

고구마 끝순 및 괴근의 안토시아닌 추출 조건 최적화

홍채영¹ · 서정현¹ · 김민영² · 이운정³ · 윤향식⁴ · 남상식⁵ · 이준수¹ · 정헌상^{1,*}
¹충북대학교 식품생명공학과, ²국립식량과학원 중부작물부, ³국립원예특작과학원 인삼특작부,
⁴충북농업기술원, ⁵국립식량과학원 바이오에너지작물연구소

Optimization of anthocyanidin extraction conditions from sweet potato tips and tuber

Chae Young Hong¹, Jeong Hyun Seo¹, Min Young Kim², Yoon Jeong Lee³,
Hyang Sik Yoon⁴, Sang Sik Nam⁵, Junsoo Lee¹, and Heon Sang Jeong^{1,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University

²National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

³National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration

⁴Chungcheongbuk-do Agricultural Research & Extension Services

⁵Bioenergy Crop Research Institute, Rural Development Administration

Abstract In this study, the optimum conditions were established for anthocyanidin extraction from sweet potato tips and tubers. The dependent variables of ethanol concentration (X1), citric acid concentration (X2), and extraction temperature (X3) were designed using a central composite design. All three variables significantly affected anthocyanidin extraction, and the influence of X1 was greater than that of X2 and X3. The highest anthocyanidin content in tips and tubers were 26.58±0.07 and 117.32±0.39 mg/100 g at 50% (X1), 0.3% (X2), and 50°C (X3), respectively. The optimal extraction conditions for the tips were 56.10% (X1), 0.25% (X2), and 52.24°C (X3) and tubers were 55.08% (X1), 0.30% (X2), and 53.06°C (X3). The predicted values under optimal extraction conditions were 27.45 and 119.61 mg/100 g, and the experimental values were 27.09±0.11 and 118.72±0.67 mg/100 g, respectively. The extraction conditions were validated by comparing the predicted and actual values with those of 98.69 and 99.26%, respectively.

Keywords: sweet potato tips, sweet potato tuber, anthocyanidin, optimization, response surface methodology

서론

고구마(*Ipomoea batatas* L.)는 메꽃과에 속하는 작물로서 전 세계적으로 쌀과 보리 등의 곡류와 함께 주요 식량자원으로 이용되어 왔으며, 주로 아시아 및 아프리카에서 많이 재배되는 작물이다(Bovell-benjamin, 2007). 고구마는 식이섬유소와 비타민, 무기질을 많이 함유하고 있으며(Ishida 등, 2000), 페놀화합물(Jung 등, 2011), 안토시아닌(Park 등, 2011), β-carotene (Huang 등, 1999)과 같은 항산화물질도 다량 함유하고 있다.

최근에는 고구마의 괴근을 비롯해 끝순과 줄기 등 식물체 전체를 식용할 수 있으며, 폴리페놀 화합물이 많이 존재하기 때문에 해외에서는 괴근 뿐만 아니라 끝순을 건조 후 분말로 제조하여 빵의 반죽이나 아이스크림, 주스 및 차 등에 첨가하여 다양한 식품의 제조에 이용되고 있다(Islam, 2006). 반면, 우리나라에서도

예로부터 고구마의 잎과 잎자루를 나물이나 국으로 식용을 해왔지만 아직도 괴근보다 이용도가 미흡하여 많이 버려지거나 사료로만 사용되고 있다(Li 등, 2012).

자연계의 안토시아닌은 식물에서 가장 널리 분포하는 수용성 색소성분으로, 꽃, 잎 과일에서 pH에 따라 주황색, 적색, 자주색, 청색 및 보라색을 나타내며, 식품산업에서 천연 식용색소로 이용하고 있다(Yoshimoto, 2001). 최근 국내에서 육종되어 재배되고 있는 자색고구마(*Ipomoea batatas*)는 다량의 안토시아닌 색소를 함유하고 있을 뿐만 아니라, 최근에는 인공합성색소의 안전성 문제가 야기됨에 따라 점차적으로 합성색소에 대한 사용이 규제되고 있는 추세이며, 새로운 천연 색소원 개발에 대한 관심이 높아지고 있다(Mazza, 2018). 안토시아닌은 안토시아닌과 달리 당이 결합되어 있지 않은 구조로, 채소류 및 과일류에 주로 존재하는 안토시아닌은 cyanidin이며, 이외에도 peonidin, petunidin, delphinidin, pelargonidin 및 malvidin 등이 존재한다(Mazza, 2018). 안토시아닌은 색소 성분 및 질병 예방 효과가 입증되어 인공색소를 대체 가능하다는 장점이 있으며 더 나아가 안토시아닌과 무색 분자들 사이의 공액색소화에 의해 색상의 강도가 더 진해질 수 있다고 한다(Jung 등, 2015). 리포솜 모델 시스템에서 철이온 환원력이 안토시아닌보다 안토시아닌이 더 높다 하였으며 이는 안토시아닌의 항산화 활성이 더 뛰어남을 의미한다(Seeram과 Nail, 2002). 그러나 고구마의 색소에 관한 연구는 주

*Corresponding author: Heon Sang Jeong, Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea
Tel: +82-43-261-2570
Fax: +82-43-271-4412
E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr
Received March 4, 2020; revised May 6, 2020;
accepted May 6, 2020

로 안토시아닌에 초점을 맞추고 있어 안토시아닌에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고구마 끝순과 괴근으로부터 자색색소인 안토시아닌을 효율적으로 추출할 수 있는 최적 추출조건을 확립하기 위하여 추출에 영향을 미치는 추출온도, 추출용매의 에탄올 농도 그리고 pH 조절을 위한 citric acid 농도에 따른 안토시아닌의 추출특성을 반응표면분석법으로 살펴보았다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 고구마 끝순 및 괴근은 농촌진흥청 바이오에너지센터에서 2019년에 수확한 것으로 예비실험 결과를 통해 안토시아닌 함량이 많은 품종을 선정하였다. 끝순은 ‘하얀미’, ‘주황미’, ‘호감미’ 품종을 사용하였고, 괴근은 ‘신자미’, ‘단자미’ 품종을 사용하였다. 수확된 시료는 수돗물로 세척한 다음 40°C의 열풍 건조기(WFO-459PD, EYELA, Tokyo, Japan)에서 48시간 동안 건조 시킨 뒤, 분쇄기(Micro hammer cutter mill type-3, Culatti AG, Zurich)로 분쇄하여 -4°C에서 보관하면서 시료로 사용하였다.

안토시아닌 추출

건조된 끝순 및 괴근 분말의 안토시아닌 추출 방법은 Ji 등(2016)의 방법을 변형하여 분석하였다. 건조된 끝순 및 괴근 분말 1g에 0.3% HCl을 포함하는 80% 메탄올 20배량을 첨가하여 25°C에서 1시간 동안 3회 반복하고 초음파 추출(Ultrasonic Cleaner SD-350H, Seong Dong, Seoul, Korea) 하였다. 추출물은 2,220×g에서 원심분리(Centrifuge union 55 R, Hanil, Incheon, Korea)한 다음 여과(Advantec No. 2, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)하여 60 mL로 정용하였다.

안토시아닌 추출조건 최적화

고구마 끝순 및 괴근의 안토시아닌 추출조건을 최적화하기 위하여 중심합성 계획법에 따라 실험을 설계하고, 반응표면 분석법으로 최적 추출조건을 확립하였다. 추출조건의 독립변수로 선행연구결과(Jun 등, 2019; Lee 등, 2000)를 바탕으로 안토시아닌 추출에 영향을 미치는 에탄올 농도(X₁), citric acid 농도(X₂) 그리고 추출온도(X₃)를 -2, -1, 0, +1, +2의 수준으로 설정하여 16가지 조건으로 추출을 실시한 다음 안토시아닌을 분석하였다.

안토시아닌 분석

고구마 끝순 및 괴근 추출물과 최적화를 위한 추출조건에서 추출한 안토시아닌 추출물 10 mL을 농축하여 1 mL로 정용한 후 2N HCl 1 mL을 첨가하여 100°C water bath에서 1시간 정도 가열하여 색소를 완전히 가수분해 시켰다. 가수분해 방법은 Giusti

과 Wrolstad(1996)의 방법을 변형하여 분석하였다. 가수분해한 색소액을 냉각한 후 증류수로 2배 희석하여 4 mL로 정용하였다. 희석액에 isoamyl alcohol 1 mL을 첨가하여 강하게 흔든 후, 잠시 방치한 다음 상층액을 취하여 0.20 µm PTFE 필터로 여과 한 뒤 HPLC (ACME 9000 system, Younglin, Anyang, Korea)로 분석하였다. 표준품은 cyanidin (Sigma Chemical Co.)과 peonidin (Polyphenols Laboratories Co.)을 사용하였으며 모든 샘플은 3회 분석하였다. Column은 Mightysil RP-18 GP column (4.6 mm×250 mm, 5 µm, Kanto Chemical Co., Tokyo, Japan)을 사용하였고, 검출기는 UV (520 nm), 이동상은 5% formic acid in ACN (A)과 5% formic acid in water (B)를 gradient 조건으로 흘려주었고 gradient 조건은 Kim 등(2017)의 방법을 참고하여 A:B를 초기 10:90 (% v/v)에서 24분에 40:60, 25분에 100:0, 28분에 100:0, 29분에 10:90, 40분에 10:90으로 설정하였으며, 유속은 0.7 mL/min으로 흘려주었으며 주입량은 20 µL로 하였다.

통계분석

SAS v. 9.3 (2002-2010) (SAS Ins. Inc., Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 추출조건 최적화의 다항식 회귀 모델을 확립하였으며, 통계분석은 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하였다. 처리 간의 차이 유무를 one-way ANOVA (Analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan’s multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다(p=0.05).

결과 및 고찰

고구마 끝순 및 괴근의 안토시아닌 함량

고구마 품종별 끝순과 괴근의 안토시아닌 함량을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 안토시아닌 표준품과 시료의 chromatogram은 Fig. 1에 나타내었다. 고구마에 함유된 자색색소는 대부분 peonidin 및 cyanidin계로 존재하며 항암, 항염 및 항산화 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Yoshimoto 등, 2001). 안토시아닌 함량은 배당체 형태가 아닌 고구마 끝순 및 괴근으로부터 추출한 안토시아닌을 가수분해하여 aglycone 형태의 각각의 peonidin 및 cyanidin 함량을 측정하여 total anthocyanidin으로 나타내었다. 고구마 끝순 중 함량이 가장 높은 품종은 하얀미로 29.63±0.37 mg/100g이었으며, 주황미는 1.61±0.04 mg/100g 그리고 호감미는 1.48±0.02 mg/100g의 함량을 나타내어 품종별 차이가 크게 나타났다. 괴근의 경우 신자미 품종이 124.29±0.21 mg/100g으로 높았으며, 단자미 품종은 34.87±0.16 mg/100g을 나타내었다. 신자미는 주로 peonidin과 cyanidin 계열의 안토시아닌으로 이루어져있으며, peonidin 함량이 cyanidin에 비해 3배 정도 높다고 하였는데(Kim 등, 2012), 본 연구에서도 신자미 품종의 peonidin과 cyanidin 양이 각각 92.28±0.18, 32.01±0.21 mg/100g으로 일치하는 결과를 나타내었다.

Table 1. Anthocyanidin content on tips and tuber of different sweet potato cultivars

Sample ¹⁾	Cyanidin (mg/100 g)	Peonidin (mg/100 g)	Anthocyanidin (mg/100 g)	
Tips	Hayanmi	23.39±0.39	6.24±0.06	29.63±0.37
	Juhwangmi	ND	1.61±0.04	1.61±0.04
	Hogammi	0.38±0.11	1.10±0.03	1.48±0.02
Tuber	Sinjami	32.01±0.21	92.28±0.18	124.29±0.21
	Danjami	14.21±0.07	20.66±0.09	34.87±0.16

¹⁾Each value expressed as the mean±standard deviation (n=3)

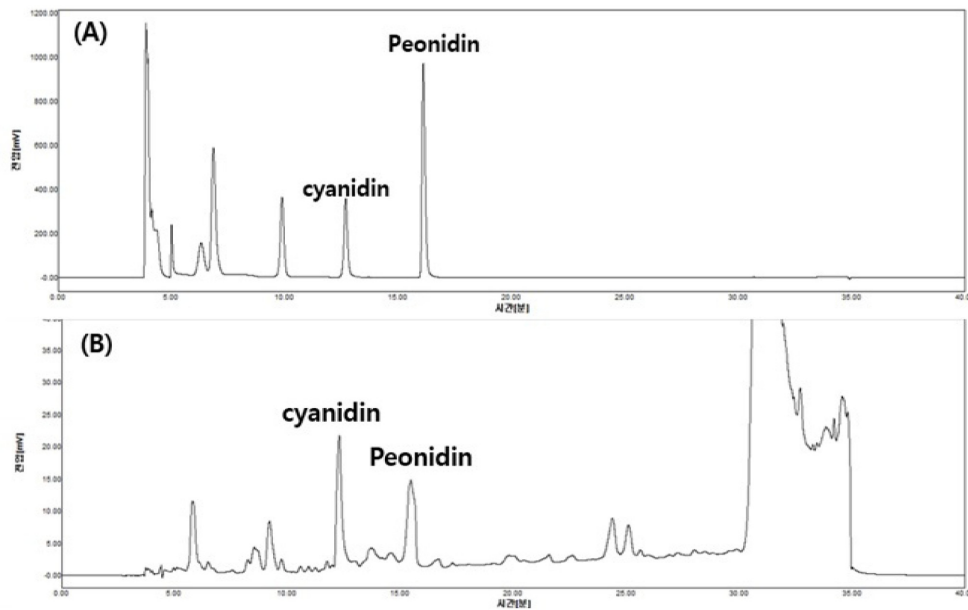


Fig. 1. HPLC chromatograms of 'Cyanidin', 'Peonidin' STD (A), sweet potato tip 'Hayanmi' (B).

안토시아닌 추출에 미치는 추출조건의 영향

하얀미 끝순과 신자미 괴근으로부터 안토시아닌 추출조건을 최적화하기 위하여 추출에 영향을 미치는 추출조건의 영향을 살펴본 결과는 Table 2와 같다. 추출조건에 대한 수준은 예비실험을 통해 선정하여 사용하였다. 안토시아닌 추출 최대값은 에탄올 농도 50%, citric acid 농도 0.3%, 추출 온도 50°C에서 끝순은 26.58±0.07 mg/100 g을 나타내었고 괴근은 117.32±0.39 mg/100 g으로 나타났다. 안토시아닌 함량에 대한 추출조건별 반응표면 분석결과를 나타낸 Fig. 2를 살펴보면 에탄올 농도와 citric acid 농도가 증가할수록 안토시아닌의 함량도 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 2A 및 2D). 에탄올농도가 10에서 50%로 그리고 citric acid 농도가 0.1에서 0.3%로 증가함에 따라 끝순은 8.72±0.16에서

26.58±0.07 mg/100 g으로 증가하였으며, 괴근은 42.09±0.69에서 117.32±0.39 mg/100 g으로 증가하는 경향을 보였지만 그 이상으로 에탄올 농도와 citric acid 농도가 증가함에 따라 안토시아닌은 감소하는 경향을 나타내었다. 안토시아닌 함량은 0.3% 이상의 citric acid 농도에서는 감소하는 경향을 나타내었는데 이러한 현상은 안토시아닌 색소는 pH가 낮으면 추출 효율이 증가한다고 알려져 있지만 산의 농도가 높아지면 오히려 분해가 진행되어 감소된 것이라 판단된다(Ji 등, 2015). 에탄올 농도와 추출 온도에 대한 영향을 나타낸 Fig. 2B 및 2E를 보면 에탄올 농도 50-70%, 추출 온도 50-60°C 사이에서 끝순의 안토시아닌 함량은 18.24±0.14-26.58±0.07 mg/100 g으로, 괴근의 함량은 72.44±0.92-117.32±0.39 mg/100 g으로 높은 함량을 나타내었으며, citric acid와 추출

Table 2. Experimental combination and anthocyanidin content of different sweet potato cultivars at various extraction conditions

No.	Independent variables			Total anthocyanidin (mg/100 g)	
	X ₁ ¹⁾	X ₂	X ₃	Hayanmi tips	Sinjami tuber
1	-2(10)	0(0.3)	0(50)	8.72±0.16 ²⁾	42.09±0.69
2	-1(30)	-1(0.2)	-1(40)	18.48±0.45	48.30±1.10
3	-1(30)	-1(0.2)	1(60)	19.40±0.43	54.94±0.93
4	-1(30)	1(0.4)	-1(40)	16.60±0.14	63.49±0.37
5	-1(30)	1(0.4)	1(60)	19.58±0.41	72.28±0.98
6	0(50)	-2(0.1)	0(50)	24.40±0.40	72.44±0.92
7	0(50)	0(0.3)	-2(30)	20.50±0.31	60.65±0.42
8	0(50)	0(0.3)	0(50)	26.58±0.07	117.32±0.39
9	0(50)	0(0.3)	0(50)	26.48±0.50	117.30±0.22
10	0(50)	0(0.3)	2(70)	22.64±0.17	109.75±0.61
11	0(50)	2(0.5)	0(50)	18.24±0.14	106.64±0.13
12	1(70)	-1(0.2)	-1(40)	21.76±0.26	92.63±1.51
13	1(70)	-1(0.2)	1(60)	25.99±0.11	116.70±0.43
14	1(70)	1(0.4)	-1(40)	15.24±0.57	91.05±0.56
15	1(70)	1(0.4)	1(60)	18.39±0.39	96.81±0.78
16	2(90)	0(0.3)	0(50)	20.26±0.85	74.87±0.25

¹⁾X₁: Ethanol concentration (%), X₂: Citric acid concentration (%), X₃: Extraction Temperature (°C)

²⁾Each value expressed as the mean±standard deviation (n=3)

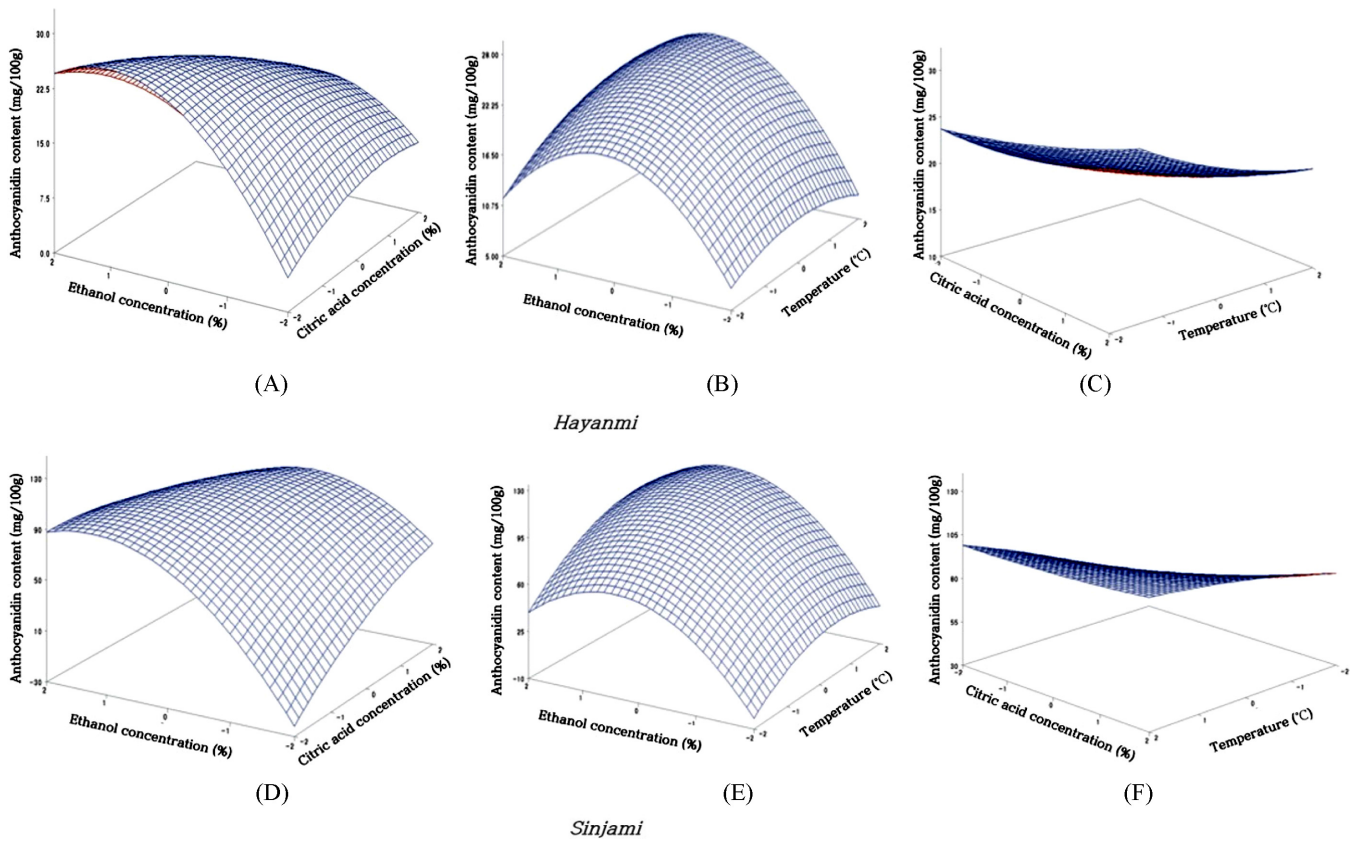


Fig. 2. Response surface for the effects of extraction conditions on anthocyanidin content of *Hayanmi* tips and *Sinjami* tuber.

Table 3. Predicted and experimental values of response variable at the given condition of optimum condition

Cultivars	Independent variables			Predicted value (mg/100 g)	Experimental value (mg/100 g) ²⁾
	X ₁ ¹⁾	X ₂	X ₃		
<i>Hayanmi</i> tips	56.10	0.25	52.24	27.45	27.09±0.11
<i>Sinjami</i> tuber	55.08	0.30	53.06	119.61	118.72±0.67

¹⁾X₁: Ethanol concentration (%), X₂: Citric acid concentration (%), X₃: Extraction Temperature (°C)

²⁾Each value expressed as the mean±standard deviation (n=3)

온도에 따른 안토시아닌 함량은 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 2C 및 2F). 추출 온도 50-60°C 사이에서 안토시아닌 함량이 높게 나타난 결과는 Lee 등(2000)의 연구에서 자색고구마의 안토시아닌 함량이 추출온도 20-60°C에서는 증가하나 60°C부터는 감소한다는 결과와 같으며 색소가 고온에 노출됨에 따라 분해되었기 때문인 것으로 생각된다.

이는 산 농도나 추출 온도보다는 에탄올 농도가 안토시아닌에 미치는 영향력이 가장 크기 때문이라고 판단된다(Table 4).

추출조건 최적화

각각의 추출조건에서 실험값과 반응표면 분석결과의 예측값 그리고 각각의 최적조건은 Table 3과 같다. 고구마 끝순에 대한 안토시아닌의 최적 추출조건은 에탄올 농도 56.10%, citric acid 농도 0.25% 그리고 추출온도 52.24°C이었으며, 괴근의 최적 추출조건은 에탄올 농도 55.08%, citric acid 농도 0.30% 그리고 추출온도 53.06°C이었고 추출 최적조건에서 예측된 안토시아닌 함량은 각각 27.45, 119.61 mg/100 g이었다. 이와 같은 예측결과에 대한 모델식의 신뢰성을 확인하기 위하여(Li 등, 2014) 예측된 최적 조건에서 추출한 결과 안토시아닌 함량은 끝순과 괴근에서

각각 27.09±0.11, 118.72±0.67 mg/100 g으로 예측값과 비슷하게 나타났다. 끝순 및 괴근의 안토시아닌 함량에 대한 실측값은 통계적 예측값의 각각 98.69, 99.26%로 나타나 추출조건의 유효성이 인정되었다.

통계분석

추출조건에 따른 안토시아닌 함량에 대한 분산분석 결과와 반응표면 회귀식의 상수값을 Table 4 및 5에 나타내었다. 회귀분석 결과를 바탕으로 끝순 및 괴근의 종속변수인 안토시아닌 모델식이 적합하지 않다고 평가하였다. 종속변수로서 안토시아닌 함량의 모델이 유의적이었고 R²는 각각 0.9015, 0.8756으로 유의성을 보였다. 적합성 검정 결과 끝순 및 괴근의 안토시아닌 함량에 대해 p<0.001로 유의적인 결과를 보여 반응표면모형이 적합하지 않았는데 이는 산 농도와 온도와의 상하관련성의 부족에 의한 결과라 판단된다. 세가지 독립변수 모두 안토시아닌 함량에 매우 유의적인 영향을 주었으며(p<0.001), 산 농도나 추출 온도보다는 에탄올 농도의 영향력이 가장 큰 것으로 나타났다(Table 4). 이는 복합자의 안토시아닌 추출에 관한 연구에서도 에탄올 농도가 산 농도 보다 더 큰 영향을 준다는 결과(Kim 등, 2014)와 같이 분

Table 4. Analysis of variance for anthocyanidin content of different sweet potato cultivars

Factors	DF	Hayanmi tips		Sinjami tuber	
		Sum of squares	F-value	Sum of squares	F-value
Ethanol concentration (%)	4	671	67.42*** ¹⁾	20,938	53.56***
Citric acid concentration (%)	4	287	28.87***	4,688	11.99***
Temperature (°C)	4	124	12.50***	7,127	18.23***

¹⁾*Significant at $p < 0.05$; **Significant at $p < 0.01$; ***Significant at $p < 0.001$

Table 5. Regression coefficients of the second order polynomials for anthocyanidin

Effects ¹⁾	DF	Hayanmi tips		Sinjami tuber	
		Coefficient	T-value	Coefficient	T-value
Intercept	1	25.78	42.79*** ²⁾	113.25	30.00***
X ₁	1	1.90	8.35***	13.98	9.80***
X ₂	1	-1.73	-7.60***	4.97	3.48***
X ₃	1	0.97	4.27***	8.97	6.28***
X ₁ ²	1	-3.01	-13.23***	-14.70	-10.31***
X ₂ ²	1	-1.33	-5.85***	-6.94	-4.87***
X ₃ ²	1	-1.24	-5.46***	-8.03	-5.63***
X ₁ *X ₂	1	-1.55	-4.82***	-6.75	-3.34***
X ₁ *X ₃	1	0.43	1.35	1.80	0.89
X ₂ *X ₃	1	0.12	0.38	-2.01	-1.00

R²=0.9015***

R²=0.8756***

¹⁾X₁: Ethanol concentration (%), X₂: Citric acid concentration (%), X₃: Temperature (°C)

²⁾*Significant at $p < 0.05$; **Significant at $p < 0.01$; ***Significant at $p < 0.001$

연구에서도 에탄올의 영향이 더 크게 나타났다.

요 약

본 연구에서는 고구마 끝순과 괴근으로부터 자색색소인 안토시아니딘을 추출하기 위한 최적조건을 확립하였다. 에탄올 농도(10-90%), citric acid 농도(0.1-0.5%) 그리고 추출온도(30-70°C)를 변수로 중심합성계획법으로 설계하고 반응표면분석법으로 최적화 하였다. 세가지 변수 모두 안토시아니딘 추출에 유의적인 영향을 주었으며, 산 농도나 추출 온도보다는 에탄올 농도의 영향력이 컸다. 각각의 추출조건 중 에탄올 농도 50%, citric acid 농도 0.3%, 추출 온도 50°C에서 끝순은 26.58±0.07 mg/100 g을 나타내었고 괴근은 117.32±0.39 mg/100 g으로 가장 높았다. 반응표면분석에 의한 최적추출조건은 끝순은 에탄올 농도 56.10%, citric acid 농도 0.25% 그리고 추출 온도 52.24°C이었으며, 괴근은 각각 55.08, 0.30, 53.06°C이었다. 최적추출조건에서의 예측값은 각각 27.45, 119.61 mg/100 g이었으며, 실측값은 각각 27.09±0.11, 118.72±0.67 mg/100 g이었다. 예측값과 비교할 때 각각 98.69, 99.26%로 나타나 추출조건의 유효성이 확인되었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청(과제번호: PJ0142332019) 과제 연구비 지원에 의해 수행된 결과이며 연구비지원에 감사드립니다.

References

Bovellbenjamin AC. Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition. *Adv. Food Nutr. Res.* 52: 1-59 (2007)

- Giusti MM, Wrolstad RE. Characterization of red radish anthocyanins. *J. Food Sci.* 61: 322-326 (1996)
- Huang AS, Tanudjaja L, Lum D. Content of alpha-, beta-carotene, and dietary fiber in 18 sweet potato varieties grown in Hawaii. *J. Food Compos. Anal.* 12: 147-151 (1999)
- Ishida H, Suzuno H, Sugiyama N, Innami S, Tadokoro T, Maekawa A. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* *poir.*). *Food Chem.* 68: 359-367 (2000)
- Islam S. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* *L.*) leaf: Its potential effect on human health and nutrition. *J. Food Sci.* 71: R13-R121 (2006)
- Ji YM, Kim MY, Lee SH, Jang GY, Li M, Yoon NR, Kim KM, Lee JS, Jeong HS. Effects of acidic treatments for anthocyanin and proanthocyanidin extraction on black bean (*Glycine max* *Merrill.*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 44: 1594-1598 (2015)
- Ji YM, Kim MY, Lee SH, Jang GY, Li M, Yoon NR, Kim EH, Kim KM, Lee JS, Jeong HS. Storage stability of anthocyanin extracted from black bean (*Glycine max* *Merrill.*) with copigments treatment. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 996-1000 (2016)
- Jun HI, Jang SW, Oh HH, Jeong DY, Song GS. Antioxidant activity and anthocyanin analysis of blueberry with different extraction conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48: 1223-1232 (2019)
- Jung JK, Im HW. A Study on the phenolic content analysis of Korean sweet potatoes. *Food Ser. Ind. J.* 15: 7-24 (2011)
- Jung JY, Park HJ, Kim BH, Kim SS. Effects of extraction time on the quality characteristics of purple corn cob extract. *J. Appl. Biol. Chem.* 58: 339-344 (2015)
- Kim MY, Jang GY, Oh NS, Baek SY, Kim KH, Kim KM, Kim HS, Lee JS, Jeong HS. Changes in free and bound forms of bioactive compound profiles of adzuki bean with germination. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 937-943 (2017)
- Kim HS, Kang EJ, Kim WS, Kim MH. Study to find the optimal purification processing conditions of anthocyanin from *Bokbunja* byproducts. *Food Eng. Prog.* 18: 25-31 (2014)
- Kim HW, Kim JB, Cho SM, Chung MN, Lee YM, Chu SM, Che HJ, Kim SN, Kim SY, Cho YS, Kim JH, Park HJ, Lee DJ. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, *Shinzami*, as affected by steaming and baking. *Food Chem.* 130:

- 966-972 (2012)
- Kim SJ, Rhim JW, Lee LS, Lee JS. Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 345-351 (1996)
- Lee JW, Lee HH, Rhim JW, Jo JS. Determination of the conditions for anthocyanin extraction from purple-fleshed sweet potato. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 790-795 (2000)
- Li M, Jang GY, Lee SH, Kim ST, Lee JH, Hwang SG, Sin HM, Kim HS, Kang TS, Jeong HS. Optimization of extraction conditions for useful components from sweet potato leaves. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1749-1756 (2014)
- Li M, Jang GY, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee JS, Jeong HS. Chemical compositions and antioxidant activities of leaves and stalks from different sweet potato cultivars. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1656-1662 (2012)
- Mazza G. Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains. CRC press, Boca Raton, FL, USA (2018)
- Park JS, Bae JO, Chung BW, Jung MY, Choi DS. Degradation kinetics of anthocyanin pigment solutions from purple-fleshed sweet potato cultivars. *Korean J. Food Nutr.* 24: 559-566 (2011)
- Seeram NP, Nair MG. Inhibition of lipid peroxidation and structure-activity-related studies of the dietary constituents anthocyanins, anthocyanidins, and catechins. *J. Agric. Food Chem.* 50: 5308-5312 (2002)
- Villareal RL, Tsou SCS, Lin SK, Chiu SC. Use of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaf tips as vegetables II. Evaluation of yield and nutritive quality. *Exp. Agr.* 15: 117-122 (1979)
- Yoshimoto M. New trends of processing and use of sweet-potato in Japan. *Farming Japan* 35: 22-28 (2001)
- Yoshimoto M, Okuno S, Yamaguchi M, Yamakawa O. Antimutagenicity of deacylated anthocyanins in purple-fleshed sweet potato. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65: 1652-1655 (2001)