added with 30% purple sweet potato powder.

Table 6. DPPH radical scavenging effect(IC<sub>50</sub>), total polyphenol and flavonoids of 75% ethanol extracts from sponge cake added with purple sweet potato powder

	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	F-value
DPPH IC <sub>50</sub> (mg/mL)	49.7±0.4 <sup>a</sup>	24.6±0.6 <sup>b</sup>	13.1±0.6 <sup>c</sup>	12.8±0.1 <sup>c</sup>	11.3±1.4 <sup>d</sup>	9.5±0.9 <sup>e</sup>	6.1±0.3 <sup>f</sup>	1,130.0 <sup>***</sup>
Total polyphenol (mg TA/100g)	66.8±1.7 <sup>f</sup>	97.8±0.9 <sup>e</sup>	112.0±0.4 <sup>d</sup>	132.1±3.0 <sup>c</sup>	149.4±6.9 <sup>b</sup>	176.7±4.3 <sup>a</sup>	179.8±6.9 <sup>a</sup>	188.0 <sup>***</sup>
Flavonoid (mg rutin/100g)	22.9±1.9 <sup>f</sup>	45.8±0.1 <sup>e</sup>	72.8±0 <sup>d</sup>	88.9±3.8 <sup>c</sup>	102.4±3.8 <sup>b</sup>	136.1±9.5 <sup>a</sup>	145.5±1.0 <sup>a</sup>	223.5 <sup>***</sup>

Values are Mean±S.D. (n=3), \*\*\*  $p < 0.001$ .

Values with different superscripts are significantly different among by ANOVA/Duncan's multiple range test.

Total polyphenol content expressed of tannic acid (TA).

Total flavonoids content expressed of rutin.

비례하여 총 페놀의 함량도 증가하였다(Table 5). 미국산 고구마 3가지 종류의 총 페놀의 함량을 조사에서 60~90.3 mg chlorogenic acid/100 g(Truong *et al* 2009)이었고, 일본의 고구마 함량은 154~180 mg/100 g으로 보고(Ishida H 2000)되었다. 한편, 고구마 잎은 5,458 mg TA/100 g, 고구마줄기는 1,086 mg TA/100 g, 벗긴 고구마줄기는 456 mg TA/100 g으

로 보고(Kwak *et al* 2013)되어 고구마 양보다 많이 함유한다고 보고하였다. 특수미의 항산화 성분을 분석(Seo *et al* 2007)하였을 때 총 페놀의 함량이 일반 성분보다 4~5배 정도 높게 나온다고 알려졌고, 안토시아닌 색소 때문이라고 보고하였다. 본 연구에서 자색고구마가루를 첨가한 스펀지케이크의 총 페놀의 함량은 자색고구마를 2~8%까지 첨가한 생면 속

에는 안토시아닌 색소가 풍부(70.2~91.8 mg/100 g)하다고 유사하게 보고하였다(Lee & Yoo 2012). 또한, 자색고구마에는 chlorogenic acid 같은 총 페놀의 함량도 풍부하기 때문에 항산화력이 뛰어난 것이다(Truong *et al* 2009). 결과적으로 자색고구마의 첨가량에 비례하여 총 페놀 함량이 증가하였기 때문에 5~30%를 첨가했음에도 불구하고, 총 페놀 함량이 기존 일반 고구마의 총량과 비슷하거나 높게 조사된 것으로 사료된다. 고구마에 관한 연구에서 품종별로 총 페놀 함량이 다르다고(Park *et al* 2011)하였으며, 경작지별로(Johnson & Pace 2010) 고구마의 잎, 줄기, 뿌리 등 각각의 부위별(Kwak *et al* 2013)로 그 함량이 다르다. 이처럼 고구마의 총 페놀 함량이 차이가 나는 것은 여러 가지 요인이 있다고 한다.

따라서 자색고구마 스펀지케이크의 총 페놀 함량의 차이가 있는 것은 첨가량에 따라 총 페놀의 함량이 상대적으로 다르므로 항산화력에도 뚜렷한 차이가 나는 것이다. Imbert *et al*(1966)은 자색고구마의 안토시아닌으로 알려진 주요한 색소는 dicaffeoyl-peonidin-3-sophoroside-5-glucoside라고 하였고, 이는 색소마다 조금씩 다르다고 알려져 있다(Park *et al* 2011). 그러나 기본적으로 자색고구마의 안토시아닌 색소는 페놀산 등의 공통적인 aromatic acyl group을 갖고 있어서 자색고구마 특유의 항산화력을 나타내는 것으로 사료된다(Lee *et al* 1997).

## 7. Flavonoids

자색고구마를 첨가한 스펀지케이크의 플라보노이드 함량은 Table 6과 같다. 0~30% 첨가량에 따라 플라보노이드의 함량은 대조군(0%)일 때 22.9 mg rutin/100 g, 첨가군은 45.8~145.1 mg rutin/100 g으로 나타났다. 자색고구마 함량에 따라 플라보노이드 함량에 비례하여 증가하는 경향이였다. 즉, 자색고구마 스펀지케이크에도 상당한 양의 플라보노이드가 존재함을 알 수 있다. 기존에 알려진 플라보노이드 함량은 고구마 잎 4455 mg rutin/100 g, 고구마줄기 629 mg rutin/100 g, 고구마뿌리 303 mg rutin/100 g으로 각각 알려졌다(Kwak *et al* 2013). 이처럼 플라보노이드의 함량이 약간 적은 것은 자색고구마를 첨가한 양(5~30%)이 총 고구마줄기의 전체 함량(100%)에 비해 현저히 적었기 때문이고, 고구마의 뿌리는 잎이나 줄기에 비해 그 양이 적기 때문이다. 이상에서 안토시아닌을 포함한 총 페놀 함량과 플라보노이드 함량 등이 자색고구마 스펀지케이크의 항산화력에 크게 기여하는 것으로 사료된다.

## 요약 및 결론

자색고구마는 항산화능과 무기질이 풍부하다고 보고되었

으며, 자색고구마를 열풍 건조하여 제조한 자색고구마 가루를 이용한 스펀지케이크를 농도별로(0~30%) 제조하였다. 또한, 구연산 첨가(0.3%)로 자색의 안토시아닌 색소를 좀 더 안정화시켜 호화 특성 및 항산화 특성을 살펴보고자 하였다. 호화 활성은 시차주사 열량계(DSC)를 이용하여 측정하였으며, 생리활성을 알아보기 위하여 자색고구마 스펀지케이크의 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거능, 총 phenol 함량과 flavonoids를 분석하였다. 자색고구마 스펀지케이크(0~30%)의 pH는 각각 7.7~7.1, 산도는 0.04~0.08%로 각각 나타났다.

DPPH 라디칼 소거능은 BHA를 (+)대조군으로 하여 IC<sub>50</sub> 함량을 구하였으며, 0% 스펀지케이크는 49.7 mg/mL, 자색고구마가루를 첨가한 처리군(5~30%)은 24.9 mg/mL~6.1 mg/mL 범위로 각각 나타났다. 총 phenol 함량과 flavonoids 함량 측정된 결과, 총 phenol 함량은 대조군이 66.8 mg TA/100 g, 처리군이 97.8~179.0 mg TA/100 g, flavonoids는 대조군이 22.9 mg rutin/100 g, 처리군이 45.8~145.5 mg rutin/100 g으로 자색고구마 가루의 첨가량에 따라 항산화성이 비례하였고, 또한 자색고구마에 함유하고 있는 총 phenol 함량과 flavonoids 함량도 증가하였다.

한편, DSC로 호화 활성은 조사한 결과, 대조군보다 자색고구마 가루를 첨가한 군에서 호화 개시 온도가 더 빠르게 진행되었고, 이는 자색고구마 가루의 함량과 정비례하였다.

결론적으로 구연산을 첨가한 자색고구마 스펀지케이크는 안정된 자색을 띠면서 자색고구마 첨가량이 높을수록 항산화성이 높은 것으로 나타났으며, 호화 활성도도 첨가량이 증가할수록 활성화되는 결과를 나타냈다. 위의 연구 결과들은 앞으로 자색고구마를 이용한 다양한 기능성 제과·제빵 가공 식품을 제조하여 상품화하는데 유의한 기초자료로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2012년도 서일대학교 교내 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 문헌

- Ahn GJ (2010) Quality characteristics of *sulgidduk* prepared with amount of purple sweet-potato powder. *The Korean Journal of Culinary Research* 16: 127-136.
- AOAC (1995) Official Methods of Analysis. Association of official analytical chemists, Washington DC. pp 127-130.
- Baik SJ (1999) Physicochemical and gelatinization properties of pigmented rice flour and starch. *Ph D Dissertation* Chung-



- buk National University, Cheongju. pp 1-100.
- Brouillard R. (1981) Origin of the exceptional color stability of the Zebrina anthocyanin. *Phytochemistry* 20: 143-145.
- Cho MS (2003) A study of intakes of vegetables in Korea. *Korean J Food Culture* 18: 601-612.
- Choi CC, Na HS, Oh DS, Kim SK, Kim K (2005) Gelatinization properties of waxy black rice starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 87-92.
- Choi JH, Kim JS, Jo BS, Kim JH, Park HJ (2011) Biological activity in functional cosmetic of purple sweet potato extracts. *Korean J Food Preserv* 18: 414-422.
- Chun SH, Lee SU, Shin YS, Lee KS, Ru IH (2000) Preparation of yogurt from milk added with purple sweet potato. *Korean J Food & Nutr* 13: 71-77.
- Gaiashi K, Varriano-Marston E, Itoseney RC (1982) Gelatinization of wheat starch, IV, Amylograph viscosity. *Cereal Chem* 59: 263-267.
- Han IJ, Song BS, Kim JH, Park JH, Lee JH, Chun SS (2011) Effects of antioxidant irradiation treatment under freezing temperature conditions on physicochemical and sensory properties of *tarakjuk* (milk porridge). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1750-1756.
- Haung DJ, Lin CD, Chen HJ, Lin YJ (2004) Antioxidant and antiproliferative activities of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] lam 'Tainong 57') constituents. *Bot Bull Acad Sin* 25: 179-186.
- Imbert MP, Seaforth CE, Williams DB (1966) Anthocyanin pigments of the sweet potato, *Ipomoea batatas*. *J Amer Hort Sci* 88: 481-485.
- Islam S (2006) Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaf: Its potential effect on human health and nutrition. *J Food Sci* 71: R13-R21.
- Ishida H, Suzuno H, Sugi yama N, Innami S, Tadokoro T, Maekawa A (2000) Nutritive evaluation on chemical component of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* pair). *Food Chem* 68: 359-367.
- Johnson M, Pace RD (2010) Sweet potato leaves: properties and synergistic interactions that promote health and prevent disease. *Nutr Rev* 68: 604-615.
- Kwak CS, Lee KS, Chang JH, Park JH, Cho JH, Park JH, Kim KM, Lee MS (2013) *In vitro* antioxidant, anti-allergic and anti-inflammatory effects of ethanol extracts from Korean sweet potato leaves and stalks. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 369-377.
- Kim YH (1998) Rheological properties of dough added with wheat bran. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 1125-1131.
- Kim SJ, Rhim JW, Lee LS, Lee JS (1996) Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment. *Korean J Food Sci Technol* 28: 345-351.
- Kim SY, Ryu CH (1997) Effect of certain additives on bread-making quality of wheat-purple sweet potato flours. *Korean J Soc Food Sci* 13: 492-499.
- Kum JS, Silva JL, Han O (1994) Effects of microwave heating on processing of whole sweet potatoes. *Korean J Soc Food Sci* 10: 138-141.
- Kim SY, Rhu JH (1995) Studies on the nutritional components of purple sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Korean J Food Sci Technol* 27: 819-825.
- Ko SH, Yoo EO (2012) Quality characteristics of muffins containing purple colored sweet potato powder. *J East Asian Soc Dietary Life* 20: 272-278.
- Koo BS, Song DS (2010) Extraction of natural red color pigment concentrate and manufacturing characteristics of pigment power from purple-fleshed sweet potato. *Korean J Food & Nutr* 23: 23-29.
- Lee LS, Chang EJ, Rhim JW, Ko BS, Choi SW (1997) Isolation and identification of anthocyanins from purple sweet potatoes. *Korean J Food Sci Nutr* 2: 83-88.
- Lee JS, Yoo SS (2012) Quality characteristics of wet noodles added with purple potato powder. *J East Asian Soc Dietary Life* 22: 489-496.
- Lee SK, Shin MS (1994) Gelatinization and retrogradation properties of modified starch by steeping sweet potato. *Korean J Food Sci Technol* 26: 638-643.
- Lee SM, Choi YJ (2009) Quality characteristics of *yanggeng* by adding of purple sweet potato. *J East Asian Soc Dietary Life* 19: 769-775.
- Lee SM, Park GS (2011) Quality characteristics of bread with various concentrations of purple sweet potato. *Korean J Soc Food Sci* 27: 1-15.
- Lochmann RT, Islam S, Phillips H, Adam Z, Everette J (2013) Effects of dietary sweet potato leaf meal on the growth, non-specific immune responses, total phenols and antioxidant capacity in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J Sci Food Agric* 93: 1365-1369.
- Oh HE, Hong JS (2008) Quality characteristics of *sulgidduk* added with fresh sweet potato. *Korean J Food Cookery Sci* 24: 501-510.

- Oh YK, Kim CS (2002) Effects of green tea powder on dough rheology and gelatinization characteristics. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 749-753.
- Park JS, Bae JO, Choi GH, Chung BW, Choi DS (2011) Antimutagenicity of Korean sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 37-46.
- Park ON (2011) Quality characteristics of pound and sponge cakes with addition of purple sweet potato powder. *MS Thesis* Daegu Catholic University, Gyeongsan. pp 1-68.
- Park SJ, Kim JM, Kim JE, Song SH (2011) Characteristics of sweet potato powders from eight Korean varieties. *Korean J Food Cookery Sci* 27: 19-29.
- Park YM, Kim MH, Yoon HH (2012) Quality characteristics of *sulgidduk* added with purple sweet potato. *The Korean Journal of Culinary Research*: 18: 54-64.
- Seo SJ, Choi YM, Lee SM, Kim KJ, Son JR, Lee JS (2007) Determination of selected antioxidant compounds in specialty rice. *J Korean Sci Food Sci Nutr* 36: 499-502.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Method Enzymol* 299: 152-178.
- Song J, Chung MN, Kim JT, Chi HY, Son JR (2005) Quality characteristics and antioxidative activities in various cultivars of sweet potato. *Korean J Crop Sci* 50: 141-146.
- Teow CC, Truong VD, Mcfeeters RF, Thampson RL, Pecota KV, Yencho GC (2007) Antioxidant activities, phenolic and  $\beta$ -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chem* 103: 829-838.
- Truong VD, McFeeters RF, Thomson RT, Dean LL, Shofran B (2007) Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweet potato (*Ipomean batata* L.) cultivars in the United States. *J Food Sci* 72: C343-C349.
- Yoo SS, Jeong HC (2012) Quality characteristics of pound cake with added mulberry fruit powder. *J East Asian Soc Dietary Life* 22: 239-245.

---

접 수: 2013년 10월 17일  
 최종수정: 2013년 11월 22일  
 채 택: 2013년 12월 20일