

반응표면분석법을 이용한 연근건조칩 제조조건 최적화 연구

황애솔¹ · 전채원¹ · 김수민² · 이지은³ · 노정옥^{4*}

¹전북대학교 식품영양학과 학부과정, ²전북대학교 영양교육대학원 석사과정,

³군장대학교 스마트농식품학과 교수, ⁴전북대학교 식품영양학과 교수

A Study on the Optimization of Manufacturing Conditions for Lotus Root Dry Chips Using Response Surface Methodology

Ae-Sol Hwang¹, Chae-Won Jeon¹, Su-Min Kim², Ji-Eun Lee³ and Jeong-Ok Rho^{4*}

¹Undergraduate Student, Dept. of Food Science and Human Nutrition, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

²Graduate Student, Major of Nutrition Education, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

³Professor, Dept. of Smart Agri-Food, Kunjang University, Kunsan 54045, Republic of Korea

⁴Professor, Dept. Food Science and Human Nutrition, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

ABSTRACT

This study examined the optimal manufacturing conditions, namely thickness and drying time for the preparation of lotus root dry chips using air fryers. The study was based on the central composite response surface methodology (RSM) design. Accordingly, the thickness and drying time were set as the independent variables. The experimental data on the physicochemical and sensory evaluation were fitted to various models. Among the responses, sugar content ($p<0.05$), salt content ($p<0.05$), b-value ($p<0.05$), and the sensory properties of color ($p<0.05$), flavor ($p<0.05$), sweetness ($p<0.05$), hardness ($p<0.01$), chewiness ($p<0.05$), and overall acceptability ($p<0.01$) showed significant correlations with thickness and drying time. From these results, the optimal formulation was calculated by applying numerical and graphical methods, and was determined to be a thickness of 4 mm, drying time of 5.7 min. We believe lotus root dry chips made using air fryers based on the above parameters have the potential to become a healthy product meeting various consumer preferences for snacks.

Key words: lotus root, thickness, dry time, response surface methodology

서 론

최근 라이프스타일의 변화와 기호식품 규제 등으로 인하여 건강한 재료를 이용한 간식제품 개발이 증가하고 있다(Food Information Statistics System 2020). 또한, 일반 간식제품에 함유된 당 또는 트랜지지방이 건강에 미치는 영향에 대한 사회적 관심이 높아져 제품에 대한 소비자들의 요구도가 변화하고 있다. 이에 일반 과자의 대체식품으로써 맛과 건강을 모두 만족시킬 수 있는 원물간식이 주목을 받고 있다(Choi JY 등 2021). 원물간식은 첨가물을 포함하지 않고 원물만을 이용하여 단순 가공처리 한 식품 유형으로, 주로 간식으로 쉽고 편리하게 먹을 수 있는 식품을 말한다(Food Information Statistics System 2017). 특히, 뿌리를 식용으로 하는 무, 연근, 당근과 같은 근채류를 수분함량 40% 이하가 되도록 건조하는 가공공정을 통해 원물간식을 제조할 수 있

다(Food Information Statistics System 2016). 건조채소는 소비자들에게 대표적인 건강식품으로 인식되고 있어 현재 건강 기능적인 요소가 강화된 프리미엄 제품이 출시되고 있다(Food Information Statistics System 2016). 특히, 과자처럼 맛의 즐거움과 영양을 충족할 수 있다는 장점과 식품첨가물 우려와 열량에 대한 부담이 적어 인기가 높아지고 있다(Food Information Statistics System 2019). 현재 건조채소류 시장의 확대와 다양한 소비층에 대응할 수 있는 제품개발이 계속 이어지고 있으며, 지금까지의 건조채소류 제품연구로는 건조단호박(Na KM 등 2004), 호박고구마(Shin MY 등 2011), 산약칩(Lee MH 등 2011), 고구마칩(Jang GY 등 2013) 등의 다양한 채소류를 이용한 연구가 있다.

연(*Nelumbo nucifera*)은 다년생 수상식물로서 가을철에 근경(根莖)의 끝부분이 굽어져 식용으로 이용되어 왔으며, 근경의 마디를 잘라 이용하는 것을 연근이라 한다(Lee SC 등 2010). 연근의 수분함량은 약 76%로 높으며, 회분 0.81%, 조지방 0.08%, 조단백질 1.09%, 조섬유소 1.26%, 탄수화물

* Corresponding author : Jeong Ok Rho, Tel: +82-63-270-3821, Fax: +82-63-270-3854, E-mail: jorho@jbnu.ac.kr

21.45%로 구성되어 있다. 연근 100 g 당 열량은 90 kcal이며, 무기질 함량은 칼륨 314.20 mg, 나트륨 35.96 mg, 칼슘 20.52 mg, 마그네슘 14.35 mg이며, 탄닌은 382.02 mg이 함유되어 있다(Bae MJ 등 2008). 또한, 연근은 레시틴, 뮤신 등을 함유한 영양가 높은 식품이다(Kim HS 등 2011). 연근의 기능성 관련 연구는 연근의 항산화 작용(Yu HH 2016), 체내 지질농도 개선(Park SH 등 2005a), 혈압 강하와 뇌혈류량 증가(Park SH 등 2005b) 등이 보고되었다. 지금까지 연근을 이용하여 양갱(Park SH 등 2004, Park SY 등 2019), 국수(Park BH 등 2008), 두부(Park BH 등 2010), 부각(Jung LJ 등 2014, Kim MJ 등 2014), 차(Jo SJ 등 2016, Jung YH 등 2019) 제조 연구 등이 있으며, 건조연근을 이용한 연구는 열처리 방법을 달리 하여 제조한 연근스낵(Choi JY 등 2021) 연구가 있다.

Ra HN 등(2019), Choi JY 등(2021)은 스낵제조방법으로 건조, 구움, 튀김 등이 있으며, 이들의 가공조건에 따라 향과 맛의 차이가 있음을 보고하였다. 최근 에어프라이어는 기름을 사용하지 않기 때문에 건강과 편의성을 중요시하는 현대인들에게 적절한 조리기구로 인식되고 있다. 또한, 기름을 사용하지 않아도 전자레인지보다 바삭한 식감을 즐길 수 있는 장점이 있다(Choi JY 등 2021). 이와 같은 장점을 바탕으로 간식 스낵의 대체식품으로써 에어프라이어를 이용한 연근건조칩을 제조하고자 하였다. 이에 본 연구는 연근의 두께와 건조시간을 달리한 연근칩을 제조한 후 품질 특성을 분석하고 반응표면분석법(response surface methodology; RSM)을 통해 연근의 두께와 건조시간의 최적 조건을 산출하고자 한다. 이를 통하여 소비자의 기호도를 충족시킬 수 있는 연근 건조칩을 제조하여 향후 뿌리채소를 이용한 다양한 스낵제품 개발의 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용한 연근은 2020년 생산된 것으로 온라인 쇼핑몰(Hatsal, Agricultural Corporation)에서 구입하였으며, 전체적으로 모양이 균일한 것을 선별하여 수세한 후 박피하여 시료로 사용하였다.

2. 실험 계획

본 연구의 실험계획은 반응표면분석법(response surface methodology; RSM)의 중심합성계획법(central composite design; CCD)에 따라 설계하였다. 연근건조칩의 품질에 영향을 줄 수 있는 요인을 독립변수로 설정하였고, 각 독립변수의 범위는 10회 이상의 예비실험을 통하여 결정하였다. 독립변수는 연근의 두께(X_1 : 3.5~6.5 mm)와 건조시간(X_2 : 4~7 min)으로 설정하였고, $-a$, -1 , 0 , $+1$, $+a$ 로 부호화하였다(Table 1). 독립변수 범위는 꼭짓점(factorial point)과 축점(axial point) 각각 4개와 3개의 중심점(central point)으로 실험점은 총 11개이며, a 값은 채칼을 이용하여 연근을 용이하게 자르기 위하여 1.5로 정하였다. Table 2에 반응표면분석법을 이용한 조건별 연근건조칩 제조공정 실험점을 제시하였으며, Fig. 1에 제조된 연근건조칩 11종류를 제시하였다. 종속변수는 이화학적 특성[pH(Y_1), 당도(Y_2), 염도(Y_3), 명도(Y_4), 적색도(Y_5), 황색도(Y_6)]과 관능적 특성[외관(Y_7), 색(Y_8), 향미(Y_9), 단맛(Y_{10}), 경도(Y_{11}), 씹힘성(Y_{12}), 전반적 기

Table 2. The experimental design for lotus root dry chips by central composite design

Sample No.	Variables ¹⁾	
	X_1 (mm)	X_2 (min)
1	4(-1)	4.5(-1)
2	6(+1)	4.5(-1)
3	4(-1)	6.5(+1)
4	6(+1)	6.5(+1)
5	3.5(-a)	5.5(0)
6	6.5(+a)	5.5(0)
7	5(0)	4(-a)
8	5(0)	7(+a)
9	5(0)	5.5(0)
10	5(0)	5.5(0)
11	5(0)	5.5(0)

¹⁾ X_1 : thickness, X_2 : drying time.

Table 1. Coded independent variables used in RSM design for lotus root dry chips

Independent variable	Symbol	Coded-variables				
		$-a$	-1	0	1	a
Thickness (mm)	X_1	3.5	4	5	6	6.5
Drying time (min)	X_2	4	4.5	5.5	6.5	7

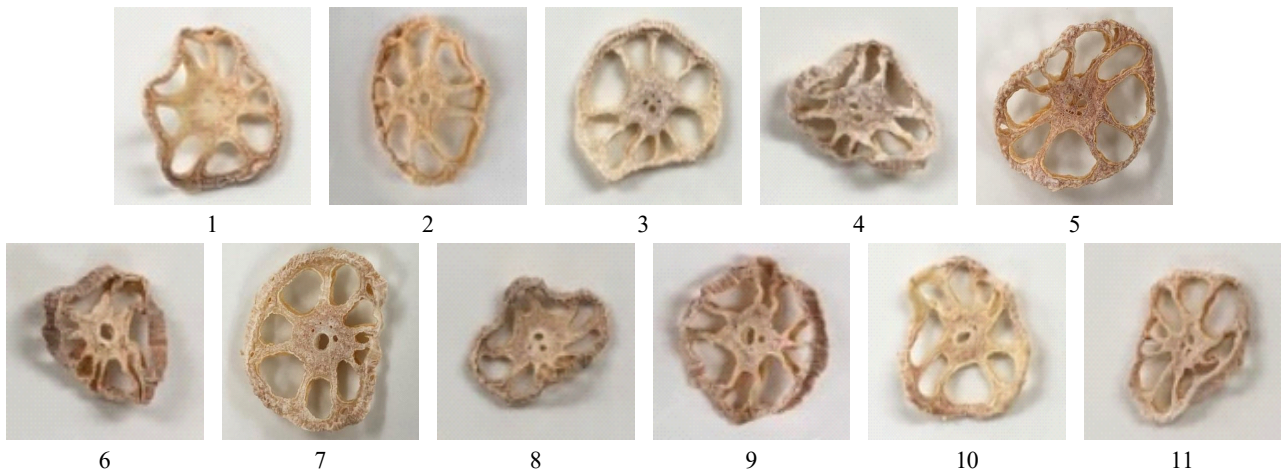


Fig. 1. Appearance of lotus root dry chips by central composite design.

호도(Y_{13})로 설정하였다.

3. 연근건조칩의 제조

박피한 연근은 채칼(PL8-1005, PROGRESSIVE, China)을 이용하여 슬라이스한 후 갈변현상을 보완하기 위해 전처리 과정으로 10% 식초물에 5분간 침지시킨 후 물기를 제거하였다(Park SY 등 2001). 물기를 제거한 연근은 1차로 식품건조기(LD-918TH, L'EQUIP, Korea)에 70℃, 120분간 건조한 후, 건조된 연근 100 g을 2차로 에어프라이어(FAMILY DK-20, SIMEO, China)를 이용하여 최종적으로 연근건조칩을 제조하였다. Fig. 2에 연근의 두께와 건조시간을 달리한 연근건조칩 제조과정을 제시하였다. 예비실험을 통해 에어프라이어 온도는 160℃로 고정하였으며, 연근의 건조조건은 두께(3.5~6.5 mm)와 에어프라이어 건조시간(4~7 min)으로 설정하였다.

4. 연근건조칩의 이화학적 특성

1) pH

건조한 연근의 pH는 시료 8 g과 증류수 72 mL를 믹서기(BL9000C-GS, KOSELIG, China)를 이용하여 1분 동안 균질화하고, 균질화된 연근을 여과한 후 정용한 시료 용액을 pH meter(Starter 3100 Bench pH Meter, OHAUS, USA)를 사용하여 3회 반복 측정 후 평균값±표준편차로 나타내었다.

2) 당도 및 염도

건조한 연근의 당도 및 염도는 시료 8 g과 증류수 72 mL를 믹서기를 이용하여 1분 동안 균질화하고, 균질화된 연근을 여과한 후 정용한 시료 용액을 당도계(PAL-1, ATAGO,

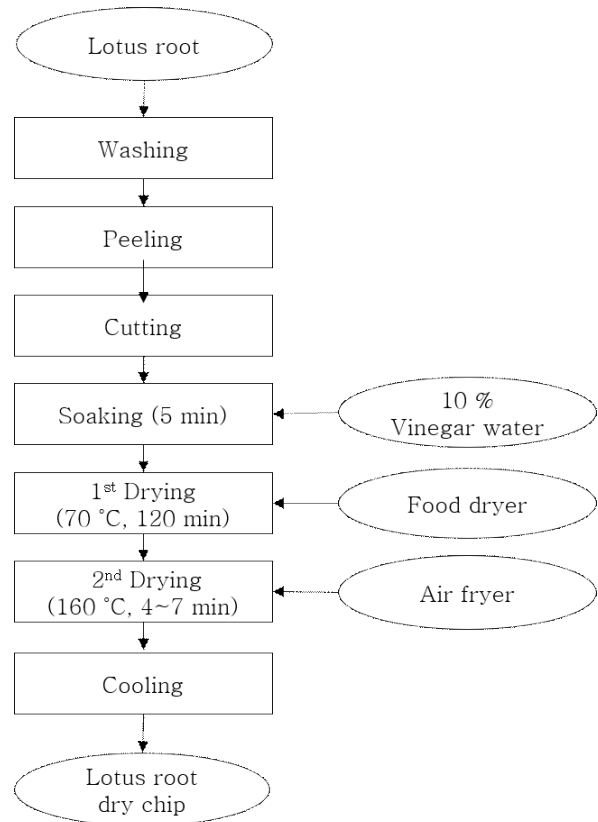


Fig. 2. Preparation process for lotus root dry chips.

Japan)와 염도계(PAL-03S, ATAGO, Japan)를 사용하여 3회 반복 측정 후 평균값±표준편차로 나타내었다.

3) 색도

건조한 연근의 색도는 색차계(Color and color difference

meter super color SP-80, TOKYO DENSHOKU, Japan)를 이용하여 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness) 값을 3회 반복 측정 후 평균값±표준편차를 구하였다. 표준 백색판(standard plate)의 L, a, b값은 92.00, -0.07, 3.59이었다.

5. 연근건조칩의 관능검사

1) 관능검사 요원 모집

연근건조칩의 관능검사는 전북대학교 대학생을 대상으로 하였다. 교내 공지를 통하여 식품의 맛에 관심을 가지며, 관능검사 참가경험이 있는 학생을 모집하였으며, 지원자들은 기본 맛 식별검사를 실시하여 맛에 대한 예민도를 평가하였다. 차이식별검사 결과에서 60% 이상의 정답률을 보인 총 14명의 지원자를 선정하여 본 평가를 실시하였다. 본 관능검사는 전북대학교의 생명윤리위원회의 승인을 받은 후 실시하였다(No. JBNU 2020-07-010).

2) 관능검사 항목

관능검사 실시 전에 실험 목적과 평가 방법에 대하여 설명한 후 제조된 11개의 연근건조칩 관능검사를 실시하였다. 관능검사는 Likert 9점 척도법을 사용하여 평가하였으며, 색(color), 경도(hardness), 단맛(sweetness) 항목은 강도가 높을수록 높은 점수를 부여하게 하였으며, 외관(appearance), 향미(flavor), 씹힘성(chewiness), 전반적 기호도(overall acceptability)에 대한 항목은 기호도가 높을수록 높은 점수를 부여하도록 하였다.

각 시료에는 난수표에서 추출한 3 자릿수 번호를 부여하고, 동일한 양을 관능검사용 접시에 담아 제공하였다. 시료 간의 영향을 주지 않도록 각 시료 평가 후 반드시 물로 입안을 행구도록 하였다. 시료 순서는 실험의 오차를 줄이기 위해 랜덤으로 제공하였으며, 중간에 1회의 휴식시간을 제공하여 평가의 오류를 방지하였다.

6. 연근건조칩 제조의 최적화 분석

본 연구는 Design Expert 11 Program(State-Easy Co., Minneapolis, MN, USA)을 이용하여 Canonical 모형의 수치적 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 각 독립변수의 최적 조건을 구하였으며, 지점 예측(point prediction)을 통해 종속변수 각각의 예측값을 구하였다. 수치적 최적화는 목표 범위(goal area)를 독립변수인 연근 두께(X_1)와 건조시간(X_2)은 실험범위 내(in range)로 하였다. 종속변수는 관능적 특성[외관(Y_7), 색(Y_8), 향미(Y_9), 단맛(Y_{10}), 경도(Y_{11}), 씹힘성(Y_{12}), 전반적 기호도

(Y_{13})] 항목으로 하였으며, 이 중 통계적으로 유의적인 항목의 점수를 최대(maximum)로 설정하고, 신뢰 수준 95% 구간에서 최적점(solution)을 구하였다. 제시된 최적점(solution) 중 가장 높은 적합도(desirability)를 나타내는 최적점을 채택하였다. 모형적 최적화는 종속변수의 범위를 설정하여 그래프가 중첩되는 범위(overlay plot) 안에서 최적점을 찾았다.

7. 통계 분석

모든 실험의 통계분석은 SPSS 통계프로그램(IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여 평균과 표준편차를 산출하였으며, 시료 간의 차이검증은 일원배치 분산분석(analysis of variance; ANOVA)을 실시하였고, 사후검증은 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다. 자료 분석과 최적화는 Design Expert 11 Program(State-Easy Co., Minneapolis, MN, USA)을 사용하여 독립변수와 종속변수의 관계를 회귀분석을 통해서 1차 선형효과, 2차 곡선효과 및 인자들 간 교호작용을 보았다. 독립변수에 대한 종속변수의 반응 표면 상태는 perturbation plot과 response surface plot으로 나타내었다. 분석결과에서 모델의 적합성 여부는 F -Test를 통해 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 연근건조칩의 이화학적 특성

연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)을 달리하여 제조한 연근건조칩의 이화학적 특성 분석결과는 Table 3, 반응표면 회귀 분석 결과는 Table 4와 같다.

1) pH

연근건조칩의 pH 측정결과, 5.40~5.85의 범위로, 최소값은 시료 1(X_1 : 4 mm, X_2 : 4.5 min), 최대값은 시료 9(X_1 : 5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다. Park SY 등(2001)은 갈변저해제를 처리한 연근의 pH는 낮아진다고 하였는데, 본 연구 결과에서는 전체적으로 약산성의 범위이었다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 pH(Y_1)에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 교호작용하는 Quadratic 모델이 선정되었다. R^2 값은 0.7959, p 값은 0.1465로 유의적이지 않았다. 반응표면상태 결과, 연근의 두께가 증가할수록 급격히 증가하다 감소하는 곡선의 형태를 보였으며, 건조시간이 증가할수록 완만하게 증가하다 감소하는 곡선의 형태를 보였다. 이때, 두께보다 건조시간이 pH에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

Table 3. Physicochemical properties of lotus root dry chips at various conditions by RSM

Sample no.	Variables ¹⁾		Responses					
	X ₁	X ₂	pH	Sugar content (°Brix)	Salt content (%)	Color		
	(mm)	(min)				L	a	b
1	4	4.5	5.40±0.01 ⁱ²⁾	4.67±0.06 ^b	3.87±0.06 ^b	63.69±0.48 ^{de}	6.17±0.16 ^b	18.38±0.03 ^b
2	6	4.5	5.83±0.01 ^b	2.53±0.06 ^j	2.03±0.06 ⁱ	63.05±0.93 ^{ef}	2.83±0.06 ^h	15.79±0.16 ^f
3	4	6.5	5.57±0.01 ^f	3.23±0.06 ^g	2.57±0.06 ^f	64.24±0.31 ^d	6.32±0.04 ^b	17.94±0.33 ^c
4	6	6.5	5.43±0.01 ^h	3.80±0.00 ^e	3.13±0.06 ^d	62.87±0.13 ^f	5.90±0.09 ^c	18.48±0.08 ^b
5	3.5	5.5	5.59±0.01 ^e	4.97±0.06 ^a	4.10±0.00 ^a	63.76±0.22 ^d	5.37±0.11 ^d	19.52±0.06 ^a
6	6.5	5.5	5.41±0.01 ⁱ	4.57±0.06 ^c	3.80±0.00 ^b	59.43±0.50 ^h	6.69±0.05 ^a	18.16±0.37 ^{bc}
7	5	4.0	5.69±0.01 ^d	3.40±0.00 ^f	2.80±0.00 ^e	69.04±0.30 ^a	2.43±0.09 ⁱ	17.36±0.25 ^d
8	5	7.0	5.69±0.01 ^d	3.07±0.06 ^h	2.50±0.10 ^{fg}	56.27±0.34 ⁱ	6.60±0.14 ^a	17.90±0.10 ^c
9	5	5.5	5.85±0.01 ^a	3.00±0.00 ^h	2.43±0.06 ^{gh}	61.47±0.12 ^g	4.09±0.31 ^f	16.89±0.33 ^c
10	5	5.5	5.79±0.01 ^c	2.90±0.00 ⁱ	2.37±0.06 ^h	65.34±0.10 ^c	3.64±0.03 ^g	17.38±0.23 ^d
11	5	5.5	5.54±0.01 ^g	4.17±0.06 ^d	3.33±0.06 ^c	66.45±0.14 ^b	5.04±0.06 ^c	17.28±0.02 ^d
F-value			1,237.945 ^{***}	948.029 ^{***}	481.540 ^{***}	217.214 ^{***}	426.335 ^{***}	60.339 ^{***}

¹⁾ X₁: thickness, X₂: drying time.²⁾ Mean±S.D. (n=3).³⁾ Mean values with different letters (^{a~j}) within the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at $p<0.05$.^{***} $p<0.001$.**Table 4. Analysis of predicted model equation for physicochemical properties of lotus root dry chips**

Responses	Model	R ²	F-value	p-value	Lack of fit	Polynomial equation ¹⁾
pH	Quadratic	0.7959	3.12	0.1465	0.2299	$Y_1=5.72-0.03X_2-0.14X_1X_2-0.11X_1^2-0.03X_2^2$
Sugar content	Quadratic	0.9389	12.30*	0.0153	0.1431	$Y_2=3.05-0.26X_1-0.08X_2+0.68X_1X_2+0.69X_1^2+0.01X_2^2$
Salt content	Quadratic	0.9351	11.53*	0.0172	0.0972	$Y_3=2.96-0.20X_1-0.08X_2+0.60X_1X_2+0.36X_1^2-0.22X_2^2$
L	Linear	0.4312	3.03	0.1047	0.4989	$Y_4=63.24-1.00X_1-2.21X_2$
Color a	Linear	0.4662	3.49	0.0812	0.2249	$Y_5=5.01-0.21X_1+1.12X_2$
b	Quadratic	0.8996	8.96*	0.0155	0.2057	$Y_6=17.14-0.48X_1+0.36X_2+0.78X_1X_2+0.65X_1^2+0.11X_2^2$

¹⁾ X₁: thickness, X₂: drying time.* $p<0.05$.

2) 당도와 염도

연근건조칩의 당도와 염도 측정결과, 각각 2.53~4.97 °Brix, 2.03~4.10%의 범위로 나타났다. 당도와 염도의 최소 값은 시료 2(X₁: 6 mm, X₂: 4.5 min), 최대값은 시료 5(X₁: 3.5 mm, X₂: 5.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X₁)와 건조 시간(X₂)이 당도(Y₂)와 염도(Y₃)에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 교호작용하는 Quadratic 모델이 선정되었다. 각각의 R² 값은 0.9389, 0.9351로 설명력이 높으며, p 값

은 0.0153, 0.0172로 유의적으로 나타났다. 모델의 적합결여 검정 결과, p 값이 0.1431, 0.0972로 적합성이 인정되었다. 반응표면상태 결과, 연근의 두께가 증가할수록 급격히 감소하다 증가하는 곡선의 형태를 보였으며, 건조시간이 증가할수록 완만하게 감소하는 곡선의 형태를 보였다. 이때 건조시간보다 연근의 두께가 당도와 염도에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 두께를 달리한 무채말랭이와 무채말랭이 볶음의 품질 특성에 관한 연구결과(Kim JN 등 2015)와

유사한 결과로 보이며, 두께가 증가할수록 수분함량이 높아져 당 및 염의 농도가 낮아지는 것으로 판단된다.

3) 색도

연근건조칩의 색도 측정결과, 명도(L, Y_4)는 56.27~69.04, 적색도(a, Y_5)는 2.43~6.69, 황색도(b, Y_6)는 15.79~19.52의 범위로 나타났다. 명도의 최소값은 시료 8(X_1 : 5 mm, X_2 : 7 min), 최대값은 시료 7(X_1 : 5 mm, X_2 : 4 min)에서 나타났다. 적색도의 최소값은 시료 7(X_1 : 5 mm, X_2 : 4 min), 최대값은 시료 6(X_1 : 6.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났으며, 황색도의 최소값은 시료 2(X_1 : 6 mm, X_2 : 4.5 min), 최대값은 시료 5(X_1 : 3.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다.

연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 색도에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 명도와 적색도는 독립변수가 각각 작용하는 Linear 모델이며, 황색도는 독립변수가 교호작용하는 Quadratic 모델로 나타났다. 명도, 적색도 및 황색도의 R^2 값은 0.4312, 0.4662, 0.8996으로 황색도의 값이 0.8 이상으로 설명력이 높았으며, p 값은 각각 0.1047, 0.0812, 0.0155로 황색도에서 유의적으로 나타났다. 모델의 적합결여검정 결과, p 값이 각각 0.4989, 0.2249, 0.2057로 황색도에서 적합성이

인정되었다. 반응표면상태 결과, 명도와 적색도는 연근의 두께가 증가할수록 완만하게 감소하는 경향을 보였으며, 건조시간이 증가할수록 명도는 감소하고, 적색도는 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 이때 연근의 두께보다 건조시간이 명도와 적색도에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 연근첨가 우육 햄버거 패티의 품질에 관한 연구와 유사한 결과이다(Mo EK & Kim HY 2016). 본 실험에서는 연근의 갈변을 막기 위해 식초물에 침지시키는 과정을 하였기 때문에 명도의 변화에는 크게 영향이 없는 것으로 판단된다. 그러나 황색도는 연근의 두께가 증가할수록 감소한 후 완만히 증가하는 곡선의 형태를 보였으며, 건조시간이 증가할수록 증가하는 곡선의 형태를 보였다. 이때 건조시간보다 두께가 황색도에 미치는 영향이 더 큰 것으로 보인다. 이는 연근 분말 첨가량에 따른 두부에 관한 연구에서도 유사한 경향을 보였다(Park BH 등 2010).

2. 연근건조칩의 관능검사

연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)을 달리하여 제조한 연근건조칩의 관능검사 분석결과를 Table 5, 반응표면 회귀분석 결과는 Table 6과 같다.

Table 5. Sensory evaluation of lotus root dry chips at various conditions by RSM

Sample no.	Variables ¹⁾		Responses						
	X_1 (mm)	X_2 (min)	Appearance	Color	Flavor	Sweetness	Hardness	Chewiness	Overall acceptability
1	4	4.5	6.93±1.27 ²⁾	6.71±1.07	6.93±1.07 ^{ab}	6.86±1.23 ^{ab}	5.64±1.34 ^{cde}	6.07±1.59 ^{bcd}	6.64±1.34 ^{abc}
2	6	4.5	6.29±0.83	6.57±0.85	6.21±1.12 ^{bc}	5.86±1.17 ^b	5.00±1.41 ^e	5.29±1.38 ^d	5.64±1.28 ^{bc}
3	4	6.5	6.43±1.40	6.36±1.22	7.07±0.83 ^{ab}	6.14±1.75 ^b	7.07±1.33 ^a	6.79±2.23 ^{ab}	6.71±1.59 ^{ab}
4	6	6.5	6.14±1.35	6.36±1.08	6.79±1.12 ^{abc}	6.07±1.07 ^b	6.36±1.45 ^{abc}	5.50±1.61 ^{cd}	6.21±1.25 ^{bc}
5	3.5	5.5	6.43±1.02	6.79±0.80	7.29±1.33 ^a	7.50±1.29 ^a	6.93±1.14 ^{ab}	7.43±0.94 ^a	7.57±1.09 ^a
6	6.5	5.5	6.36±1.08	6.36±1.45	6.43±0.94 ^{abc}	6.29±0.99 ^b	6.50±0.86 ^{abc}	6.14±1.46 ^{bcd}	6.07±0.92 ^{bc}
7	5	4.0	6.43±1.22	6.64±1.15	5.93±1.00 ^c	6.14±1.03 ^b	5.07±1.14 ^{de}	5.29±0.83 ^d	5.50±1.02 ^c
8	5	7.0	5.71±1.44	5.71±1.33	6.79±0.98 ^{abc}	6.36±1.22 ^b	6.86±1.10 ^{ab}	6.64±1.34 ^{abc}	6.29±1.73 ^{bc}
9	5	5.5	6.21±1.12	6.29±1.20	6.36±1.15 ^{bc}	5.93±1.86 ^b	6.21±1.19 ^{abc}	5.79±1.76 ^{bcd}	6.00±1.62 ^{bc}
10	5	5.5	6.86±1.29	6.71±1.27	6.71±0.73 ^{abc}	6.29±1.49 ^b	6.00±1.18 ^{bcd}	6.00±1.24 ^{bcd}	6.43±1.28 ^{bc}
11	5	5.5	6.79±1.25	6.64±1.15	6.50±0.85 ^{abc}	6.00±0.88 ^b	6.71±0.99 ^{ab}	6.50±1.09 ^{abcd}	6.50±0.94 ^{bc}
F-value			1.153	0.976	2.094 [*]	1.876 [*]	4.978 ^{***}	2.961 ^{**}	2.615 ^{**}

¹⁾ X_1 : thickness, X_2 : drying time.

²⁾ Mean±S.D. (n=14).

³⁾ Mean values with different letters (^{a-c}) within the same column are significantly different by Duncan's multiple range test at $p<0.05$.

^{*} $p<0.05$, ^{**} $p<0.01$, ^{***} $p<0.001$.

Table 6. Analysis of predicted model equation for sensory evaluation of lotus root dry chips

Responses	Model	R^2	F-value	p-value	Lack of fit	Polynomial equation ¹⁾
Appearance	Linear	0.3863	2.52	0.1419	0.7061	$Y_7=6.42-0.12X_1-0.20X_2$
Color	Linear	0.5605	5.10*	0.0373	0.5736	$Y_8=6.47-0.09X_1-0.23X_2$
Flavor	Quadratic	0.9119	10.35*	0.0114	0.5897	$Y_9=6.54-0.27X_1+0.24X_2+0.11X_1X_2+0.18X_1^2-0.05X_2^2$
Sweetness	Quadratic	0.8348	5.05*	0.0499	0.2757	$Y_{10}=6.05-0.34X_1-0.02X_2+0.23X_1X_2+0.31X_1^2+0.03X_2^2$
Hardness	Linear	0.7727	13.60**	0.0027	0.5371	$Y_{11}=6.21-0.23X_1+0.64X_2$
Chewiness	Linear	0.6524	7.51*	0.0146	0.4311	$Y_{12}=6.13-0.47X_1+0.35X_2$
Overall acceptability	Quadratic	0.9344	14.24**	0.0056	0.8387	$Y_{13}=6.31-0.44X_1+0.21X_2+0.13X_1X_2+0.22X_1^2-0.19X_2^2$

¹⁾ X_1 : thickness, X_2 : drying time.

* $p<0.05$, ** $p<0.01$.

1) 외관

연근건조칩의 외관에 대한 평가는 5.71~6.93점의 범위로, 최소값은 시료 8(X_1 : 5 mm, X_2 : 7 min), 최대값은 시료 1(X_1 : 4 mm, X_2 : 4.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 외관(Y_7)에 대한 평가에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 각각 작용하는 Linear 모델이었으나, R^2 값 0.3863, p 값 0.1419로 유의적이지 않았다. 반응표면상태 결과, 외관에 대한 관능검사 결과는 연근의 두께와 건조시간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 두께보다 건조시간이 외관에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

2) 색

연근건조칩의 색에 대한 평가는 5.71~6.79점의 범위로, 최소값은 시료 8(X_1 : 5 mm, X_2 : 7 min), 최대값은 시료 5(X_1 : 3.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 색(Y_8)에 대한 평가에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 각각 작용하는 Linear 모델로 나타났다. R^2 값은 0.5605, p 값은 0.0373으로 유의적이며, 모델의 적합결여검정 결과, p 값 0.5736으로 적합성이 인정되었다. 반응표면상태 결과, 색에 대한 기호도는 연근의 두께와 건조시간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 두께보다 건조시간이 색에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

3) 향미

연근건조칩의 향미에 대한 평가는 5.93~7.29점의 범위로, 최소값은 시료 7(X_1 : 5 mm, X_2 : 4 min), 최대값은 시료 5(X_1 : 3.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 향미(Y_9)에 대한 평가에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 교호작용하는 Quadratic 모델로 나타났

다. R^2 값은 0.9119로 설명력이 높았으며, p 값은 0.0114로 유의적이며, 모델 적합결여검정 결과, p 값이 0.5897로 적합성이 인정되었다. 반응표면상태 결과, 향에 대한 기호도는 연근의 두께가 증가할수록 급격하게 감소하다 최하점 이후 완만하게 증가하는 곡선의 형태를 보였으며, 건조시간이 증가할수록 증가하는 곡선의 형태를 보였다. 건조시간보다 두께가 향미에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

4) 단맛

연근건조칩의 단맛 평가는 5.86~7.50점의 범위로, 최소값은 시료 2(X_1 : 6 mm, X_2 : 4.5 min), 최대값은 시료 5(X_1 : 3.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 단맛(Y_{10})에 대한 평가에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 교호작용하는 Quadratic 모델로 나타났다. R^2 값은 0.8348로 설명력이 높았으며, p 값은 0.0499로 유의적이었다. 모델의 적합결여검정 결과, p 값 0.2757로 적합성이 인정되었다. 반응표면상태 결과, 단맛에 대한 기호도는 연근의 두께가 증가할수록 급격하게 감소하다 최하점 이후 완만하게 증가하는 곡선의 형태를 보였으며, 건조시간보다 두께가 단맛에 더 크게 영향을 주고 있었다.

5) 경도와 씹힘성

연근건조칩의 경도에 대한 평가는 5.00~7.07점의 범위로, 최소값은 시료 2(X_1 : 6 mm, X_2 : 4.5 min), 최대값은 시료 3(X_1 : 4 mm, X_2 : 6.5 min)에서 나타났다. 연근건조칩의 씹힘성에 대한 평가는 5.29~7.43점의 범위로, 최소값은 시료 7(X_1 : 5 mm, X_2 : 4 min), 최대값은 시료 5(X_1 : 3.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 경도(Y_{11})와 씹힘성(Y_{12})에 미치는 영향을 회귀분석한 결과,

독립변수가 각각 작용하는 Linear 모델이 나타났다. R^2 값은 0.7727, 0.6524, p 값은 0.0027, 0.0146으로 유의적이며, 모델의 적합결여검정 결과, p 값 0.5371, 0.4311로 적합성이 인정되었다. 반응표면상태 결과, 연근건조칩의 경도와 씹힘성은 연근의 두께가 증가할수록 감소하였으며, 건조시간이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 특히, 경도는 두께보다 건조시간의 영향이 더 큰 것으로 나타났으며, 씹힘성은 건조시간보다 두께가 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 두께가 증가할수록 경도에 대한 기호도가 감소하였던 동결 건조 배 스펙 연구(Kang BS & Whang HJ 2012) 결과와 동일한 결과이겠다. Choi JY 등(2021)은 연근스낵의 경도는 소비자들의 기호도에 큰 영향을 미치는 요소로 보았다. 본 연구에서는 연근건조칩의 경도에 대한 평가는 씹힘성에 대한 기호도와 비슷한 경향을 나타내어 서로 영향을 주는 것으로 판단된다.

6) 전반적 기호도

연근건조칩의 전반적 기호도는 5.50~7.57점의 범위로, 최소값은 시료 7(X_1 : 5 mm, X_2 : 4 min), 최대값은 시료 5(X_1 : 3.5 mm, X_2 : 5.5 min)에서 나타났다. 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)이 전반적 기호도(Y_{13})에 미치는 영향을 회귀분석한 결과, 독립변수가 교호작용하는 Quadratic 모델이 나타났다. R^2 값은 0.9344로 설명력이 높았으며, p 값은 0.0056으로 유의적이었다. 모델의 적합결여검정 결과, p 값 0.8387로 적합성이 인정되었다. 반응표면상태 결과, 전반적 기호도는 연근의 두께가 증가할수록 감소하는 곡선의 형태를 보였으며, 건조시간이 증가할수록 증가하다 최고점 이후 완만하게 감소하는 형태를 보였다. 건조시간보다 두께가 전반적 기호도에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 본 실험에서 모든 관능평가 항목의 점수는 두께가 증가할수록 낮아졌으며, 건조시간이 길어질수록 외관에 대한 기호도는 감소하였으나, 맛과 씹힘성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 소비자들은 두께가 얇고 바삭함 식감의 건조칩을 선호하는 것으로 판단된다.

3. 연근건조칩 제조의 최적화

최적의 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)은 canonical 모형의 수치적 최적화와 모형적 최적화를 통해 선정되었다. 수치적 최적화는 목표 범위를 독립변수인 연근의 두께(3.5~6.5 mm)와 건조시간(4~7 min)은 실험범위 내로, 소비자의 제품 선택에 영향을 많이 미치는 종속변수인 관능적 특성에서 항목의 점수가 유의적인 색(color, Y_8), 향미(flavor, Y_9), 단맛(sweetness, Y_{10}), 경도(hardness, Y_{11}), 씹힘성(chewiness, Y_{12}), 전반적 기호도(overall acceptability, Y_{13})를 최대 설정하여

(Table 7), 신뢰수준 95% 구간에서 가장 높은 적합도를 나타내는 최적점을 채택하였다(Fig. 3). 이때 최적의 제조조건은 연근 두께 4 mm, 건조시간 5.7 min이었다. 모형적 최적화는 설정된 종속변수 범위 내에서 그래프가 중첩되는 범위(over plot) 안에서 최적점을 나타냈으며, 최적점에서의 예측되는 모든 종속변수의 결과값은 Fig. 4에 나타내었다.

요약 및 결론

본 연구는 반응표면분석법(response surface methodology; RSM)을 이용하여 에어프라이어를 활용한 최적의 연근건조칩 제조조건을 산출하여 제품의 관능적 특성을 충족하는 제품을 개발하고자 시도되었다. 실험은 반응표면분석법의 중심합성계획법에 따라 설계하였으며, 독립변수는 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2), 종속변수는 이화학적 특성[pH(Y_1), 당도(Y_2), 염도(Y_3), 명도(Y_4), 적색도(Y_5), 황색도(Y_6)]과 관능적 특성[외관(Y_7), 색(Y_8), 향미(Y_9), 단맛(Y_{10}), 경도(Y_{11}), 씹힘성(Y_{12}), 전반적 기호도(Y_{13})]으로 설정하였다. Canonical 모형의 수치적 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 최적 조건을 찾았으며, 소비자의 제품 선택에 영향을 미치는 관능적 특성 점수를 최대(maximum)로 설정하여 산출한 연근의 두께(X_1)와 건조시간(X_2)은 4 mm, 5.7 min이었다. 최적 조건으로 연근건조칩 제조 시 예측되는 이화학적 특성의 값은 pH(Y_1) 5.64, 당도(Y_2) 3.93 °Brix, 염도(Y_3) 3.19%, 명도(Y_4) 63.64, 적색도(Y_5) 5.52, 황색도(Y_6) 18.17이며, 관능적 특성 점수는 외관(Y_7) 6.48점, 색(Y_8) 6.50점, 향미(Y_9) 7.01점, 단맛(Y_{10}) 6.64점, 경도(Y_{11})

Table 7. Optimum constraint values using two numerical methods in the object goal

Constraint name		Goal	Numerical optimization
Independent variables	$X_1^{1)}$	In range	4.00 mm
	$X_2^{2)}$	In range	5.77 min
Responses	$Y_8^{3)}$	Maximize	6.50
	$Y_9^{4)}$	Maximize	7.01
	$Y_{10}^{5)}$	Maximize	6.64
	$Y_{11}^{6)}$	Maximize	6.62
	$Y_{12}^{7)}$	Maximize	6.70
	$Y_{13}^{8)}$	Maximize	6.97

¹⁾ X_1 : thickness, ²⁾ X_2 : drying time, ³⁾ Y_8 : color, ⁴⁾ Y_9 : flavor, ⁵⁾ Y_{10} : sweetness, ⁶⁾ Y_{11} : hardness, ⁷⁾ Y_{12} : chewiness, ⁸⁾ Y_{13} : overall acceptability.

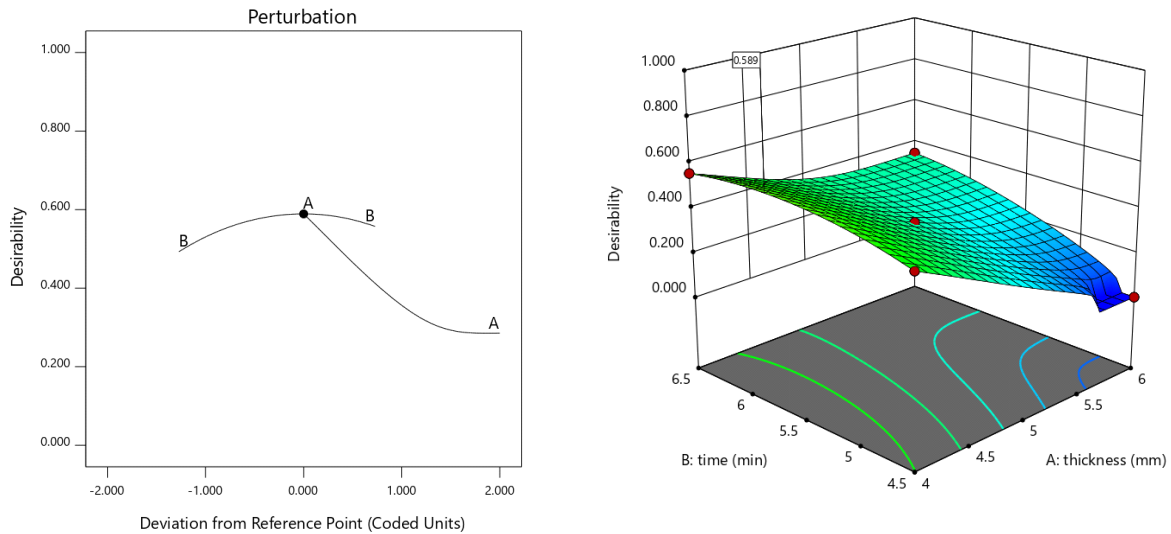


Fig. 3. Perturbation plot and response surface plot for the optimization mixture of lotus root dry chips with different thickness (A) and drying time (B).

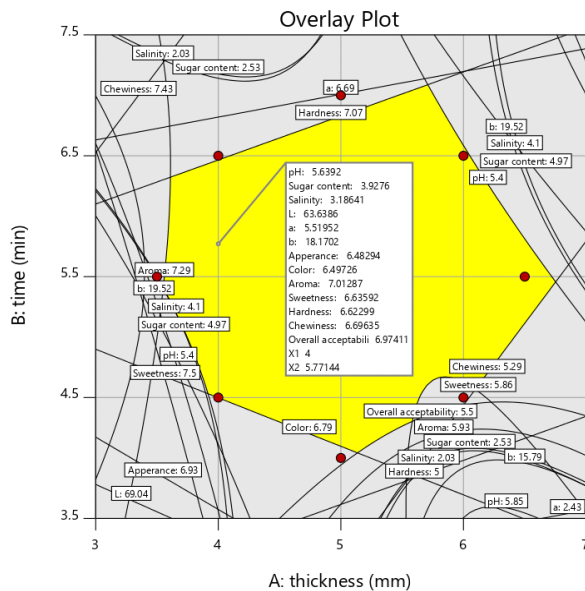


Fig. 4. Perturbation plot and response surface plot for the optimization mixture of lotus root dry chips with different thickness (A) and drying time (B).

6.62점, 씹힘성(Y₁₂) 6.70점, 전반적 기호도(Y₁₃) 6.97점으로 나타났다. 본 연구결과는 에어프라이어를 이용하여 뿌리채소를 활용한 건조칩을 제조하는 최적의 조건을 제시한 것으로 향후 다양한 건조채소를 이용한 스낵제품 개발의 기초자료로 활용될 수 있겠다.

REFERENCES

- Bae MJ, Kim SJ, Ye EJ, Nam HS, Park EM (2008) Study on the chemical composition of lotus root and functional evaluation of fermented lotus root drink. J Korean Soc Food Cult 23(2): 222-227.
- Choi JY, Park JH, Kim JY, Kim JS, Jeong SU, Kim MH, Park SH, Moon KD (2021) Quality characteristics of lotus root (*Nelumbo nucifera* G.) snacks according to heat treatment methods and conditions. Korean J Food Preserv 28(3): 344-355.
- Food Information Statistics System (2016) Current Status of Processed Food Subdivision Market - Dried Fruit and Vegetables. <http://aTFIS.or.kr> (accessed on 9. 7. 2020).
- Food Information Statistics System (2017) Current Status of Processed Food Subdivision Market - Original Snacks. <http://aTFIS.or.kr> (accessed on 9. 7. 2020).
- Food Information Statistics System (2019) Current Status of Processed Food Subdivision Market - Snacks. <http://aTFIS.or.kr> (accessed on 10. 7. 2020).
- Food Information Statistics System (2020) Trend Pick (overseas) - Snacks. <http://aTFIS.or.kr> (accessed on 8. 7. 2020).
- Jang GY, Li Meishan, Lee SH, Woo KS, Sin HM, Kim HS, Lee JS, Jeong HS (2013) Optimization of processing conditions and selection of optimum species for sweet potato chips. Korean J Food & Nutr 26(3): 565-572.

- Jo SJ, Lee JE, Rho JO (2016) Quality characteristics of lotus root tea added with *Gardenia jasminoids* powder and *Rubus coreanus* Miquel powder. J Korean Soc Food Cult 31(6): 597-604.
- Jung LJ, Song YO, Chung LN, Choe EO (2014) *In vitro* antioxidative activity and polyphenol and tocopherol contents of bugak with lotus root, dried laver, or perilla leaf. Korean J Food Cook Sci 30(6): 767-773.
- Jung YH, Han JS, Kim AJ (2019) Quality evaluation and antioxidant activity of inner beauty tea prepared from roasted lotus root and burdock. Asian J Beauty Cosmetol 17(2): 235-245.
- Kang BS, Whang HJ (2012) Quality characteristics of Cheonan Shingo pear and freeze-dried pear snack. Korean J Food & Nutr 25(2): 324-329.
- Kim HS, Lee CH, Oh JW, Lee JH, Lee SK (2011) Quality characteristics of sponge cake with added lotus leaf and lotus root powders. J Korean Soc Food Sci Nutr 40(9): 1285-1291.
- Kim JN, Park YH, Noh YY, Kim Y, Kang MS (2015) Quality characteristics of dried shredded radish and stir-fry dried shredded radish by different drying methods. Korean J Food Cook Sci 31(5): 596-604.
- Kim MJ, Hong SH, Chung LN, Choe EO, Song YO (2014) Develop of lotus root bugak with plasma lipid reduction capacity by addition of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* or green tea as a coloring agent. J Korean Soc Food Sci Nutr 43(3): 333-340.
- Lee MH, Kim MS, Lee LG, Shin HG, Sohn HY (2011) Evaluation of biological activity and characterization of taste and function-enhanced yam chips. Korean J Microbiol Biotechnol 39(2): 153-160.
- Lee SC, Kim SY, Choi SJ, Lee IS, Jung MY, Yang SM, Chae HJ (2010) Effect of soaking and heat treatment conditions on physicochemical and organoleptic quality of lotus root. Korean J Food Sci Technol 42(1): 45-49.
- Mo EK, Kim HY (2016) Effect of lotus root (*Nelumbo nucifera*) on the quality of beef hamburger patties. Korean J Community Living Sci 27(4): 817-829.
- Na KM, Hong JH, Cha WS, Park JH, Oh SL, Cho YJ, Lee WY (2004) Optimization of osmotic dehydration process for manufacturing a dried sweet pumpkin. J Korean Soc Food Sci Nutr 33(2): 433-438.
- Park BH, Cho HS, Bae KY (2008) Quality characteristics of dried noodle made with lotus root powder. Korean J Food Cook Sci 24(5): 593-600.
- Park BH, Kim SD, Jeon ER, Cho HS (2010) Physicochemical and sensory characteristics of tofu prepared with lotus root powder. J East Asian Soc Diet Life 20(4): 516-523.
- Park SH, Hyun JS, Park SJ, Han JH (2004) Characteristics of *Yanggaeng* with lotus root and *Omija*. Korean J Oriental Physiology & Pathology 18(5): 1437-1442.
- Park SH, Hyun JS, Sihn EH, Han JH (2005a) Functional evaluation of lotus root on serum lipid profile and health improvement. J East Asian Soc Diet Life 15(3): 257-263.
- Park SH, Sihn EH, Koo JG, Lee TH, Han JH (2005b) Effects of *Nelumbo nucifera* on the regional cerebral blood flow and blood pressure in rats. J East Asian Soc Diet Life 15(1): 49-56.
- Park SY, Hwang TY, Kim JH, Moon KD (2001) Quality changes of minimally processed lotus root (*Nelumbo nucifera*) with browning inhibitors. Korean J Postharvest Sci Technol 8(2): 164-168.
- Park SY, Lee JE, Yu HH, Chung SS, Rho JO (2019) Optimization of *Yanggaeng* prepared with lotus leaf powder and white bean paste, using response surface methodology. J East Asian Soc Diet Life 29(6): 469-481.
- Ra HN, Park GY, Kim HY, Cho YS, Kim KM (2019) Optimization of the manufacturing process for mandarin dry chip using response surface methodology (RSM). J Korean Soc Food Cult 34(5): 637-644.
- Shin MY, Youn KS, Lee SY, Moon HK, Lee WY (2011) Optimization of vacuum drying conditions for a steamed (pumpkin-) sweet potato slab by response surface methodology. J Korean Soc Food Sci Nutr 40(9): 1314-1320.
- Yu HH (2016) Quality characteristics and antioxidant activity of soymilk added with *Nelumbo nucifera* root powder. Korean J Human Ecol 25(2): 239-249.

Date Received Apr. 2, 2022
 Date Revised May 30, 2022
 Date Accepted May 31, 2022