

반응표면 분석법을 이용한 마키베리 젤리 제조의 최적화

남세현¹ · 김명현² · 한영실^{3*}

¹숙명여자대학교 식품영양학과 박사과정, ²숙명여자대학교 식품영양학과 시간강사, ³숙명여자대학교 식품영양학과 교수

Optimization of the Processing Conditions for Maquiberry Jelly by Response Surface Methodology

Se-Hyun Nam¹, Myung-Hyun Kim² and Young-Sil Han^{3*}

¹Ph. D. Student, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

²Lecturer, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

³Professor, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was undertaken to determine the optimization mixing ratio of maquiberry powder and allulose in the preparation of jelly. The experiment was designed according to the central composite design of response surface methodology (RSM). Quality characteristics and sensory characteristics were evaluated by setting the amounts of maquiberry powder (2~6 g) and allulose (50~150 g) as independent variables. Quality characteristics of 10 samples analyzed showed significant differences in moisture content ($p<0.001$), sugar content ($p<0.001$), color b ($p<0.05$), hardness, chewiness, and gumminess ($p<0.01$). In sensory evaluation, significant values were shown in color ($p<0.001$), flavor ($p<0.01$), taste ($p<0.05$), texture ($p<0.05$), and overall acceptability ($p<0.05$). The optimization mixing ratio was determined to be 4.27 g maquiberry and 110.81 g allulose.

Key words: maquiberry, allulose, jelly, optimization, response surface methodology (RSM)

서 론

마키베리(maquiberry, *Aristotelia chilensis*)는 칠레의 중남부지역과 아르헨티나 서부지역에서 자생하는 상록 관목의 열매로 최근 효능이 알려지면서 국내에서도 수요가 증가하고 있다(Cho NS & Chung HJ 2016; Lee KW 등 2018). 마키베리의 안토시아닌 함량은 메탄올 추출에서 137.60 mg/100 g fresh weight로 다량 함유되어 검붉은 색을 띠며, 폴리페놀 함량은 211.90 mg/100 g dry weight로 항산화 활성이 높은 베리(berry) 중 하나이다(Rubilar M 등 2011; Rojo LE 등 2012).

칠레에서는 식용 외에도 약용으로도 사용하여 염증, 설사, 인후염, 열병, 궤양 등의 민간요법에 이용되어 왔다(Brauch JE 등 2016; Schreckinger ME 등 2010). 마키베리의 기능성으로는 항산화(Ruiz A 등 2010; Chung HJ 2016), 항당뇨(Rajo LE 등 2012), 항염증과 지질 생성 억제(Schreckinger ME 2010) 등이 연구되었다. 현재 우리나라에서는 마키베리를 분말이나 원액의 형태로 섭취하고 있으며, 식품에 적용한

연구로는 설기떡(Cho NS & Chung HJ 2016)과 파운드케이크(Lee HJ 2014), 증편(Lee JA 2020), 요구르트 드레싱(Lee WG 2021) 등으로 블루베리와 아로니아에 비해 연구가 많이 부족하다.

젤리는 20% 내외의 수분을 함유한 당류 기호 식품으로 수분을 결합할 수 있는 겔화제인 펙틴, 젤라틴, 한천, 알긴산 등을 이용하여 만든 저장성이 뛰어난 식품이다(Kang NE 등 2006). 최근 소비자들은 기능성 식품을 이용하여 제조한 젤리를 선호하는 추세이고, 그 제조 원료도 고급화, 다양화되고 있다(Yu OK 등 2008). 기능성 원료를 이용하여 제조한 젤리 연구에는 와송(Lee JY & Jin SY 2021), 생강 효소처리 농축액(Nam DG 등 2020), 땀맹이나무 열매(Lee DH & Chung HJ 2020), 루바브 줄기 착즙액(Ha MS 등 2020) 등 다양한 소재들이 활용되고 있다. 젤리의 제조 과정 중 설탕이 다량 첨가되는데, 당의 과잉 섭취는 비만, 당뇨, 심혈관질환과 같은 만성질환의 위험도를 증가시키는 것으로 나타났다(Ha KH 등 2016).

과당의 이성질체인 알룰로스는 저칼로리의 천연 당류로 건포도, 무화과 등에 소량 존재한다. 알룰로스 감미도는 0.5~0.7, 열량은 0~0.2 kcal/g으로 저칼로리의 천연 당류이다.

* Corresponding author : Young-Sil Han, Tel: +82-2-710-9471, Fax: +82-2-710-9479, E-mail: namsh@sookmyung.ac.kr

알룰로스는 항당뇨 활성(Hayashi N 등 2010) 외 항고지혈증(Matsuo T 등 2001), 항염증(Moller D & Berger J 2003), 신경보호작용(Takata MK 등 2005), 항산화(Suna S 등 2007) 등 다양한 생리적 효과가 있다. 특히 알룰로스는 용해도, 수분활성도, 점도 등 품질 특성이 과당과 매우 유사하여 설탕 대체제로 식품가공 적용이 용이하다. 그러나 알룰로스에 대한 연구는 주로 생산 방법과 생리적 효과에 관한 연구들(Zhang W 등 2016)이고, 식품에 적용하여 특성을 살펴 본 연구로는 백출과 알룰로스를 첨가한 쌀쿠키(Kim BR 등 2021), 알룰로스를 첨가한 머핀(Hwang JY & Lee SM 2018), 가시과래와 알룰로스를 첨가한 양갱과 젤리(Kim DH 등 2019; Kim SJ 등 2019) 등으로 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 생리활성이 높고 천연 색소를 지닌 마키베리 분말과 설탕 대체제로 알룰로스를 사용하여 젤리를 제조하고, 품질 특성과 관능적 특성을 분석한 후, 반응표면 분석법(response surface methodology; RSM)을 통해 마키베리 젤리의 최적 배합비를 도출하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

마키베리 젤리를 제조하는 데 본 실험에서는 마키베리 분말(Boto, Patagonia, Chile), 젤라틴(Geltech. Co., Busan, Korea), 알룰로스(CJ Cheiljedang Co., Inchceon, Korea), 구연산(Sinwon Co., Eumseong, Korea), 정수된 물을 사용하였다.

2. 실험 계획

마키베리 분말을 첨가한 젤리의 모든 실험 계획, data 분석 및 품질의 최적화분석은 Design-Expert version 8(State-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) 프로그램을 사용하였다. 품질의 최적화는 response surface methodology 중 중심합성계획법(central composite design)에 따라 설계하였고, 독립변수로는 마키베리 젤리의 조직감에 가장 큰 영향을 주었던 마키베리 분말과 알룰로스 두 가지를 요인으로 설정하였다. 종속변수로는 마키베리 젤리의 수분함량, 당도, pH, 색도, 조직감은 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 씹힘성(chewiness), 검성(gumminess), 응집성(cohesiveness), 관능적 특성은 색(color), 향미(flavor), 맛(taste), 조직감(texture), 전반적인 기호도(overall acceptance), 투명한 정도(clarity), 단맛 정도(sweetness), 신맛 정도(sourness)를 설정하였다. 마키베리 분말과 알룰로스 첨가량의 최대 및 최소 범위는 마키베리는 2~6 g, 알룰로스는 50~100 g으로 정하였다. 중심합성계획법의 실험점은 정중앙점(0.00, center point), ±a점(axial point), ±1 level점(factorial point)으로 이루어지며, 이러한 실

험점 사이에는 모델 설정 및 적합 결여 검증을 위하여 2개의 반복점을 설정하여 총 10개의 실험점이 형성되었다. 실험 디자인의 재료 혼합 비율은 Table 1과 같다.

3. 마키베리 젤리의 제조

마키베리 젤리의 제조는 물의 총량 400 g 중 1/2인 물 200 g을 냄비에 넣고 70℃까지 가열한 후 마키베리 분말과 알룰로스를 혼입하여 일정 속도로 저어주면서 2분간 용해시켰다. 나머지 물 200 g은 젤라틴을 넣어 실온에서 5분간 용해시켰다. 마키베리와 알룰로스를 가한 용액과 젤라틴을 넣은 용액이 완전히 섞이도록 70℃에서 중탕하여 일정한 속도로 3분 동안 교반하였다. 이 용액에 구연산을 첨가하고, 2분간 용해시켜 실리콘 틀(2.5 × 2.5 × 2.5 cm)에 넣어 실온에서 30분간 식힌 후 뚜껑을 닫고 4℃의 냉장고에서 24시간 균형 실험에 사용하였다.

4. 수분함량 측정

마키베리 젤리의 수분함량은 적외선수분측정기(MB45, Ohaus Corporation, Nanikon, Switzerland)로 시료 1 g을 취하여 105℃에서 3회 반복하여 평균을 구하였다.

5. 당도 및 pH 측정

당도와 pH의 측정은 시료 10 g에 90 mL 증류수를 가하여 충분히 균질화시켜 여과한 후 당도계(Pocket PAL-1, ATAGO, Tokyo, Japan)와 pH meter(pH meter F-51, HORIBA, Kyoto, Japan)로 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

Table 1. Experimental design for preparation of maquiberry jelly

Sample No.	Variable level ingredients				
	Maquiberry powder (g)	Allulose (g)	Gelatin (g)	Water (g)	Citric acid (g)
1	2	50			
2	6	50			
3	2	150			
4	6	150			
5	2	100			
6	6	100	40	400	2
7	4	50			
8	4	150			
9	4	100			
10	4	100			

6. 색도 측정

마키베리 젤리의 색도 측정은 색도계(CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 사용하여 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 각 3회 반복하여 측정된 후 평균값으로 나타내었다. 이때 사용한 표준백색판의 L, a, b 값은 각각 94.47, -0.24, 3.46이었다.

7. 조직감 측정

마키베리 젤리의 조직감은 texture analyzer(TA-XT2, Stable Micro System Ltd, Haslemere, UK)를 이용하여 측정하였다. 분석 조건은 pre-test speed 2.0 mm/sec, test speed 1.0 mm/sec, post test speed 1.0 mm/sec, distance 6.0 mm, time 2(s), trigger force 5.0 g으로 실시하였고, probe는 75mm probe compression aluminium을 사용하였다. 측정 항목은 경도, 부착성, 탄력성, 씹힘성, 검성, 응집성의 항목을 측정하였다.

8. 관능검사

마키베리 젤리의 관능검사는 숙명여자대학교 식품영양학과 대학원생 및 대학생 중 무작위로 선정된 20명을 대상으로 실시하였다. 시료는 4℃의 냉장고에서 24시간 보관된 젤리를 실온에서 1시간 방치한 다음 일정한 크기(2.5 × 2.5 × 2.5 cm)로 준비하여 흰색의 접시에 담아 제공하였다. 관능검사 시 물과 빨는 컵을 함께 제공하여 한 개의 시료를 평가한 뒤 입안을 헹구 평가하도록 하였다. 모든 시료들은 난수표에 의해 3자리 숫자로 표시되었으며, 각각 10개의 시료를 임의 배치 방식으로 제시하였다. 관능검사 항목은 색(color), 향미(flavor), 맛(taste), 조직감(texture), 전반적인 기호도(overall acceptance)에 대하여 측정하였다. Scoring test 중 7점 척도법(7점: 매우 좋다, 1점: 매우 싫다)으로 평가하여 기호도가 높을수록 높은 점수를 주도록 하였다.

9. 통계 분석

마키베리 젤리 제조의 최적화 분석은 Design-Expert version 8 통계 프로그램을 이용하였다. 최적화는 Canonical 모형의 수치 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 마키베리 분말과 알룰로스의 양을 선정하였고, 지점 예측(point prediction)을 통해 최적점으로 선정하였다. 예비실험에서 설정하였던 두 가지 독립변수인 마키베리 분말과 알룰로스의 양에 의하여 각각의 종속 변수로 작용하는 이화학적, 기계적 특성 및 관능적 특성에 미치는 영향을 보도록 하였으며, 변수들 간 관계를 보기 위하여 통계 프로그램의 perturbation plot과 response surface 3D plot을 이용하였다. 수치 최적화는 Canonical model을 기준으로 하는 모델의 계수에 각각의 반응 중 관능검사의 최고

점의 목표 범위로 설정하였다. 아래 식에 준하여 적합도(desirability)를 구하고, 가장 높은 적합도를 나타내는 최적점을 채택하였다.

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left[\prod_{i=1}^n d_i \right]^{\frac{1}{n}}$$

D=overall desirability, d=desirability, n=response.

결과 및 고찰

마키베리 분말과 알룰로스 젤리의 배합 비율을 달리해 제조한 10개 젤리의 실험점에 따른 이화학적 특성과 기계적 특성을 분석한 결과는 Table 2, 반응표면 회귀분석 결과는 Table 3, 반응표면 상태를 나타내는 perturbation plot과 response surface plot은 Fig. 1과 같다.

1. 수분함량

마키베리 젤리 수분함량을 측정한 결과, 수분함량은 54.73~71.55%의 범위로 나타났고, linear model이 결정되었다. 마키베리보다 알룰로스의 첨가량에 따라 마키베리 젤리의 수분함량이 더 크게 영향을 받는 것을 확인할 수 있었으며, 마키베리 분말과 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 수분함량은 낮아졌다($p < 0.001$, $R^2 = 0.8969$). 이러한 결과는 마키베리 분말과 알룰로스의 첨가량이 증가함에 따라 젤리의 전체 고형물 함량이 증가하여 상대적으로 수분함량이 낮아지기 때문인 것으로 보인다. 가시파래 알룰로스 끈약젤리(Kim DH 등 2019), 엘더베리 젤리(Kim SH 2016), 블랙커런트 젤리(Lee WG 2018)에서도 주재료의 첨가량이 증가할수록 수분함량이 낮아져 본 실험 결과와 유사한 경향을 보였다.

2. 당도

당도를 측정한 결과, 0.77~1.90 °Brix 범위로 나타났고, linear model이 결정되었다. 마키베리 분말이 증가할수록 당도는 완만히 높아지고, 알룰로스가 증가할수록 당도가 급격히 높아지는 경향을 보였다($p < 0.001$, $R^2 = 0.9654$). 본 연구의 perturbation plot 및 반응표면 곡선을 분석한 결과, 마키베리 젤리의 당도에 미치는 영향이 마키베리보다 알룰로스가 큰 것으로 확인되었으며, 이것은 과당의 이성질체인 알룰로스의 첨가량에 따라 당도가 유의하게 높아지는 것으로 보인다. 백출첨가 알룰로스 쌀쿠키의 연구에서 백출분말과 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 당도가 높아지고, 백출에 비해 알룰로스 첨가량이 증가할수록 당도가 급격히 높아져서 본 연구 결과와 유사한 결과를 보였다(Kim BR 등 2021).

Table 2. Analysis of predicted model equation for the physical and mechanical characteristics

Sample No.	Variable levels		Responses											
	Maquiberry powder (g)	Allulose (g)	Moisture content (%)	Sugar content (°Brix)	pH	Color value			Texture					
						L	a	b	Hardness	Adhesiveness	springiness	Chewiness	Gumminess	Cohesiveness
1	2	50	71.55	0.80	4.40	23.69	5.06	-1.46	2,093.60	-92.30	0.96	1,812.99	1,892.87	0.90
2	6	50	66.56	0.93	4.42	22.99	4.40	-1.78	2,600.73	-111.93	0.96	2,237.20	2,324.75	0.90
3	2	150	60.04	1.90	4.39	24.51	5.96	-0.63	1,799.97	-90.53	0.96	1,574.82	1,644.29	0.91
4	6	150	54.73	1.90	4.40	23.01	3.82	-1.71	1,833.50	-77.47	0.96	1,567.93	1,632.44	0.89
5	2	100	60.15	1.43	4.41	24.16	5.49	-1.07	1,857.30	-63.37	0.96	1,629.67	1,691.67	0.91
6	6	100	61.29	1.40	4.38	23.88	4.81	-1.98	1,912.90	-40.37	0.98	1,681.42	1,720.06	0.90
7	4	50	70.06	0.77	4.39	23.24	5.51	-1.81	2,248.73	-93.37	0.96	1,958.30	2,036.49	0.91
8	4	150	56.63	1.77	4.40	24.22	4.02	-1.96	1,792.73	-71.60	0.96	1,543.10	1,601.06	0.89
9	4	100	61.57	1.47	4.43	23.80	4.18	-1.97	1,866.00	-81.80	0.96	1,585.83	1,652.98	0.89
10	4	100	64.20	1.50	4.42	24.10	4.40	-2.25	1,906.80	-116.87	0.95	1,630.59	1,718.72	0.90

Table 3. Physical and mechanical properties of maquiberry jelly

Responses	Model	R-squared ¹⁾	F-value	p-value	Equation of on terms of pseudo component
Moisture content	Linear	0.8969	30.4342 ^{****2)}	0.0004	62.678-1.52667A-6.12833B ³⁾
Sugar content	Linear	0.9654	97.7102 ^{***}	<0.0001	1.387+0.016667A+0.511667B
pH	Linear	0.0298	0.1073	0.8997	4.404-0.00333B
L	Linear	0.6318	6.0047 [*]	0.0303	23.76-0.41333A+0.303333B
a	Linear	0.4827	3.2655	0.0996	4.765-0.58A-0.195B
b	Quadratic	0.9157	8.6940 [*]	0.0285	-2.08286-0.385A+0.125B-0.19AB+0.530714A ² +0.170714B ²
Hardness	Quadratic	0.9660	22.7092 ^{**}	0.0049	1,868.537+99.37667A-252.81B-118.4AB+34.42571A ² +170.0557B ²
Adhesiveness	Quadratic	0.3956	0.5236	0.7529	-82.7529+2.738333A+9.666667B+8.1725AB+14.30071A ² -16.3143B ²
Springiness	Quadratic	0.3635	0.4568	0.7936	0.959286+0.003333A+0.006429A ² -0.00357B ²
Chewiness	Quadratic	0.9781	35.8080 ^{**}	0.0020	1,608.153+78.17833A-220.44B-107.775AB+47.44929A ² +142.6043B ²
Gumminess	Quadratic	0.9701	25.9901 ^{**}	0.0038	1,675.908+74.73667A-229.387B-110.933AB+39.89929A ² +152.8093B ²
Cohesiveness	2FI	0.5278	2.2353	0.1847	0.9-0.005A-0.00333B-0.005AB

¹⁾ $0 < R^2 < 1$, close to 1 means significant.

²⁾ * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

³⁾ A: maquiberry powder, B: allulose.

3. pH

마키베리 젤리의 pH를 측정된 결과, 4.38~4.43 범위로 나타났고, linear model이 결정되었다. 알룰로스 첨가량이 증가할수록 pH가 낮아지는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 백출과 알룰로스를 첨가한 쌀쿠키 연구에서도 알룰로

스의 첨가량이 증가할수록 pH가 낮아지는 것으로 나타나, 본 연구와 유사한 결과를 보였다(Kim BR 등 2021).

4. 색도

마키베리 분말 첨가 젤리의 색도를 측정된 결과, 명도를

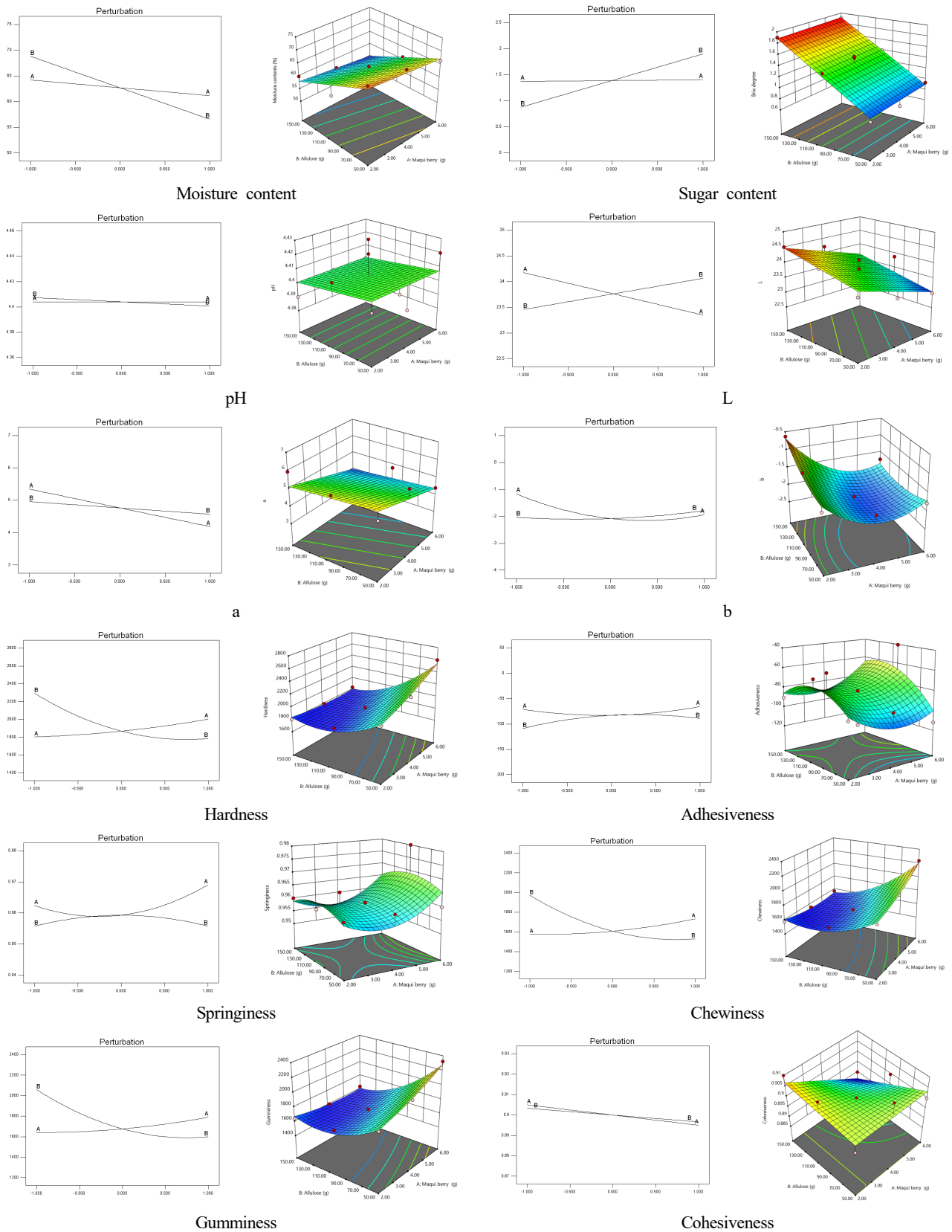


Fig. 1. Perturbation plot and response surface plot for the effect of maqui berry powder (A) and allulose (B) on the physicochemical and mechanical properties of maqui berry jelly.

나타내는 L값은 22.99~24.51, 적색도를 나타내는 a값은 3.82~5.96의 범위를 나타내었다. Perturbation plot 및 반응표면 곡선을 분석한 결과, 마키베리 젤리의 색도에 미치는 영향이 알룰로스보다 마키베리가 큰 것으로 확인되었다. 투명한 액체인 알룰로스보다 검붉은 색인 마키베리의 색상 값에 더 큰 영향을 받은 것으로 보인다. 마키베리에 함유된 안토시아닌은 폴리페놀 화합물의 한 종류로, 식물에서 적색, 자색, 청색을 나타내는 수용성 색소이다(González B 등 2015; Chung HJ 2016). 회귀분석 결과, L값과 a값은 각 요인이 독립적으로 발생하는 linear model이 선택되었다. L값은 마키베리의 첨가량이 감소하고, 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다($p<0.05$, $R^2=0.6318$). 마키베리가 첨가된 증편(Lee JA 2020), 설기떡(Cho NS & Chung HJ 2016)과 요구르트 드레싱 연구(Lee WG 2021)에서도 마키베리 첨가량이 증가할수록 명도는 유의적으로 낮아지는 경향을 보여 본 실험과 유사한 경향을 보였다. a값에서는 마키베리와 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였으나, 유의적인 차이는 없었다. 안토시아닌이 함유된 진한 청색의 과실인 블루베리즙 젤리(Kim BR 등 2012), 오디분말 젤리(Kim AJ 등 2007)와 오디즙 젤리(Moon HK 등 2012)에서도 첨가량이 증가할수록 a값이 낮아지는 결과를 보여 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다. 황색도를 나타내는 b값은 -2.25~-0.63의 범위로 모든 값이 음(-)의 값으로 나타나 마키베리의 안토시아닌 성분인 청색이 영향을 끼친 것으로 보인다(Chung HJ 2016). b값은 독립변수가 교호작용을 하는 quadratic 모델이 선택되었고, 마키베리 첨가량이 증가할수록 b값이 완만하게 낮아지는 경향을 보였다($p<0.05$, $R^2=0.9157$). 마키베리 요구르트 드레싱 연구(Lee WG 2021)에서도 마키베리를 첨가할수록 b값이 유의적으로 낮아지는 음(-)의 값을 가져 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보였다.

5. 조직감

마키베리 젤리의 조직감 특성에 대한 결과에서 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 씹힘성(chewiness), 검성(gumminess)은 독립변수간의 교호작용하는 quadratic 모델이, 응집성(cohesiveness)은 독립변수간의 상호작용하는 two-factor interaction(2FI) 모델이 선택되었다. 반응표면과 perturbation plot에 의하면 마키베리 첨가가 증가할수록 경도, 씹힘성, 검성이 완만하게 높아지고, 알룰로스 첨가가 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. 경도의 R^2 은 0.9660($p<0.001$), 씹힘성의 R^2 은 0.9781($p<0.01$), 검성의 R^2 은 0.9701($p<0.001$)로 유의적이었다. 반면에 부착성과 탄력성, 응집성은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 마키베리 첨가량에 따라 경도가 유의적으로 높아지는 것은 마키베리와 알

룰로스의 첨가량이 증가함에 따라 수분함량이 낮아지고, 마키베리의 식이섬유 함량이 증가하여 경도에 영향을 미친 것으로 생각된다. 마키베리 증편의 연구에서도 마키베리 첨가량이 증가함에 따라 수분함량이 낮아지고 경도가 높아지는 유사한 결과를 나타내었다(Lee JA 2020). 버찌 분말(Kim KH 등 2010)과 오디분말(Kim AJ 등 2007)을 첨가한 젤리의 연구에서도 유사한 결과를 보였는데, 경도 외에도 씹힘성, 검성이 분말 첨가에 의해 유의적으로 높아지는 경향을 보였으며, 탄력성과 응집성은 유의성이 없는 것으로 나타나, 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

6. 관능검사

10개의 마키베리 젤리에 대하여 7점 척도법으로 관능적 품질을 평가한 결과는 Table 4이며, 설정된 반응별 모델링화하여 *F-test*를 통해 유의성을 검증한 결과와 독립변수가 종속변수에 미치는 효과를 살펴보기 위한 회귀식은 Table 5에 제시하였다. 반응표면 상태를 나타내는 perturbation plot과 response surface plot은 Fig. 2와 같다.

마키베리 젤리의 분산분석 결과, 색(color), 향미(flavor), 맛(taste), 조직감(texture), 전반적인 기호도(overall acceptance)는 독립변수간의 교호작용하는 quadratic 모델이 선택되었다.

색의 관능검사 결과 범위는 4.09~6.18로 마키베리 첨가량이 증가할수록 색 기호도가 높아지다가 낮아지는 경향을 보였고, 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 색 기호도가 완만하게 높아지는 경향을 보였다. 2차 회귀식에 의한 R^2 은 0.9972로 모델의 적합성이 인정되었다($p<0.001$). 향미의 관능검사 결과, 3.36~4.45의 범위로 나타났다. Perturbation plot 및 반응표면 곡선에서 마키베리 젤리의 향미 기호도에 미치는 영향이 마키베리가 알룰로스보다 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 마키베리 첨가량이 증가할수록 향미 기호도가 높아지다가 낮아지는 경향을 보였고, 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 향미 기호도가 높아지는 경향을 보였다($p<0.01$, $R^2=0.9663$).

맛에 대한 기호도의 결과 범위는 3.09~5.27로 마키베리와 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 맛의 기호도가 높아지다가 낮아지는 경향을 보였다. 맛 기호도에 미치는 영향은 마키베리가 알룰로스보다 더 큰 것으로 확인할 수 있었고, 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$, $R^2=0.9219$).

조직감 기호도의 결과 범위는 3.09~4.73으로 perturbation plot 및 반응표면 곡선을 분석한 결과, 마키베리 젤리의 조직감 기호도에 미치는 영향이 알룰로스가 마키베리보다 더 큰 것으로 확인할 수 있었고, 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$, $R^2=0.9202$).

전반적인 기호도의 결과 범위는 3.55~5.36으로 마키베리

Table 4. Sensory evaluation properties of maquiberry jelly

Sample No.	Variable levels		Responses							
	Maquiberry powder (g)	Allulose (g)	Color	Flavor	Taste	Texture	Overall acceptance	Clarity	Sweetness	Sourness
1	2	50	4.27	3.36	3.55	3.09	3.55	5.00	3.36	3.36
2	6	50	5.09	3.82	3.64	3.32	3.64	5.09	3.00	3.32
3	2	150	4.27	3.73	3.09	3.36	4.00	5.00	4.27	4.00
4	6	150	5.18	4.09	4.27	3.73	4.00	5.09	4.18	4.00
5	2	100	4.09	3.36	4.00	3.36	4.09	4.64	4.73	4.27
6	6	100	5.09	3.91	4.55	3.64	4.27	5.00	5.00	4.18
7	4	50	6.09	4.09	3.64	4.27	4.00	5.27	3.36	3.00
8	4	150	6.18	4.45	4.00	4.00	4.64	5.27	4.55	4.55
9	4	100	6.18	4.45	5.27	4.73	5.36	6.18	5.27	5.27
10	4	100	6.09	4.27	5.00	4.73	5.27	6.00	5.18	5.27

Table 5. Analysis of predicted model equation for the sensory evaluation of maquiberry jelly

Responses	Model	R-squared ¹⁾	F-value	p-value	Equation of on terms of pseudo component
Color	Quadratic	0.9972	285.9506 ^{***2)}	<0.0001	6.102857+0.455A+0.03B+0.0225AB-1.48071A ² +0.064286B ²³⁾
Flavor	Quadratic	0.9663	22.9662 ^{**}	0.0048	4.301429+0.228333A+0.166667B-0.025AB-0.60786A ² +0.027143B ²
Taste	Quadratic	0.9219	9.4369 [*]	0.0247	4.941429+0.303333A+0.088333B-0.2725AB-0.47286A ² -0.92786B ²
Texture	Quadratic	0.9202	9.2245 [*]	0.0257	4.595714+0.146667A+0.068333B+0.035AB-0.96143A ² -0.32643B ²
Overall acceptance	Quadratic	0.9304	10.6939 [*]	0.0197	5.14+0.045A+0.241667B-0.0225AB-0.785A ² -0.645B ²

¹⁾ $0 < R^2 < 1$, close to 1 means significant.

²⁾ * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

³⁾ A: maquiberry powder, B: allulose.

와 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 높아지다 낮아지는 경향으로 유의적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$, $R^2 = 0.9304$).

마키베리와 알룰로스의 함량이 너무 적거나 많으면 오히려 전반적인 기호도가 떨어지는 결과를 보였다. 생리활성을 지닌 재료를 첨가하여 젤리 제조 시 부재료의 지나친 첨가는 기호도를 낮출 수 있기 때문에 제조 조건의 최적점을 찾는 것이 중요하다.

7. 마키베리 젤리의 제조 조건 최적화

마키베리 젤리의 제조 조건 최적화를 위해 마키베리 분말과 알룰로스의 배합 조건은 Canonical 모형의 수치 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 선정하였다. 독립변수인 마키베리 분말과 알룰로스의 범위 내에서 모델화에 의해 결정된 반응식을 이용하여 만족하는 수치점(numerical point)을 예측한 결과, 마키베

리 분말 4.27 g, 알룰로스 110.81 g으로 도출되었다(Fig. 3). 이와 같이 최적의 배합비로 제조한 마키베리 젤리는 품질과 기호도 측면에서 우수하고 경쟁력이 있을 것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구는 항산화 활성이 우수한 마키베리 분말과 설탕 대체 감미료로 많이 사용하는 알룰로스를 첨가한 젤리의 품질 특성 및 관능의 최적화를 위해 중심합성계획법에 따라 계획하였다. 반응표면분석법을 통해서 마키베리 젤리의 품질 특성을 실험하였고, 반응표면분석법을 통해 관능 최적의 배합 레시피를 산출하였다. 품질 특성에서 수분함량, 당도, pH, L, a값은 linear 모델, b값, 경도, 부착성, 탄력성, 응집성, 검성은 quadratic 모델, 씹힘성은 2FI 모델이 선정되었다. 수분함량은 마키베리 분말과 알룰로스 첨가량이 증가할수록 낮

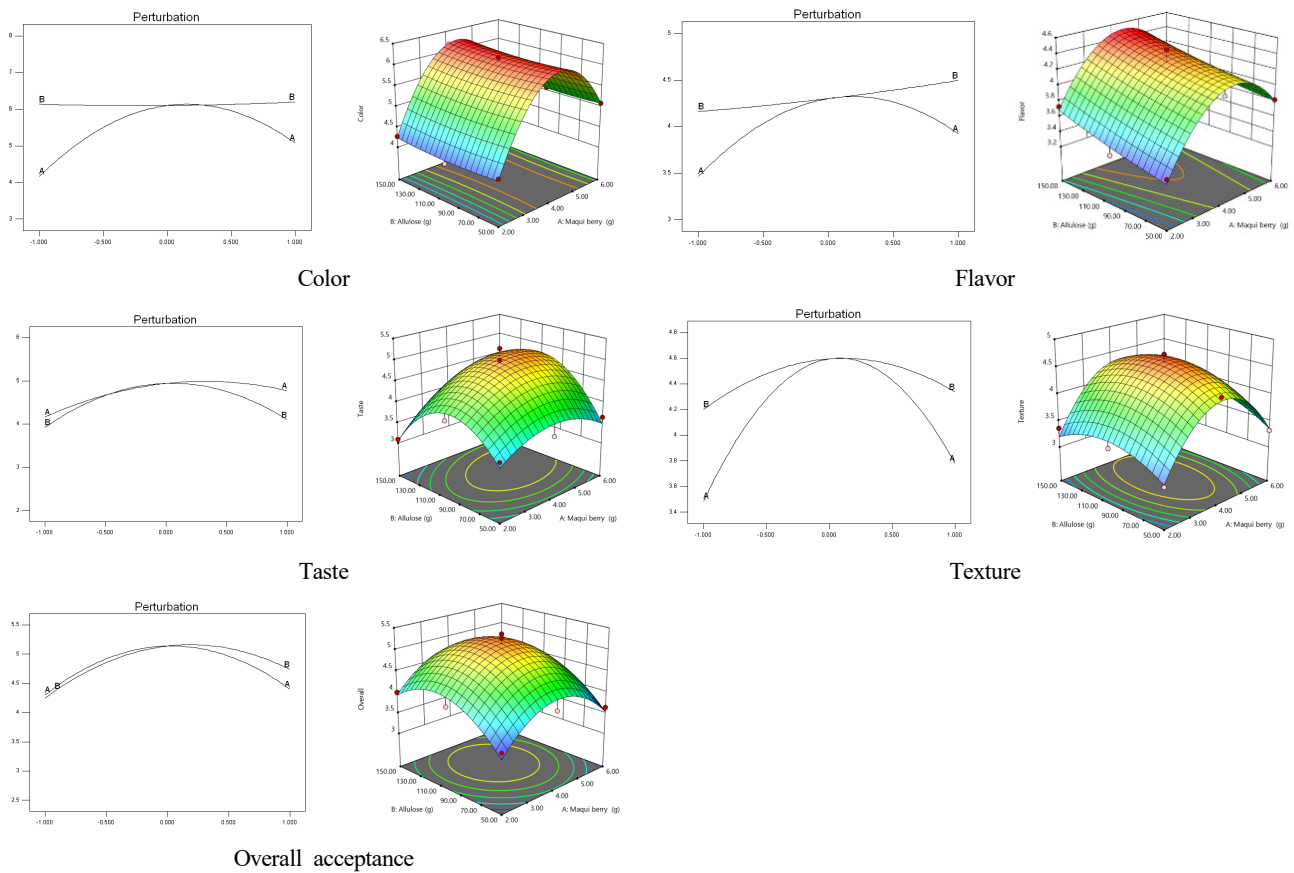


Fig. 2. Perturbation plot and response surface plot for the effect of maqui berry powder (A) and allulose (B) on the sensory characteristics of maqui berry jelly.

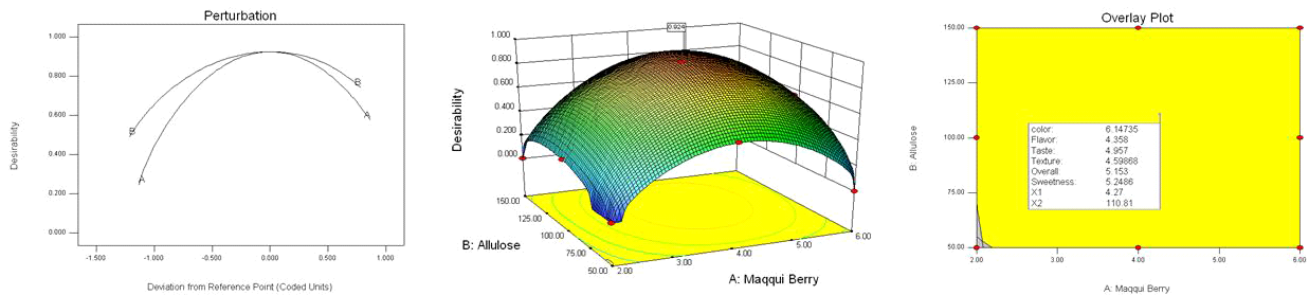


Fig. 3. Perturbation plot, response surface plot, overly plot for common area for optimization mixture on the the desirability of maqui berry jelly with the addition of maqui berry powder (A) and allulose (B).

아졌고($p < 0.001$), 당도는 마키베리 분말과 알룰로스 첨가량이 증가할수록 높아졌다($p < 0.001$). 마키베리 젤리의 색도 측정 결과, L값과 b값은 마키베리 첨가량이 감소하고, 알룰로스 첨가량이 증가할수록 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 조직감에서 경도, 씹힘성, 검성은 마키베리 첨가량이 증가하고, 알룰로스 첨가량이 감소할수록 높아졌다($p < 0.01$). 관능검사에서 모든 관능특성은 quadratic model로 결정되었고, 투명함 정도와 신맛을 제외한 색($p < 0.001$), 향미($p < 0.01$), 맛($p < 0.05$),

조식감($p < 0.05$), 전반적인 기호도($p < 0.05$)에서 유의적인 결과를 보였다. 마키베리 분말의 첨가량이 증가할수록 마키베리 젤리의 모든 관능검사 항목이 높아지다가 낮아지는 경향을 보였다. 알룰로스의 첨가량이 증가할수록 마키베리 젤리의 색과 맛의 기호도가 높아졌고, 나머지 모든 관능검사 항목에서는 기호도가 높아지다가 다시 낮아지는 경향을 보였다. 반응표면 분석법으로 산출한 마키베리 젤리의 최적 배합비는 마키베리 분말 4.27 g과 알룰로스 110.81 g이었다. 본 연구를

통해 생리 활성이 있는 마키베리와 설탕을 대체한 알룰로스를 활용한 식품의 개발 가능성을 볼 수 있었다. 마키베리와 알룰로오스의 최적 배합비로 젤리가 개발되면 기능성과 품질, 기호도가 우수한 건강 지향적인 식품으로서 이용 가능성이 높을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Brauch JE, Buchweitz RM, Schweiggert R, Carle R (2016) Detailed analyses of fresh and dried maqui (*Aristoteliachilensis* (Mol.) Stuntz) berries and juice. *Food Chem* 190: 308-316.
- Cho NS, Chung HJ (2016) Quality characteristics and antioxidant activity of sulgidduk added with maquiberry powder. *Korean J Food Preserv* 23(7): 945-952.
- Chung HJ (2016) Comparison of bioactive constituents and biological activities of aronia, black currant, and maquiberry. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45(8): 1122-1129.
- González B, Vogel H, Razmilic I, Wolfram E (2015) Polyphenol, anthocyanin and antioxidant content in different parts of maqui fruits (*Aristotelia chilensis*) during ripening and conservation treatments after harvest. *Industrial Crops Prod* 76: 158-165.
- Ha KH, Joung HJ, Song YJ (2016) Intake of dietary sugar and its influence on chronic disease in the Korean population. *Food Science and Industry* 49(3): 2-11.
- Ha MS, Kim JH, Lee YJ, Chun SS (2020) Quality characteristics of jelly with rhubarb (*Rheum rhaponticum*) stem juice. *Korean J Food Nutr* 33(1): 49-57.
- Hayashi N, Iida T, Yamada T, Okuma K, Takehara I, Yamamoto T (2010) Study on the postprandial blood glucose suppression effect of D-psicose in borderline diabetes and the safety of long-term ingestion by normal human subjects. *Biosci Biotechnol Biochem* 74(3): 510-519.
- Hwang JY, Lee SM (2018) Studies on the characteristics of muffins prepared with allulose. *Korean J Food Nutr* 31(1): 195-201.
- Kang NE, Lee IS, Cho MS (2006) Physicochemical and sensory quality characteristics of jelly prepared with various levels of resistant starch. *Korean J Food Nutr* 19(4): 532-538.
- Kim AJ, Yuh CS, Bang IS, Park HY, Lee GS (2007) An investigation the preparation and physicochemical properties of oddi jelly using mulberry fruit powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 20(1): 27-33.
- Kim BR, Joo NM, Kim AJ (2012) The optimization of jelly with blueberry juice using response surface methodology. *Korean J Food Nutr* 25(1): 17-25.
- Kim BR, Lee IY, Joo NM (2021) Evaluation of antioxidant properties of *Atractylodes macrocephala* Koidzumi, and application to rice cookies. *Korean J Food Cookery Sci* 37(1): 9-20.
- Kim DH, Kim SJ, Kim MR (2019) Physicochemical properties and antioxidant activities of allulose Konjac jelly added with *Enteromorpha prolifera*. *Korean J Food Nutr* 48(9): 967-976.
- Kim KH, Lee KH, Kim SH, Kim NY, Yook HS (2010) Quality characteristics of jelly prepared with flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. Wils.) fruit powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(1): 110-115.
- Kim SH (2016) Survey on actual situation and importance of use of snacks and development of jelly added with elderberry. Ph D Dissertation Daegu Catholic University, Daegu. pp 56-57.
- Kim SJ, Kim DH, Kim MR (2019) Physicochemical properties and antioxidant activities evaluation of allulose yanggaeng containing *Enteromorpha prolifera*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 48(9): 977-986.
- Lee DH, Chung HJ (2020) Quality characteristics and antioxidant activities of jelly containing honeyberry powder. *Korean J Food Preserv* 27(1): 111-118.
- Lee HJ (2014) Antioxidant activity and properties characteristics of pound cakes prepare using freeze dried maquiberry (*Aristotelia chilensis*) powder. *Korean J Food Nutr* 27(6): 1067-1077.
- Lee JA (2020) Quality characteristics of Jeungpyun added with maquiberry powder. *Culi Sci & Hos Res* 26(12): 247-256.
- Lee JY, Jin SY (2021) Quality and antioxidant properties of jelly according to addition of *Orostachys japonicus*. *Korean J Food Nutr* 34(1): 15-25.
- Lee KW, Je HJ, Jung TH, Lee YL, Choi JH, Hwang HJ, Shin KO (2018) Comparison of components and antioxidant activity of cherry, aronia, and maquiberry. *Korean J Food Nutr* 31(5): 729-736.
- Lee WG (2018) Quality Characteristic and antioxidant properties of gelatin jelly incorporated with black currant (*Ribes*

- nigrum* L.) powder. *Culi Sci & Hos Res* 24(3): 113-120.
- Lee WG (2021) Quality characteristics and antioxidant activity of yogurt dressing containing maquiberry powder. *Culi Sci & Hos Res* 27(1): 100-108.
- Matsuo T, Baba Y, Hashiguchi M, Takeshita K, Izumori K, Suzuki H (2001) Dietary D-psicose, a C-3 epimer of D-fructose, suppresses the activity of hepatic lipogenic enzymes in rats. *Asia Pac J Clin Nutr* 10(3): 233-240.
- Moller D, Berger J (2003) Role of PPARs in the regulation of obesity-related insulin sensitivity and inflammation. *Int J Obes* 27(3): 17-21.
- Moon HK, Lee SW, Moon JN, Yoon SJ, Lee S, Kim GY (2012) Quality characteristics of jelly added with mulberry juice. *Korean J Food Cookery Sci* 28(6): 797-804.
- Nam DG, Kim MN, Im PR, Choi JS, Choi AJ (2020) Quality properties of jelly using ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) concentrate prepared with enzymatic hydrolysis. *Korean J Food Cookery Sci* 32(3): 233-242.
- Rajo LE, Ribnicky D, Logendra S, Poulev A, Rojas-Silva P, Kuhn P, Raskin I (2012) *In vitro* and *in vivo* anti-diabetic effects of anthocyanins from maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *Food Chem* 131(2): 387-396.
- Rojo LE, Ribnicky D, Logendra S, Poulev A, Rojas-Silva P, Kuhn P, Dorn R, Grace MH, Lila MA, Raskin I (2012) *In vitro* and *in vivo* anti-diabetic effects of anthocyanins from maqui berry (*Aristotelia chilensis*). *Food Chem* 131(2): 387-396.
- Rubilar M, Jara C, Poo Y, Acevedo F, Gutierrez C, Seneiro J, EShene C (2011) Extracts of maqui (*Aristotelia chilensis*) and mura (*Ugni molinae* Turcz.): Source of antioxidant compounds and α -glucosidase/ α -amylase inhibitor. *J Agric Food Chem* 59(5): 1630-1637.
- Ruiz A, Hermosin-Gutierrez I, Mardones C, Vergara C, Herlitz E, Vega M, Dorau C, Winterhalter P, Von Baer D (2010) Polyphenols and antioxidant activity of calafate (*Berberis microphylla*) fruits and other native berries from Southern Chile. *J Agric Food Chem* 58(10): 6081-6089.
- Schreckinger ME, Wang J, Yousef G, Lila MA, Gonzalez E, Mejia EG (2010) Antioxidant capacity and *in vitro* inhibition of adipogenesis and inflammation by phenolic extracts of *Vaccinium floribundum* and *Aristotelia chilensis*. *J Agric Food Chem* 58(16): 8966-8976.
- Suna S, Yamaguchi F, Kimura S, Tokuda M, Jitsunari F (2007) Preventive effect of D-psicose, one of rare ketohexoses, on di- (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)-induced testicular injury in rat. *Toxicol Lett* 173(2): 107-117.
- Takata MK, Yamaguchi F, Nakanose Y, Watanabe Y, Hatano N, Tsukamoto I (2005) Neuroprotective effect of D-psicose on 6-hydroxydopamine-induced apoptosis in rat pheochromocytoma (PC12) cells. *J Biosci Bioeng* 100(5): 511-516.
- Yu OK, Kim JE, Cha YS (2008) The quality characteristics of jelly added with Bokbunja (*Rubus coreanus* Miquel). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37(6): 792-797.
- Zhang W, Yu S, Zhang T, Jiang B, Mu W (2016) Recent advances in D-allulose: Physiological functionalities, applications, and biological production. *Trends Food Sci Technol* 54: 127-137.

Date Received Aug. 24, 2021
Date Revised Nov. 4, 2021
Date Accepted Nov. 11, 2021