반응표면분석법을 이용한 천년초 분말 첨가 머핀 제조 조건의 최적화

김수정 · 정복미* · 주나미

숙명여자대학교 식품영양학전공, *전남대학교(여수) 영양식품학전공

Optimization of Muffin with *Opuntia humifusa* Powder using Response Surface Methodology

Soojeong Kim, Bok-mi Jung* and Nami Joo

Dept. of Food & Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

*Major in Food Science and Nutrition, Chonnam National University, Jeonnam 550-749, Korea

Abstract

The objective of this study was to determine the optimum mixing ratio of *Opuntia humifusa* powder and sugar in the preparation of muffin. The optimal sensory composite recipe was determined by following the central composites for muffin with different levels of *Opuntia humifusa* powder (A) and sugar (B). The analysis was performed using the response surface methodology, and the sensory evaluation was performed with the data. Ten experimental recipes, including two with reference points in the composition, were selected. The compositional and functional properties were measured, and the physical and sensory values were applied to the mathematical models. Perturbation plots showed the effects of each ingredient on the final product. Measurements showed significant values in lightness ($p<0.05$), sweetness ($p<0.05$), hardness ($p<0.05$), gumminess ($p<0.05$) and cohesiveness ($p<0.01$). The sensory measurements showed significant values in color ($p<0.05$), flavor ($p<0.05$), appearance ($p<0.05$), softness ($p<0.05$) and overall quality ($p<0.05$). Based on the numerical and graphical methods, the optimal formulation was determined to be 6.10 g of *Opuntia humifusa* powder and 82.61 g of sugar.

Key words: *Opuntia humifusa* powder, muffin, sensory evaluation, optimization, response surface methodology

서론

천년초(*Opuntia humifusa*)는 선인장과 식물로 부채선인장아과(Opuntioideae) 부채선인장(*Opuntia* 속)으로 부르며, 줄기의 형태가 손바닥과 비슷하여 손바닥 선인장으로 불린다. 제주의 백년초와 달리 한국 토종 선인장으로 영하 20℃의 혹한과 척박한 땅에서도 생존이 가능해, 수년에서 수십년의 경작이 가능한 다년생 식물이다(Kim MG 2007). 천년초는 페놀성 물질과 플라보노이드 외에도 탄수화물, 아미노산, 비타민, 칼슘 등이 함유되어 있으며, 특히 칼슘이 식물성 식품으로는 상당히 많이 함유되어 있다(Yoon 등 2009; Choi JH 2010; Lee & Lee 2010). 또한 천년초는 기관지, 천식, 기침, 폐질환, 위염, 변비, 장염, 신장염, 고혈압, 당뇨, 심장병, 신경통, 관절염

등에 효능이 있는 것으로 알려져 있으며, 액즙을 마시면 이뇨 효과, 장운동의 활성화 및 식욕증진 효능이 있고, 민간요법으로는 피부질환, 류마티스 및 화상치료에 사용되어 왔다(Kim TJ 1996). 천년초에 대한 국내의 연구로서는 백년초에 대한 연구가 대부분이었으며, 천년초의 생리활성에 관한 연구로는 천년초 줄기의 항균, 항산화 및 항암효과에 관한 연구(Jung 등 2012), 천년초 줄기의 물 추출물의 항산화 활성 및 아염화탄소로부터 간 손상을 예방하는 효과(Park 등 2005), 천년초 추출물의 항산화 효과(Lee 등 2005) 등이 있는 것으로 보고되었다. 이러한 천년초를 이용한 가공제품에 관한 연구로는 천년초 열매 분말을 첨가하여 제조한 생면의 품질특성과 저장성(Jung BM 2010), 천년초 분말 첨가 식빵의 노화 억제 효과(Kim 등 2007), 천년초 분말을 첨가한 젤리의 품질특성(Cho

* Corresponding author: Nami Joo, Dept. of Food & Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea. Tel: +82-2-710-9471, Fax: +82-2-710-9479, E-mail: yoonk0704@naver.com

& Choi 2009), 천년초 첨가 증편의 품질 특성(Kim & Hong 2009) 등에 불과하다.

최근에는 식생활 형태의 서구화로 간편하게 식사를 해결하는 사람들이 증가하면서 다양한 빵과 케이크의 소비가 증대되고 있다(Heo 등 2010; Jeon 등 2003). 특히 머핀(muffin)은 주원료인 우유, 달걀 등을 혼합하여 구워내기 때문에 영양가가 우수하며 비교적 만들기 쉬워 아침식사 및 간식 대용으로 많이 이용되고 있는 일반적인 과자 종류의 하나로, 제빵 시 필요로 하는 글루텐 함량에는 식빵만큼 큰 영향을 받지 않으며, 제조 시 다른 재료들과의 혼합이 용이하므로 다양한 제품 개발이 가능하다(Park & Lim 2007; Ahn & Yuh 2004). 이러한 장점을 지닌 머핀에 기능성 재료를 첨가한 선행 연구로는 표고버섯 첨가 찹쌀머핀의 최적화 및 품질특성(Kim & Joo 2012), 현미 분말 첨가에 의한 머핀의 품질 증진 효과(Jung & Cho 2011), 반응표면분석에 의한 덕음 모시풀잎 가루 첨가 머핀의 품질특성(Lee 등 2010) 등이 보고되어 있지만 아직까지 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 다양한 생리활성 기능을 갖는 기능성 식품 개발의 일환으로 여러 번의 예비 실험을 통해 관능적으로 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단된 천년초 분말과 설탕의 양을 달리 첨가한 머핀을 제조, 물리적 특성 및 관능적 검사를 통해 최적 배합비를 도출하고, 반응표면분석법(RSM: Response Surface Methodology)을 이용해 천년초 분말 첨가 머핀의 관능적 최적점을 갖는 레시피를 확립하여 기능성 머핀으로서의 상품가능성을 평가해 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용된 재료는 천년초 분말(라파엘농장, 전남 여수), 통밀(농협우리밀, 국산), 설탕(백설, 국산), 우유(서울우유, 국산), 베이킹 파우더(초야식품, 국산), 무염버터(서울우유, 국산), 달걀(영림축산, 국산), 꽃소금(백설, 국산)을 사용하였다.

2. 천년초 분말의 항산화능

1) 총 페놀 함량

천년초 분말의 총 페놀 함량은 Singleton 등(1999)의 Folin-Ciocalteu법을 변형한 Liu 등(2002)과 Cho 등(2008)의 방법으로 분석하여 측정하였다. 우선 천년초 분말 50 g에 70% ethyl alcohol을 500 mL를 넣은 후 85℃에서 3시간 환류추출(reflux extraction)을 2회 반복 후 Whatman No.2 filter paper로 2회 반복 여과하였다. 추출물은 rotary evaporater(EYELA Co., N-1000,

Tokyo, Japan)로 농축한 후 deep freezer(New Brunswick Scientofoc Co., England)를 이용하여 -70℃에서 48시간 동결시키고, 36시간 동안 동결건조(Freezer Dryer, Operon Eng Co., Seoul, Korea)하였다. 건조된 시료는 막자사발을 이용하여 분쇄한 후 50 mesh 표준 망체를 통과시켜 분말화한 후 0.1 g을 취하고 100 mL의 ethyl alcohol을 가해 시료로 사용하였다.

증류수 0.5 mL를 가한 시험관에 시료 125 μ L를 넣고 Folin Ciocalteu Phenol Reagent(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 125 μ L를 가해 1분간 교반하였다. 6분 후 7% Na₂CO₃ 용액 1.25 mL를 첨가하고, 증류수 1 mL로 희석하여 1분간 교반한 후, 90분 동안 암소에 정치한 다음 분광광도계(V-530 UV/VIS Spectrophotometer, JAS Co., Japan)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량은 gallic acid(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 분석하여 작성된 표준 검량선에 대입하여 산출하였다.

2) DPPH 자유 라디칼 소거능

천년초 분말의 자유 라디칼 소거능은 Blois의 방법을 응용하여 측정하였다(Blois MS 1958). 시료 용액은 총 폴리페놀 함량 측정에 이용한 것과 같은 것을 사용하였으며, 시료용액 990 μ L를 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) solution(1.5×10^{-4} mM) 330 μ L와 혼합하여 암소, 실온에서 30분간 방치하여 반응시킨 후 분광광도계(V-530 UV/VIS Spectrophotometer, JAS Co., Japan)로 517 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 다음 식을 통해 DPPH 라디칼 소거능 값을 구하였다.

$$\text{DPPH 자유 라디칼 소거능(\%)} = \left(1 - \frac{\text{실험구의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}}\right) \times 100$$

3. 천년초 분말 첨가 머핀 제조 실험 계획

천년초 분말 첨가 머핀의 모든 실험디자인, 데이터 분석 및 품질의 최적화 분석은 Design Expert 8(Stat-Easy Co., Minneapolis, MN, USA) 프로그램을 사용하였다. 품질의 최적화는 response surface methodology 중 중심합성계획법(central composite design)에 따라 설계하였다. 독립변수는 천년초 분말과 설탕 함량을 2가지 요인으로 설정하였고, 예비실험을 거쳐 각 요인의 최소 및 최대 범위를 천년초 분말은 2~10 g, 설탕은 60~100 g으로 설정하였다. 종속변수로는 물리적 특성인 색도(L, a, b)와 조직감 항목인 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 씹힘성(chewiness), 검성(gumminess), 응집성(cohesiveness), 그리고 당도 및 관능적 특성인 색(color), 향(flavor), 외관(appearance), 부드러움(softness), 전반적인 기호도(overall quality)를 측정하였다. 중심합성계획법에 의한 실험점은 정중앙점(0.0)과 $\pm \alpha$ 점(axial point), ± 1 level점(factorial point)으로 이루어지

Table 1. Experimental design for muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder by response surface design

Sample No.	Factors		Variable level ingredient					
	<i>Opuntia humifusa</i> powder (g)	Sugar (g)	Milk (g)	Baking powder (g)	Salt (g)	Butter (g)	Whole egg (g)	Whole wheat flour (g)
1	2.00 (-1) ¹⁾	60.00 (-1)						
2	10.00 (+1)	60.00 (-1)						
3	2.00 (-1)	100.00 (+1)						
4	10.00 (+1)	100.00 (+1)						
5	2.00 (-1)	80.00 (0)						
6	10.00 (+1)	80.00 (0)	130	8	1	80	60	200
7	6.00 (0)	60.00 (-1)						
8	6.00 (0)	100.00 (+1)						
9	6.00 (0)	80.00 (0)						
10	6.00 (0)	80.00 (0)						

¹⁾ Code variables.

며, 이러한 실험 점들 사이에는 모델 설정 및 적합 결여 검증 을 위한 반복점이 존재한다(Park & Jang 2007). 이에 따라 실험점은 10개가 설정되었으며, replication 설정을 통해 2개의 반복점이 선택되었다. 완성된 실험 디자인의 재료 혼합 비율 은 Table 1과 같다.

4. 천년초 분말 첨가 머핀 제조

천년초 분말 첨가 머핀 제조는 머핀 제조 방법에 준하고 (Nicol A 1995), 배합비는 Table 1과 같다. 밀가루, 천년초 분말, 베이킹 파우더, 우유를 3번 체질하여 두고, 버터는 상온에 두어 부드럽게 만든 후 버터와 소금을 1분간 반죽기(Model K5SS, Kitchen Aid Co. Joseph, Michigan, USA)에 넣고 크림 상태로 만든다. 버터에 설탕을 3회 걸쳐 나누어 넣어 저어준 후, 달걀 흰 것을 3회에 걸쳐서 나누어 넣으면서 3분 동안 반죽이 윤이 날 때까지 만든다. 혼합하는 동안 1분마다 3차례에 걸쳐 믹싱 볼에 붙은 반죽을 긁어내려 반죽을 균일한 상태로 만든다. 체에 내린 재료들과 물을 재빨리 섞어 반죽한 후, 유산지를 깐 머핀 컵에 80 g씩 분할하여 180℃로 예열된 오븐에서 25분간 구워 낸 후 상온에 방치하여 시료로 사용하였다.

5. 천년초 분말 첨가 머핀의 물리적 특성 측정

1) 색도

각 시료별 머핀의 색도는 color difference meter(Colormeter CR-300, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 L(lightness, 명도), a(redness, 적색도), b(yellowness, 황색도)로 나타내었으

며, 각 시료는 3회 반복 측정하여 그 평균값으로 나타내었다. 이 때 사용한 표준백판(standard plate)의 L값은 96.87, a값은 +0.51, b값은 +1.77로 보정한 후 사용하였다.

2) 조직감

머핀의 조직감은 texture analyzer(TA.XT Express v2.1, London, England)를 사용하여 경도, 부착성, 탄력성, 씹힘성, 검성, 응집성 등을 측정하였다. 각 시료는 가로 3 cm, 세로 3 cm, 높이 2 cm로 하여 3회 반복 측정하였다. 결과 값은 Stable Micro System(Expression, TA.XT Express 2.1, London, England) 프로 그램을 사용하여 얻었다. 측정 조건은 pre-test speed: 5.0 mm/sec, test speed: 3.0 mm/sec, post-test speed: 3.0 mm/sec, distance 70%, time 2.0 s, trigger force 10 g으로 실시하였고, 측정 시 사용한 probe는 compression platens(75 mm Ø aluminum)를 사용하였다(Ko & Joo 2009).

3) 당도

천년초 분말 첨가 머핀의 당도는 0~54% 범위를 갖는 당도계(PAL-2, ATAGO Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 분석을 위해서 5 g의 시료와 10배의 증류수를 넣고 5분 동안 hot plate & stirrer(MS300HS, MOTOPS Co., Korea)에 교반을 시켜 3회 반복 측정하였다.

6. 천년초 분말 첨가 머핀의 관능적 특성 측정

제조한 천년초 분말 첨가 머핀에 대한 관능검사는 식품영양학과 대학원생 중에서 훈련된 패널 15명을 선정하여 이들에게 실험의 목적과 취지를 설명한 후 실험에 응하도록 하였

다. 10개의 시료를 난수표가 표시된 백색의 동일한 접시에 담아 제공하였으며, 한 개의 시료를 먹고 나면 반드시 생수로 입안을 행군 후 다른 시료를 평가하도록 하였다. 관능검사 항목은 색(color), 향(flavor), 외관(appearance), 부드러움(softness), 전반적 기호도(overall quality)에 대한 특성으로 7점 척도법으로 평가하여 선호도가 높을수록 상위 점수를 주도록 하였다.

7. 천년초 분말 첨가 머핀의 최적화 분석

천년초 분말 첨가 머핀의 품질특성 및 성분들 간의 상호작용과 경향을 알아보기 위하여 Design Expert 8.0 프로그램의 ANOVA test 및 회귀분석을 이용하였으며, model의 적합성 여부는 *F*-test로 유의성을 검증하였다. 각 성분들의 반응을 보기 위해서 perturbation plot과 response surface 3D plot을 이용하였다.

천년초 분말 첨가 머핀의 최적화는 canonical 모형의 수치 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 천년초 분말, 설탕의 양을 선정하였고, 그때의 지점을 지점예측(point prediction)을 통해 최적점으로 선정하였다. 수치 최적화를 통해 제시된 최적점 중에서 다음의 식에 기준하여 적합도(desirability)를 구하고, 가장 높은 적합도를 나타내는 최적점을 채택하였다. 다음 식에서 *d*는 각각의 desirability, *n*은 response의 수를 의미하며, *D*는 overall desirability를 의미한다.

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

D=overall desirability, *d*=desirability, *n*=response의 수

결과 및 고찰

1. 천년초 분말의 항산화능

1) 총 페놀 함량

본 연구에서는 폴리페놀 화합물 중 gallic acid를 표준물질로 하였고, 분광광도계를 이용하여 표준물질 검량선을 작성하였다. 검량선에 시료의 흡광도를 대입하여 총 페놀 함량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 천년초 분말의 총 페놀 함량은 6.64±0.54 mg/g으로 나타났다. Yoon 등(2009)의 보고에 의하면 천년초의 부위별 총 페놀 함량이 뿌리에서 4.69 g/100 g, 과육에서 4.49 g/100 g, 종자에서 4.46 g/100 g 그리고 줄기에서 4.46 g/100 g으로 보고하였으며, Han 등(2007)의 보고에 의하면 천년초 선인장의 총 폴리페놀 함량은 열매 3.14 g/100 g, 줄기 2.93 g/100 g로 나타내었다. Kim MJ(2011)의 연구에서는 항산화 능력이 높은 식품으로 알려진 자두, 포도,

Table 2. The contents of total phenol, and DPPH free radical scavenging activity in the *Opuntia humifusa* powder (Mean±S.D.)

Composition	Content
Total phenol (mg/g)	6.64±0.54
DPPH free radical scavenging activity (%) ¹⁾	90.12±0.42

¹⁾ Concentration of sample solution: 500 ppm

귤 각각 1.587 mg/g, 1.405 mg/g, 1.023 mg/g의 페놀 함량을 보여 천년초 분말의 항산화 기능성이 우수함을 확인할 수 있었다.

2) DPPH 자유 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능 측정법은 항산화 물질의 전자 공여능으로 인해 방향족 화합물 및 방향족 아민류에 의해 환원되어 자색이 탈색되어 나타나는 것을 지표로 하여 항산화능을 측정하는 방법이다(Choi 등 2003). 천년초 분말의 70% ethyl alcohol 추출물의 DPPH 자유 라디칼 소거능을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 시료 용액의 500 ppm 농도에서의 DPPH 자유 라디칼 소거능은 90.12±0.42%로 나타났다. Lee 등(2005)은 천년초 줄기를 용매별로 DPPH 유리기 소거 효과를 측정한 연구에서 에틸 아세테이트 분획물이 가장 우수한 항산화 효과를 나타내었으며, 이는 α -토코페롤의 활성과 견줄만한 효과를 나타냈다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 추출 용매가 다르므로 비교하기는 어려웠다. 본 연구 결과, 천년초 분말의 DPPH 자유라디칼 소거능은 항산화 능력이 높다고 알려진 자색고구마 39.86~40.82%(Kim MY 2009), 토마토 73.73~74.88%(Na YR 2012)보다 높은 수치이다. 이는 천년초 분말이 천연 항산화제로서의 가능성을 가지고 있음을 나타내며, 인공 항산화제를 대신할 수 있는 생리활성물질로 식품에 적용이 가능하다고 판단된다.

2. 천년초 분말 첨가 머핀의 물리적 특성

천년초 분말 첨가 머핀의 제조조건 최적화를 목적으로 두 가지 독립변수(천년초 분말, 설탕)를 Design Expert 프로그램을 이용하여 10가지 조건에서 얻어진 기계적 특성 측정 결과는 Table 3과 같다. 설정된 반응별로 모델링화하여 *F*-test를 통해 유의성을 검증한 결과는 Table 4에 나타내었다.

1) 색도

천년초 분말을 첨가한 머핀의 색도를 측정할 결과, 명도(L) 값은 54.54~60.78, 적색도(a) 값은 -2.72~-0.6, 황색도(b) 값은 23.96~27.66의 범위로 나타났고, 명도는 분말 2 g과 설탕 80 g일 때 가장 높았으며, 적색도는 분말 2 g과 설탕 100 g, 황색도는 분말 10 g, 설탕 80 g일 때 가장 높았다(Table 3).

Table 3. Physical and mechanical characteristics of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder

Sample No.	<i>Opuntia humifusa</i> powder (g)	Sugar (g)	Color ¹⁾			Sweetness (Brix)	Texture characteristics					
			L	a	b		Hardness	Adhesiveness	Springiness	Chewiness	Gumminess	Cohesiveness
1	2.00	60.00	57.54	-1.1	23.96	2.13	359.07	0.13	0.73	157.46	192.85	0.83
2	10.00	60.00	54.54	-1.98	25.75	2.07	524.07	0.23	0.72	213.66	291.88	0.71
3	2.00	100.00	59.55	-0.6	25.07	3.27	442.40	0.13	0.74	238.07	324.64	0.67
4	10.00	100.00	57.98	-2.72	27.21	3.50	491.33	-0.33	0.69	227.97	328.56	0.69
5	2.00	80.00	60.78	-0.53	26.19	1.93	557.50	0.30	0.77	265.67	341.70	0.72
6	10.00	80.00	58.28	-2.23	27.66	1.90	782.83	0.00	0.71	359.92	510.13	0.70
7	6.00	60.00	55.40	-1.89	25.00	1.17	426.53	0.20	0.70	160.69	230.76	0.70
8	6.00	100.00	60.25	-2.06	27.07	3.20	367.90	0.10	0.75	205.71	275.62	0.66
9	6.00	80.00	58.78	-2.06	27.12	1.93	610.40	0.53	0.75	193.07	358.09	0.69
10	6.00	80.00	59.54	-1.9	27.18	1.80	657.67	0.03	0.72	263.55	367.58	0.69

¹⁾ L (White +100 ↔ 0 black), a (red +60 ↔ -60 green), b (yellow +60 ↔ -60 blue).

Table 4. Analysis of predicted model equation for the mechanical characteristics of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder

Responses	Model	R-squared	F-value ¹⁾	Prob > F	Equation of on terms of pseudo component
L	Quadratic	0.9407	12.70*	0.0145	$+59.39 - 1.18A + 1.72B + 0.36AB - 0.084A^2 - 1.79B^2$
a	Quadratic	0.9880	66.09***	0.0006	$-1.92 - 0.78A - 0.068B - 0.31AB + 0.47A^2 - 0.12B^2$
b	Quadratic	0.9747	30.88**	0.0027	$+27.24 + 0.90A + 0.77B + 0.088AB - 0.40A^2 - 1.29B^2$
Sweetness	Quadratic	0.9341	11.33*	0.0178	$+1.72 + 0.023A + 0.77B + 0.072AB + 0.34A^2 + 0.61B^2$
Hardness	Quadratic	0.9483	14.68*	0.0111	$+628.07 + 73.21A - 1.34B - 29.02AB + 48.06A^2 - 224.89B^2$
Adhesiveness	2FI	0.5046	2.04	0.2103	$+0.13 - 0.11A - 0.11B - 0.14AB$
Springiness	Linear	0.4586	2.97	0.1167	$+0.73 - 0.020A + 5.000E - 0.003B$
Chewiness	Quadratic	0.8063	3.33	0.1336	$+244.99 + 23.39A + 23.32B - 16.58AB + 51.12A^2 - 78.48B^2$
Gumminess	Quadratic	0.9375	12.00*	0.0160	$+376.42 + 55.73A + 46.06B - 39.53AB + 35.92A^2 - 136.81B^2$
Cohesiveness	Quadratic	0.9578	18.14**	0.0075	$+0.69 - 0.013A - 0.047B + 0.035AB + 0.039A^2 - 1.429E - 003B^2$

A: *Opuntia humifusa* powder, B: sugar. ¹⁾ * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

설정된 반응별로 모델링화하여 F-test로 유의성을 검증한 결과와 독립변수가 색도에 미치는 영향을 살펴보기 위한 회귀식은 Table 5와 같다. 명도와 적색도 및 황색도는 독립변수간의 교호 작용하는 quadratic model이 채택되었다. p-value는 명도 0.0145($p < 0.05$), 적색도 0.0006($p < 0.001$), 황색도 0.0027($p < 0.01$)로 모두 유의성이 인정되었으며, R^2 값은 0.9407, 0.9880, 0.9747로 모델의 적합성이 인정되었다(Table 4). Fig. 1은 명도, 적색도, 황색도 수치의 반응표면에 대한 결과로, 명도와 적색도는 천년초 분말 첨가량이 증가함에 따라 유의적으로 감소하였으며, 황색도는 완만히 증가하였다. 천년초 분말 함량이 증가할수록 머핀의 명도가 낮아진 것은 첨가하는 재료 자체의 색소에 의한 영향이 색도의 차이를 나타낸다는 선행연구(Yun 1999; Kim 등 1994)와 같은 견해를 보이며, 또한 머핀을 굽는

과정에서 설탕이 갈변되어(Ivan 등 2003) 색이 어두워져 명도가 감소하는 것으로 판단된다.

2) 조직감

천년초 분말을 첨가한 머핀의 기계적 특성에 대한 측정값은 Table 3과 같으며, 분산 분석 결과 경도와 씹힘성, 검성, 응집성은 독립변수간의 교호 작용하는 quadratic model이 선택되었고, R^2 값은 각각 0.9483, 0.8063, 0.9375, 0.9578로 모델의 적합성이 인정되었다. 부착성은 첨가시료간의 상호관계를 작용하는 2FI model이 선택되었으며, 탄력성은 천년초 분말과 설탕에서 각각 독립적으로 작용하는 linear model이 선택되었다(Table 4). 부착성과 탄력성, 씹힘성은 유의적으로 나타나지 않았다. 천년초 분말을 첨가한 머핀의 경도에 대한 회

Fig. 1. Response surface and perturbation for the effect of *Opuntia humifusa* powder (A) and sugar (B) on color (L, a, b) of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder.

귀식을 분석한 결과, p -value는 0.0111으로 5% 이내의 유의수준을 보였다. 두 요인 중 가장 영향을 미치는 것은 천년초 분말로, 첨가량이 증가할수록 경도는 완만히 증가하였고, 설탕의 첨가량이 증가할수록 완만히 증가하다 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이는 부추 분말 첨가, 팥잎 분말 첨가, 홍국 분말 첨가 증가량에 따라 경도가 증가한다는 결과와 일치하는 반면, 복분자 분말 첨가, 팥잎 분말 첨가 증가량에 따라 경도가 감소하였다는 결과와는 반대되었다(Ryu 등 2008; Ahn & Yuh 2004; Park & Lim 2007; Ko & Hong 2011; Lee 등 2011). 감성과 응집성의 p -value는 각각 0.0160, 0.0075으로 감성은 5% 이내, 응집성은 1% 이내의 유의수준을 보였다. 천년초 분말의 첨가량이 증가할수록 감성은 완만히 증가하였고, 응집성은 감소하다가 완만히 증가하는 경향을 보였다. 설탕의 첨가량이 증가할수록 감성은 증가하다 급격히 감소하였고, 응집성은 급격히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2).

3) 당도

천년초 분말 첨가 머핀의 당도는 1.8~3.5의 범위를 보였

다. 설정된 반응별로 모델링화 하여 F -test를 통해 유의성을 검증한 결과와 독립변수가 당도에 미치는 효과를 살펴보기 위한 회귀식은 Table 4와 같다. 당도는 quadratic model이 선택되었고, R^2 값은 0.9341로 모델의 적합성이 인정되었다. p -value는 0.0111로 5% 이내 범위에 유의적인 결과를 보였다. 설탕의 첨가량이 당도 변화에 큰 영향을 미치는 요인으로 천년초 분말에 따른 변화는 거의 없음을 알 수 있었다(Fig. 3).

3. 천년초 분말 첨가 머핀의 관능적 특성

천년초 분말 첨가 머핀의 색, 향, 외관, 부드러움, 전반적인 기호도에 대한 항목에 해당하는 결과 값의 회귀식은 Table 6에 제시하였고, 관능적 특성에 대한 perturbation plot과 반응 표면곡선은 Fig. 4에 제시하였다.

천년초 분말 첨가 머핀의 색, 향, 외관 부드러움, 전체적인 기호도는 유의수준 $p < 0.05$ 에서 모두 유의한 값을 나타내었으며, 독립변수간의 교호작용이 발생하는 quadratic model이 선택되었고, R^2 값은 0.89 이상으로서 적합성이 인정되었다.

색에서는 설탕보다 천년초 분말의 영향이 크게 나타났으

Fig. 2. Response surface and perturbation for the effect of *Opuntia humifusa* powder (A) and sugar (B) on textural characteristics of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder.

Fig. 3. Response surface and perturbation for the effect of *Opuntia humifusa* powder (A) and sugar (B) on sweetness of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder.

며, Fig. 4의 perturbation plot과 반응표면곡선을 살펴보면 천년초 분말과 설탕의 양이 증가할수록 기호도는 증가하다가 다시 감소하는 것을 알 수 있었다.

향에 대한 기호도는 회귀식 분석 결과, 천년초 분말(A)이 향에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. Fig 4에서 향의 기호도에 대한 perturbation plot과 반응표면곡선을 살펴본 결과, 천년초 분말의 첨가량이 증가함에 따라 기호도가 증가하다가 약간 감소하는 경향이지만, 급격한 감소는 보이지 않아 천년초 분말 첨가는 바람직함을 나타내었다.

외관에 대한 관능검사 결과, Perturbation plot은 천년초 분말 첨가량이 증가할수록 외관의 기호도는 증가하다가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이는 쥐눈이콩가루 첨가 머핀 제

Table 5. Sensory evaluation of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder

Sample No.	Variable levels		Responses				
	<i>Opuntia humifusa</i> powder (g)	Sugar (g)	Color	Flavor	Appearance	Softness	Overall quality
1	2.00	60.00	3.13	2.60	2.13	3.13	2.53
2	10.00	60.00	2.20	3.20	2.40	2.87	2.87
3	2.00	100.00	2.33	2.53	2.07	3.73	3.47
4	10.00	100.00	3.60	3.13	2.07	2.67	3.00
5	2.00	80.00	2.27	2.60	1.40	3.47	2.73
6	10.00	80.00	3.60	3.20	2.07	2.93	3.20
7	6.00	60.00	4.13	4.00	4.27	4.13	3.53
8	6.00	100.00	4.20	4.27	4.40	4.47	4.47
9	6.00	80.00	5.13	5.40	5.27	5.40	5.07
10	6.00	80.00	5.13	5.40	5.67	5.53	5.13

Table 6. Analysis of predicted model equation for the sensory characteristics of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder

Responses	Model	R-squared	F-value ¹⁾	Prob > F	Polynomial equation
Color	Quadratic	0.9196	9.15*	0.0260	$+4.89+0.28A+0.11B+0.55AB-1.71A^2-0.48B^2$
Flavor	Quadratic	0.9161	8.74*	0.0283	$+5.05+0.30A+0.022B+0.000AB-1.80A^2-0.56B^2$
Appearance	Quadratic	0.9260	10.01*	0.0222	$+5.02+0.16A-0.043B-0.068AB-2.84A^2-0.24B^2$
Softness	Quadratic	0.9301	10.65*	0.0199	$+5.16-0.31A+0.12B-0.20AB-1.66A^2-0.56B^2$
Overall quality	Quadratic	0.8972	6.98*	0.0416	$+4.79+0.057A+0.34B-0.20AB-1.50A^2-0.47B^2$

A: *Opuntia humifusa* powder, B: sugar. ¹⁾ * $p<0.05$.

조 조건의 최적화 연구(Lee & Joo 2008)에서 쥐눈이콩가루 색소의 영향으로 지나친 첨가는 외관에 대한 낮은 기호도를 보인 것과 일치하는 것으로, 생리활성을 가진 재료라도 지나친 첨가는 기호에 영향을 주므로 최적점을 찾는 것이 중요하다 하겠다.

부드러움은 설탕보다는 천년초 분말의 첨가량이 기호도에 영향을 많이 주는 것으로 나타났다. Fig. 4의 perturbation plot과 반응표면곡선을 살펴보면 천년초 분말과 설탕의 첨가량이 증가할수록 기호도는 증가하다가 다시 급격하게 감소하는 경향을 보여 주었다.

천년초 분말 첨가 머핀의 전반적인 기호도는 회귀식 분석 결과, 두 요인 모두 영향이 있으나, 설탕보다 천년초 분말이 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. Fig. 4에서 전반적인 기호도에 대한 perturbation plot과 반응표면곡선을 살펴본 결과 천년초 분말과 설탕의 첨가량이 증가함에 따라 기호도가 증가하다가 급격하게 감소하는 경향이 나타나, 관능적 최적 제조조건의 필요성이 요구되었다.

4. 천년초 분말 첨가 머핀의 품질 최적화

천년초 분말을 첨가한 머핀의 최적화를 위해 천년초 분말과 설탕의 제조조건 접근은 canonical 모형의 수치 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 선정하였다. 독립변수인 천년초 분말과 설탕의 배합 범위 내(천년초 분말 2~10 g, 설탕 60~100 g에서 유의적인 결과를 나타낸 관능검사 항목인 색, 향, 외관, 부드러움, 전반적인 기호도를 최대로 설정하여 모델화에 의해 결정된 반응식을 이용하여 만족하는 수치 점(Numerical point)을 예측하였다. 그 중 가장 높은 만족도를 갖는 최적점을 선택하여 지점 예측을 통해 도출하였으며(Fig. 5), 이를 통한 각 독립변수의 예측된 최적값은 천년초 분말 6.10 g, 설탕 82.61 g으로 나타났다.

요약 및 결론

본 연구는 소비자들의 기능성 효과가 규명된 천연물질에 대한 선호도가 계속 증가하는 시점에서 여러 가지 생리활성이 풍부한 천년초 분말을 이용하여 항산화능 및 천년초 분말 첨가 머핀의 관능적 최적 배합조건을 반응표면분석법을 이용하여 규명하고자 하였다.

Fig. 4. Response surface and perturbation for the effect of *Opuntia humifusa* powder (A) and sugar (B) on sensory characteristics of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder.

Fig. 5. Overlay plot common area and perturbation for the optimization mixture of muffin prepared with *Opuntia humifusa* powder.

천년초 분말의 항산화능 중 총 페놀 함량은 6.64 ± 0.54 mg/g, DPPH 자유 라디칼 소거능은 $90.12 \pm 0.42\%$ 로 나타나 천년초 분말이 천연 항산화제로서의 가능성을 가지고 있음을 알 수 있었고, 인공 항산화제를 대신할 수 있는 생리활성물질로 식품에 적용이 가능하다고 사료된다.

물리적 특성 중 색도(L, a, b)는 모두 quadratic model이 채택되었으며, 반응표면분석에 대한 결과로 천년초 분말 첨가량이 증가할수록 명도와 적색도는 감소하고, 황색도는 증가하였으며, 설탕 함량이 증가할수록 명도와 황색도는 증가하다가 완만히 감소하였고, 적색도는 많은 변화를 보이지 않았다. 조직감 중 경도, 겉성, 응집성은 회귀식을 분석한 결과, 유의수준 5% 이내에서 유의성을 보여 모델의 적합성이 인정되었으나, 부착성, 탄력성, 씹힘성은 유의적인 결과를 나타내지 않았다. 경도, 겉성, 응집성은 설탕보다 천년초 분말의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 천년초 분말의 첨가량이 증가할수록 경도와 겉성은 완만히 증가하였고, 응집성은 감소하다가 완만히 증가하였다. 당도는 quadratic model이 선택되었고, 설탕의 첨가량이 당도 변화에 큰 영향을 미치는 요인으로 설탕의 첨가량이 증가할수록 당도 역시 높아지는 것을 알 수 있었다.

관능적 특성 중 가장 기호도가 높은 것은 모든 항목에서 천년초 분말 6.0 g, 설탕 80 g으로 나타났다. 전체 관능 항목인 색, 향, 외관, 부드러움, 전체적인 기호도 모두 quadratic 모델로 결정되었고, 색, 향, 외관은 1% 이내에서, 부드러움과 전체적인 기호도는 유의수준 5% 이내에서 유의성을 보였다. 외관은 천년초 분말보다는 설탕의 영향을 많이 받는 것으로, 색, 향, 부드러움 및 전체적 기호도는 천년초 분말의 첨가량에 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. Canonical 모형의 수치 최적화와 모형 최적화를 통하여 천년초 분말, 설탕의 양을 선정하고, 관능평가 항목들의 최고점을 선택하여 지점 예측(point prediction)을 통해 도출하여 얻어진 최적 배합비는 천년초 분말 6.10 g, 설탕 82.61 g으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 생리활성을 갖는 천년초 분말을 첨가함으로써 머핀의 품질뿐 아니라, 소비자의 기호도면에서 충분히 경쟁력이 있다고 판단된다.

참고문헌

- Ahn CS, Yuh CS. 2004. Sensory evaluations of muffins with mulberry leaf powder and their chemical characteristics. *J East Asian Dietary Life* 14:576-581
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 26:1199-1200
- Cho Y, Choi MY. 2009. Quality characteristics of jelly containing added pomegranate powder and *Opuntia humifusa* powder. *Korean J Food Cookery Sci* 25:134-142
- Cho MH, No HK, Prinyawiwatukul W. 2008. Chitosan treatments affect growth and selected quality of sunflower sprouts. *J Food Sci* 73:70-77
- Choi CH, Song ES, Kim JS, Kang MH. 2003. Antioxidative activities of *Castanea crenata* Flos. methanol extracts. *Korean J Food Sci Technol* 35:116-120
- Choi JH. 2010. Structural analysis and immuno-stimulating characteristics of *Opuntia humifusa*. MS Thesis, Kyonggi Uni. Seoul. Korea
- Han IH, Lee KA, Byoun KE. 2007. The antioxidant activity of Korean cactus (*Opuntia humifusa*) and the quality characteristics of cookies with cactus powder added. *Korean J Food Cookery Sci* 23:443-451
- Heo SJ, An HL, Lee KS. 2010. Physical properties and sensory evaluation of muffins with trehalose. *The Korean Journal of Culinary Research* 16:13-23
- Ivan S, Igor S, Marek V. 2003. Primary reactions of sucrose thermal degradation. *J Anal Appl Pyrol* 70:493-504
- Jeon SY, Kim HC, Kim MR. 2003. Quality characteristics of functional muffins containing hesperetin. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19:324-327
- Jung BM. 2010. Quality characteristics and storage properties of wet noodle with added Cheonnyuncho fruit powder. *Korean J Food Cookery Sci* 26:821-830
- Jung BM, Shin MO, Kim HR. 2012. The effects of antimicrobial, antioxidant, and anticancer properties of *Opuntia humifusa* stems. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:20-25
- Jung KI, Cho EK. 2011. Effect of brown rice flour on muffin quality. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:986-992
- Kim BR, Joo NM. 2012. Optimization of sweet rice muffin processing prepared with oak mushroom (*Lentinus edodes*) powder. *Korean J Food Culture* 27:202-210
- Kim KT, Choi AR, Lee KS, Joung YM, Lee KY. 2007. Quality characteristics of bread made from domestic Korean wheat flour containing cactus chounnyuncho (*Opuntia humifusa*) powder. *Korean J Food Cookery Sci* 23:461-468
- Kim MG. 2007. Physicochemical characteristics of jeung-pyun by different addition ratios of prickly pear powder during storage. MS Thesis, Sung-Shin Uni. Seoul. Korea
- Kim MH, Hong GJ. 2009. Quality properties of Jeolpyun supplemented with cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*). *Korean J Food Cookery Sci* 24:415-420

- Kim MH, Park MW, Park YK, Jang MS. 1994. Effect of the addition of Surichwajulpyun. *Korean J Soc Food Sci* 10:94-98
- Kim MJ. 2011. Antioxidant activity by total polyphenolic contents of regularly consumed 60 vegetables and fruits in Korea. MS Thesis, Kyungnam Uni. Changwon. Korea
- Kim MY. 2009. Preparation of tofu with addition of the extract of purple sweet potato and its quality characteristic. MS Thesis, Sookmyung Women's Uni. Seoul. Korea
- Kim TJ. 1996. A Pictorial Book of the Korean Flora. pp.140-141. Publishing department of Seoul National University, Seoul, Korea
- Ko DY, Hong HY. 2011. Quality characteristics of muffins containing bokbunja (*Rubus coreus* Miquel) powder. *J East Asian Soc Dietary Life* 21:863-870
- Ko SH, Joo NM. 2009. Optimization of pasta with the addition of *Letinus edodes* powder. *J Korean Diet Assoc* 15:356-363
- Lee HY, Jung HA, Kim DH, Kwon HT, Lee MH, Kim AN, Park CS, Yang KM, Bae HJ. 2011. Studies on functional properties of mulberry leaf extracts and quality characteristics of mulberry leaf muffins. *Korean J Food Cookery Sci* 27:27-34
- Lee KS, Lee KY. 2010. Biological activity of phenol compound from a cactus cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*) in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:1132-1136
- Lee KS, Oh CS, Lee KY. 2005. Antioxidative effect of the fractions extracted from a cactus chounyouncho (*Opuntia humifusa*). *J Korean Food Sci Technol* 37:474-478
- Lee SM, Joo NM. 2008. Optimization of muffin with dried *Rhynchosia molubilis* powder using response surface methodology. *Korean J Food Cookery Sci* 24:626-635
- Lee YJ, Woo KS, Jeong HS, Kim WJ. 2010. Quality characteristics of muffins with added *Dukeum* (pan-fired) Ramie leaf (*Boehmeria nivea*) powder using response surface methodology. *Korean J Food Culture* 25:810-819
- Liu RH, Dewanto V, Wu X, Adom KK. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:3010-3014
- Na YR. 2012. Processing optimization and quality characteristics of sausage prepared with tomato powder. MS Thesis, Sookmyung Women's Uni. Seoul. Korea
- Nicol A. 1995. Breakfast muffins. In the Bread Cookbook. pp.94-95. McDowall A. ed. Smithmark Publisher
- Park HY, Jang MS. 2007. Ingredient mixing optimization for the preservation of sulgidduk with barely (*Hordeum vulgare* L.) sprout powder. *Korean J Food Cookery Sci* 23:550-560
- Park MK, Lee YJ, Kang ES. 2005. Hepatoprotective effect of Cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*) extract in rats treated carbon tetrachloride. *Korean J Food Sci Technol* 27:822-826
- Park SH, Lim SI. 2007. Quality characteristics of muffin red yeast rice flour. *Korean J Food Sci Technol* 39:272-275
- Sigleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *J Methods in Enzymology* 299:152-178
- Ryu SY, Jung HS, Park SH, Shin JH, Jung HA, Joo NM. 2008. Optimization of muffins containing dried leek powder using response surface methodology. *J Korean Diet Assoc* 14:105-113
- Yoon JA, Hahm SW, Park JE, Son YS. 2009. Total polyphenol and flavonoid of fruit extract of *Opuntia humifusa* and its inhibitory effect on the growth of MCF-7 human breast cancer cells. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:1679-1684
- Yun SJ. 1999. Sensory and quality characteristics of pumpkin rice cake prepared with different amounts of pumpkin. *Korean J Soc Food Sci* 15:586-590

접 수 : 2012년 9월 11일
 최종수정 : 2012년 11월 23일
 채 택 : 2012년 11월 28일