

반응표면분석법을 이용한 천년초 줄기 분말 첨가 쿠키의 품질특성 및 최적화

정복미¹ · 김다솔 · 주나미[†]

¹전남대학교(여수) 영양식품학전공, 숙명여자대학교 식품영양학전공

Quality Characteristics and Optimization of Cookies Prepared with *Opuntia humifusa* Powder using Response Surface Methodology

Bok-Mi Jung¹, Dah-Sol Kim, Nami Joo[†]

Major in Food Science and Nutrition, Chonnam National University

Department of Food & Nutrition, Sookmyung Women's University

Abstract

The purpose of this study was to investigate the antioxidative effects of *Opuntia humifusa* powder and determine the optimal composite recipe by three different amounts of *Opuntia humifusa* powder, sugar and butter in cookies prepared with *Opuntia humifusa* powder. In regard to its antioxidant effects, *Opuntia humifusa* powder had a total phenolic content and DPPH free radical scavenging activity of 6.64 ± 0.54 mg/g and 90.12 ± 0.42 %, respectively. response surface methodology was used to obtain sixteen experimental points(including three replicates for *Opuntia humifusa* powder, sugar and butter) and *Opuntia humifusa* cookie formulation was optimized using rheology. The results of the sensory evaluation produced very significant values for color ($p < 0.05$), flavor ($p < 0.05$), texture ($p < 0.05$), sweetness ($p < 0.05$), appearance ($p < 0.05$), overall quality ($p < 0.05$), and the results of instrumental analysis showed significant values in sweetness ($p < 0.001$), hardness ($p < 0.001$), lightness ($p < 0.001$), redness ($p < 0.001$), yellowness ($p < 0.01$). As a results, the optimum formulations obtained by numerical and graphical methods were found to be 3.11 g of *Opuntia humifusa* powder, 35.00 g of sugar and 50.54 g of butter.

Key words : *Opuntia humifusa* powder, cookie, sensory evaluation, optimization, response surface methodology (RSM)

1. 서론

손바닥 선인장과에 속하는 한국 토종 선인장인 천년초 (*Opuntia humifusa*)는 영하 20℃의 혹한에서도 생존이 가능해 수년에서 수십 년 생의 경작이 가능한 다년생 식물이다(Lee KY 등 2005). 이는 제주도에서 군락을 형성하여 자생하는 종으로 월동이 불가능하며 아열대기후 조건에서만 자라는 백년초 선인장(*Opuntia ficus-indica*)과는 대조적이다. 같은 손바닥 선인장과에 속하지만 외관상으로 볼 때 백년초는 길고 굵은

가시가 있고 2m 높이까지 자라는 특징이 있는 반면, 천년초는 솜털가시의 형태로 30cm 정도 높이까지만 자란다. 또한 백년초의 열매는 신 맛이 강한 반면 천년초의 열매는 단 맛을 내는 차이점이 있다(Kim MJ 2008).

천년초의 효능분석에 관한 연구로 Lee NH 등(2000)은 손바닥 선인장의 줄기 부분의 메탄올 추출물을 확인한 결과 비교적 우수한 항산화성을 입증하였고, rat PCA 실험에서 유의성 있는 항알레르기 효과가 확인되어 손바닥 선인장의 친피부적인 효과가 있음을 보고하였다. Kim DH 등(2003)은 손바닥 선인장의 잎과 열매는 streptozotocin 유도 당뇨모델 생쥐의 혈당상승을 억제하고, 정상 생쥐에서도 혈당강화 효과를 나타낸 결과를 볼 때 손바닥 선인장은 인슐린 의존형인 제 1형 당뇨에 효과가 있음을 보고하였다. 그 외에도 병원성 식중독 미생물에 대한 항균 효과(Lee KS 등 2004), 알코올성 고지혈증 완화효과(Choi JW 등 2002), 간보호 효과(Park MK 등 2005)

[†]Corresponding author : Nami Joo, Sookmyung Women's University,
52-12 Chungpa-dong 2-ga Yongsan-gu, Seoul 140-742
Tel: +82-2-710-9471
Fax: +82-2-710-9479
E-mail: yurilove12@nate.com

등이 있는 것으로 보고되었다.

천년초를 이용한 기능성 식품 개발 연구로 Lee KY 등(2007)은 천년초 줄기 분말 함량을 달리하여 식빵을 제조한 결과, 첨가량이 증가함에 따라 노화억제 효과가 있음을 보고하였다. Kim DS 등(2002)은 손바닥 선인장 열매 물 4% 추출물로 코팅한 유색미 취반이 백미 취반보다 무기질 함량이 10~45%가 높았으며 구수한 맛과 짭짤한 맛도 높게 평가되었음을 보고하였다. 그 외에도 천년초 분말을 첨가한 젤리의 품질특성(Cho Y와 Choi MY 2009), 천년초 열매 분말을 첨가하여 제조한 생면의 품질특성과 저장성(Jung BM 2010), 천년초 열매 분말 첨가 증편의 품질특성(Cho EJ 등 2007), 천년초 첨가 홍삼음료의 품질에 미치는 영향(Choi WS 등 2010) 등 식품학적인 측면에서 연구는 되어있으나 부족한 실정이다.

본 연구에서는 다양한 기능성을 가진 천년초를 이용한 식품개발의 모델로 저장성이 우수하며 모든 연령층에서 기호도가 높은 쿠키에 접목시켜 기능성 쿠키로서의 상품 가능성을 평가해보고자 하였다. 이에 본 연구는 쿠키 재료 중 발아통밀가루의 일부를 천년초 줄기 분말로 대체하여 쿠키를 제조하고 천년초 줄기 분말 쿠키의 품질특성 및 최적 배합비를 최근 식품공업에 널리 이용되고 있는 반응표면분석법(Response surface methodology: RSM)을 통해 관능적 최적점을 갖는 조리법을 확립하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

쿠키를 제조하기 위하여 천년초 줄기 분말(라파엘농장, 국내산), 발아통밀가루(농협, 국내산), 버터(서울우유, 국내산), 설탕(주)CJ, 국내산), 달걀(영림축산, 국내산), 베이킹파우더((주)제니코, 국내산)를 사용하였다.

2. 천년초 줄기 분말의 항산화적 특성 측정

1) 총 페놀 함량 측정

천년초 줄기 분말 50 g에 70% ethyl alcohol 500 mL를 가하여 85°C에서 3시간씩 두 번 환류추출(reflux extraction)하였다. 추출액은 Whatman No.2 filter paper로 2회 반복 여과하고 여액을 Rotary Vacuum Evaporator(EYELA Co., N-1000, Tokyo, Japan)로 농축한 후 deep freezer(New Brunswick Scientofoc Co., England)로 -70°C에서 48시간 동결시키고 36시간 동안 동결건조(Freezer Dryer, Operon Eng Co., Seoul, Korea)하였다. 건조된 시료는 막자사발을 이용하여 분쇄한 후 50mesh 표준 망체를 통과시켜 분말화 한 후 0.1 g을 취하고 100 mL의 ethyl alcohol을 가해 시료로 사용하였다.

증류수 0.5 mL를 가한 시험관에 시료 125 mL를 넣고 Folin Ciocalteu phenol reagent(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 125 mL를 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 페놀함량은 gallic acid(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 분석하여 작성된 표준 검량선에 대입하여 산출하였다.

2) DPPH Radical 소거능 측정

전자공여능(Electron donating ability, EDA)은 Blois (1958)방법에 따라 측정하였다. 각 시료 용액 100 mL에 0.15mM로 에탄올 희석한 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 용액 100 mL을 넣고 교반한 후 30분간 방치한 다음 분광광도계(V-530 UV/VIS Spectrophotometer, JAS Co., Japan)를 이용해 517 nm에서 흡광도(Infinite F-200, Tecan, Switzerland)를 측정하였다. 전자공여능은 시료용액의 첨가군과 무첨가군의 흡광도 차이를 백분율로 나타내었다. 대조군으로는 gallic acid를 사용하였다.

$$\text{DPPH Radical 소거능 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{실험군의 흡광도}}{\text{대조군의 흡광도}}\right) \times 100$$

3. 실험계획

천년초 줄기 분말을 첨가한 쿠키의 모든 실험계획은 반응표면 실험계획법(Response surface methodology)의 central composite design에 따라 Design Expert 8(Stat-Easy Co., Minneapolis, MN, USA) 프로그램을 사용하였다. 독립변수로는 발아통밀가루의 일부 대체 재료로 첨가되는 천년초 줄기 분말(X₁), 설탕(X₂), 버터(X₃)의 함량을, 종속변수로는 색도(L, a, b), 경도, 당도, 관능적 특성의 색, 향, 조적감, 단맛, 외관, 전반적인 기호도로 설정하였다. 예비실험을 통해 각 요인의 최소 및 최대 범위를 각각 천년초 줄기 분말 1~5 g, 설탕 15~35 g, 버터 40~60 g으로 정하였다. 완성된 실험 디자인의 재료 혼합 비율은 Table 1과 같았다.

4. 천년초 줄기 분말 첨가 쿠키 제조

Table 1과 같은 재료와 분량으로 크림법(creaming method)으로 제조하였다(American Association of Cereal Chemists 1995). 계량된 버터를 반죽기(Modle K5SS, Kitchen Aid Co., Joseph, Michigan, USA)에 넣고 2단으로 1분간 부드럽게 한 후 설탕을 3회에 걸쳐 나누어 넣으면서 4단에서 2분간, 달걀을 넣고 1분간 크림화 하여 반죽을 균일한 상태로 만든 후 발아통밀가루와 베이킹파우더, 천년초 줄기 분말을 함께 3회에 걸쳐 체에 내린 후 1단으로 10초 동안 혼합하였다. 이를 밀봉하여 4°C의 냉장실(FRB4350-NT, DAEWOO Co., Gumi, Kyungbuk, Korea)에서 1시간 동안 휴지시킨 후 4.0×4.0×3.0 cm의 막대모형으로 성형하고 -18°C에서 12시간 동안 냉동시킨 후 꺼내어 4.0×4.0×1.0 cm가 되도록 균일하게 절단하여

Table 1. Experimental design for cookies prepared with *Opuntia humifusa* powder

Sample No.	Variable Level Ingredient					
	Factors			Whole wheat flour (g)	Baking powder (g)	Whole egg (g)
	<i>Opuntia humifusa</i> powder(g)	Sugar (g)	Butter (g)			
1	1.00	15.00	40.00	190	2.4	60
2	5.00	15.00	40.00	190	2.4	60
3	1.00	35.00	40.00	190	2.4	60
4	5.00	35.00	40.00	190	2.4	60
5	1.00	15.00	60.00	190	2.4	60
6	5.00	15.00	60.00	190	2.4	60
7	1.00	35.00	60.00	190	2.4	60
8	5.00	35.00	60.00	190	2.4	60
9	1.00	25.00	50.00	190	2.4	60
10	5.00	25.00	50.00	190	2.4	60
11	3.00	15.00	50.00	190	2.4	60
12	3.00	35.00	50.00	190	2.4	60
13	3.00	25.00	40.00	190	2.4	60
14	3.00	25.00	60.00	190	2.4	60
15	3.00	25.00	50.00	190	2.4	60
16	3.00	25.00	50.00	190	2.4	60

(18±0.5 g) 윗불 170℃, 아랫불 165℃로 예열해 둔 convection oven(Model FDO-7102, Daeyoung Co., Anshan, Korea)에서 13분간 구웠다. 구운 쿠키는 20±4℃에서 냉각 한 후 지퍼 백에 담아 보관하고, 24시간 후 물리적 검사와 이화학적 검사, 관능검사를 실시하였다.

5. 물리적 특성

1) 색도 측정

쿠키의 표면색은 color difference meter(Colormeter CR-300, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 L(lightness, 명도), a(redness, 적색도), b(yellowness, 황색도)의 색채 값을 3회 반복 측정하였으며, 이때 사용한 표준백판(standard plate)의 L값은 96.74, a값은 +0.57, b값은 +1.78 이었다.

2) 경도 측정

경도(hardness)는 texture analyzer(TA.. XT Express v2.1, London, England)를 사용하여 3회 반복 측정하였으며, stable micro systems(Expression, TA. ST Express v2.1, London, England) 프로그램을 사용하여 결과 값을 얻었다. 쿠키는 probe가 침투한 후에 쉽게 깨지고 복원력이 없는 시료이므로 one cycle test를 이용하여 분석하였다. 측정 조건은 probe(2 mm cylinder probe-SMS P/2), pre-test speed(2.0 mm/s), test speed(0.5 mm/s), return speed(5.0 mm/s), test distance(3.0 mm), trigger force(5.0 g)이었다.

3) 당도 측정

천년초 줄기 분말 첨가 쿠키의 당도는 0~56% 범위를 갖

는 당도계(Pocket PAL-1, ATAGO Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 분석을 위해서 5 g의 시료와 10배의 증류수를 넣고 5분 동안 hot plate & stirrer(MS300HS, MOTOPS Co., Korea)에 교반 시켜 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

6. 관능적 특성

관능검사는 식품영양학을 전공한 대학원생 중에서 훈련된 패널 16명을 선정하여 이들에게 실험의 목적과 취지를 설명한 뒤 실험에 응하도록 하였다(Larmond E 1977). 16명의 각 관능요원 당 16가지의 시료 중 6가지의 시료를 평가하도록 하였으며 각 처리는 6번 반복하였고 각 처리쌍이 나타나는 블록의 수는 6회였다. 관능 평가에 이용된 천년초 줄기 분말 첨가 쿠키는 흰색 바탕의 동일한 접시에 6개씩 4자리의 난수 표로 표시하였으며 관능평가 항목은 색(color), 향(flavor), 조직감(texture), 단맛(sweetness), 외관(appearance), 전반적인 기호도(overall quality)에 대한 특성이었으며, 7점 기호 척도법으로 평가하여 선호도가 높을수록 높은 점수를 주도록 하였다.

7. 통계 분석

천년초 줄기 분말 첨가 쿠키의 품질특성 및 성분들 간의 상호작용과 경향을 알아보기 위하여 design expert 8 프로그램의 ANOVA test 및 회귀분석을 이용하였으며, model의 적합성 여부는 F-test로 유의성을 검증하였다. 각 성분들의 반응을 보기 위해서는 perturbation plot과 response surface 3D plot을 이용하였다.

수치 최적화(numerical optimization)는 canonical model을 기준으로 하는 모델의 계수에 독립변수인 천년초 줄기 분말, 설탕, 버터는 범위 내에서, 반응변수인 관능평가의 항목 중 유의적인 결과를 나타낸 색, 향, 조직감, 단맛, 외관, 전반적

인 기호도 항목은 목표범위(goal area)를 최대(maximum)로 설정하였으며, 수치 최적화를 통해 제시된 최적점 중 다음의 식에 기준하여 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 = response의 수

모형의 최적화는 각 반응에 대한 최소 혹은 최대 제한점을 결정하여 입력하였을 때 가능한 범위에서 그래프가 중첩되는 부분으로 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 천년초 줄기 분말의 항산화적 특성

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 2에 제시된 대로 천년초 줄기 분말의 총 페놀 함량은 6.64±0.54 mg/g으로 나타났다. Kim MJ (2011)의 연구에서는 항산화 기능이 높은 식품으로 알려진 자두, 포도, 귤의 총 페놀 함량이 각각 1.587 mg/g, 1.405 mg/g, 1.023 mg/g이라고 보고하였으며, 이와 비교할 때 천년초 줄기 분말의 항산화 기능성이 우수함을 확인할 수 있었다.

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	90.12±0.42

¹⁾ Concentration of sample solution : 500ppm

2) DPPH Radical 소거능

DPPH Radical 소거능 측정법은 항산화 물질의 전자공여능으로 인해 방향족 화합물 및 방향족 아민류에 의해 환원되어 자색이 탈색되어 나타나는 것을 지표로 하여 항산화능을 측정하는 방법이다(Kang MH 등 2003). 천년초 줄기 분말의 70% ethyl alcohol 추출물의 DPPH radical 소거능을 측정할 결과는 Table 2와 같았다. 시료 용액의 500 ppm 농도에서의 DPPH Radical 소거능은 90.12±0.42%로 나타났으며 이는 항산화 능이 높다고 알려진 자색고구마 39.86~40.82%(Kim MY 2009), 토마토73.73~74.88%(Na YR와 Joo NM 2012)보다 높은 수치이다. 이러한 결과는 천년초 줄기 분말이 천연 항산화제

로서의 가능성을 가지고 있음을 나타내며, 인공 항산화제를 대신할 수 있는 생리활성물질로 식품에 적용이 가능하다고 사료된다.

2. 물리적 특성

천년초 줄기 분말을 첨가한 쿠키의 색도(L, a, b), 경도(hardness) 및 당도(sweetness)를 측정할 결과는 Table 3과 같았다.

1) 색도

천년초 줄기 분말을 첨가한 쿠키의 색도를 측정할 결과, 명도(L) 값은 32.96~54.37, 적색도(a) 값은 -0.54~3.70, 황색도(b) 값은 10.78~39.98의 범위를 나타냈다(Table 3). 명도는 각 요인들이 독립적으로 작용하는 linear 모델이 선택되었으며, p-value가 0.0001(p<0.001)로 유의적인 결과를 나타내었다(Table 4). Perturbation plot과 반응표면곡선을 살펴본 결과 천년초 줄기 분말, 설탕, 버터의 첨가량이 증가할수록 명도가 낮아졌으며(Figure 1), 설탕과 버터 첨가량의 증가보다 천년초 줄기 분말의 첨가량이 증가될 때 급격히 명도가 감소하는 것으로 쿠키의 명도에 가장 영향을 끼치는 요인은 천년초 줄기 분말이었다. 이는 설기떡(Cho JS 등 2002), 어묵(Son MH 등 2003) 등의 연구에서도 같은 결과를 보여주었으며, 쥐눈이콩 첨가 쿠키(Ko YJ와 Joo NM 2005), 마분말 첨가 쿠키(Lee SM 등 2008)의 결과와도 일치하였다. 이러한 결과는 첨가한 재료들의 명도가 낮아 그 자체의 색에 따라 첨가물의 양이 증가할수록 제품의 명도를 감소시키는 것으로 판단된다. 적색도와 황색도 또한 linear 모델이 선택되었으며, p-value가 0.0006(p<0.001), 0.0010(p<0.01)로 유의적인 결과를 나타내었다(Table 4). Perturbation plot과 반응표면곡선을 살펴본 결과 천년초 줄기 분말의 첨가량이 증가할수록 적색도와 황색도가 낮아졌으며(Figure 1), 이러한 결과는 첨가물인 천년초 줄기 분말이 적색도와 황색도가 낮아 그 자체의 색에 따라 첨가물의 양이 증가할수록 쿠키의 적색도와 황색도를 감소시키는 것으로 판단된다.

2) 경도(hardness)

경도는 Table 3과 같이 570.57~1839.43g의 범위를, p-value는 0.0001(p<0.001)로 유의적이었다(Table 4). 버터의 함량이 증가할수록 쿠키의 경도는 감소하였으나, 설탕의 첨가량이 증가할수록 쿠키의 경도가 증가하는 것을 볼 수 있었다(Figure 1). 이는 Jung EK와 Joo NM(2010)의 설탕 첨가가 쿠키의 경도를 증가시킨다는 결과와 일치하는데, 설탕이 쿠키가 구워진 후 냉각할 때에 결정화(crystallization)하는 성질에 의하여 경화제(hardening agent)로서 작용하여 쿠키의 내부 구조를 단단하게 하여 경도가 증가되는 것으로 해석할 수 있었다(한혜선 2004).

3) 당도(sweetness)

천년초 줄기 분말을 첨가한 쿠키의 당도를 측정할 결과,

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

Sample No.	<i>Opuntia humifusa</i> powder (g)	Sugar (g)	Butter (g)	Responses				
				L	a	b	Hardness	Sweetness
1	1,00	15,00	40,00	51,04	2,92	39,39	1276,73	2,80
2	5,00	15,00	40,00	39,59	0,12	11,31	1309,50	4,40
3	1,00	35,00	40,00	50,70	1,70	39,62	1431,90	17,90
4	5,00	35,00	40,00	32,96	-0,35	19,72	1839,43	22,10
5	1,00	15,00	60,00	51,60	2,00	39,98	570,57	10,30
6	5,00	15,00	60,00	33,74	-0,54	19,79	666,20	2,80
7	1,00	35,00	60,00	54,37	3,70	31,08	583,00	24,50
8	5,00	35,00	60,00	31,56	-0,18	12,48	598,83	24,80
9	1,00	25,00	50,00	51,56	2,15	21,36	894,80	13,50
10	5,00	25,00	50,00	36,45	0,31	10,73	861,73	19,80
11	3,00	15,00	50,00	41,31	0,76	29,61	866,17	0,40
12	3,00	35,00	50,00	43,52	0,41	21,13	887,80	20,20
13	3,00	25,00	40,00	48,03	0,22	24,13	1214,27	11,70
14	3,00	25,00	60,00	49,71	0,55	23,86	439,87	3,70
15	3,00	25,00	50,00	40,74	0,05	25,83	880,57	15,10
16	3,00	25,00	50,00	45,53	1,39	21,39	858,63	14,20

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

Responses	Model	R-squared ¹⁾	F-value ²⁾	Prob > F	Polynomial equation
L	Linear	0.8573	24.04***	0.0001	+43.90-8.50A-0.42B-0.13C
a	Linear	0.7556	12.37***	0.0006	+0.95-1.31A+2.000E-003B+0.092C
b	Linear	0.7278	10.69**	0.0010	+24.47-9.74A-1.60B-0.70C
Hardness	Linear	0.8756	28.15***	0.0001	+948.75+51.87A+65.18B-421.34C
Sweetness	Linear	0.7815	14.30***	0.0003	+13.01+0.49A+8.88B+0.72C

A: *Opuntia humifusa* powder, B: Sugar, C: Butter

¹⁾ 0<R²<1, close to 1 means more significant

²⁾ *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

0.40~24.80의 범위를 나타냈다(Table 3). 각 요인들이 독립적으로 작용하는 linear 모델이 선택되었으며, p-value는 0.0003(p<0.001)로 유의적인 결과를 나타내었다(Table 4). 설탕의 함량이 증가할수록 쿠키의 당도가 증가하는 것을 볼 수 있었다(Figure 1).

3. 관능적 특성

16가지 배합비율로 제조한 천년초 줄기 분말 쿠키의 관능적 특성을 7점 점수법으로 평가한 결과, 색은 3.00~6.33, 향은 2.50~6.20, 조직감은 2.50~6.20, 단맛은 2.17~6.20, 외관은 2.00~6.50, 전반적인 기호도는 2.50~6.20 사이의 범위를 나타내었다(Table 5).

1) 색(color)

각각의 독립 변수 간에 교호작용하는 quadratic 모델이 설정되었고 p-value는 0.0363(p<0.05)로 신뢰도가 비교적 높았다

(Table 6). 색의 관능적 특성에 가장 큰 영향을 주는 요인은 천년초 줄기 분말이며 첨가량이 증가할수록 어느 정도까지는 높은 점수를 나타내었지만 3.72 g 이상에서는 좋은 결과를 얻지 못하였으며, 버터와 설탕도 첨가량이 증가함에 따라 색의 기호도가 증가하다가 버터 첨가량 53.68 g, 설탕 첨가량 28.24 g 이상에서는 감소하는 유사한 결과를 보였다(Figure 2).

2) 향미(flavor)

p-value는 0.0372(p<0.05)로 회귀변동에 대한 신뢰도가 비교적 높았으며, 천년초 줄기 분말이 향의 기호도에 가장 큰 영향을 주는 것을 알 수 있는데, 이는 천년초가 갖고 있는 특유의 향 성분으로 인한 것으로 사료된다. 천년초 줄기 분말 첨가량이 증가함에 따라 기호도가 증가하다가 2.55 g 이상에서는 오히려 향미에 대한 기호도가 감소하는 경향을 보였다(Figure 2).

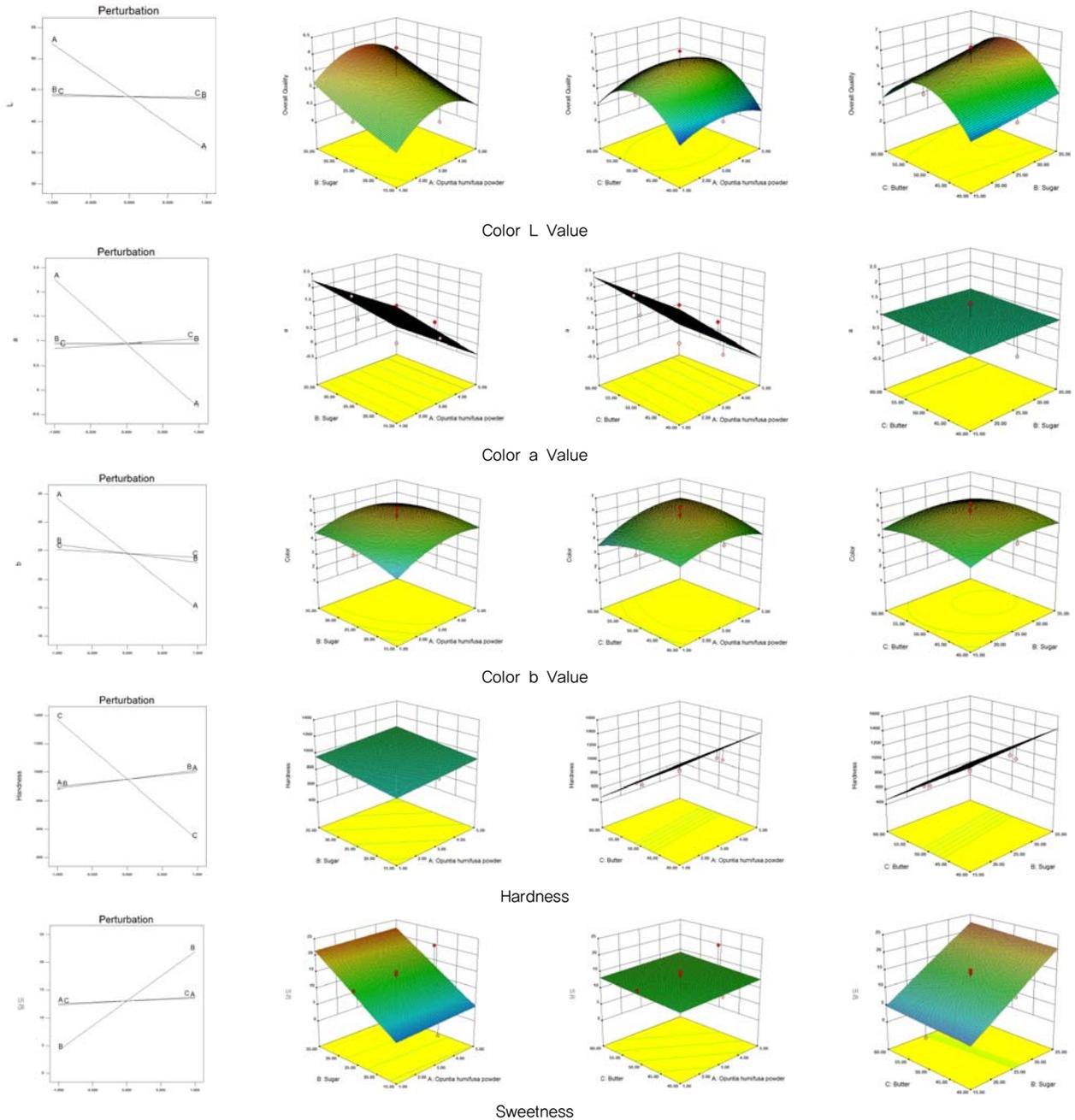


Figure 1. Perturbation plot and response surface for the effect of *Opuntia humifusa* powder(A), sugar(B) and butter(C) on physical and mechanical characteristics of cookies prepared with *Opuntia humifusa* powder.

3) 조직감(texture)

p-value는 0.0422(p<0.05)로 천년초 줄기 분말이 증가함에 따라 조직감에 대한 기호도가 증가하다가 4.06 g 이상부터 약간 감소하는 경향이 있지만 급격한 감소는 보이지 않아 천년초 줄기 분말 첨가는 조직감에 바람직하게 나타났다(Figure 2). 천년초 줄기 분말과 버터가 증가함에 따라 기계적 경도가 감소하는 결과로 일정한 수준 4.06 g, 51.64 g의 경도까지는

조직감에 대한 기호도가 증가하다가 그 이상에서는 감소하는 경향을 보였다.

4) 단맛(sweetness)

p-value는 0.0249(p<0.05)로 회귀변동에 대한 신뢰도가 비교적 높음을 알 수 있었다(Table 6). 천년초 줄기 분말이 증가함에 따라 단맛에 대한 기호도가 증가하는 모습을 보이나

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

Sample No.	Opuntia humifusa powder (g)	Sugar (g)	Butter (g)	Responses					Overall quality
				Color	Flavor	Texture	Sweetness	Appearance	
1	1.00	15.00	40.00	3.33	3.60	2.50	3.65	2.00	2.50
2	5.00	15.00	40.00	4.00	2.50	2.50	3.85	2.50	2.50
3	1.00	35.00	40.00	4.83	4.60	2.50	5.17	2.50	3.00
4	5.00	35.00	40.00	4.33	3.00	3.00	3.80	3.00	3.33
5	1.00	15.00	60.00	3.00	4.10	3.00	2.17	4.00	2.50
6	5.00	15.00	60.00	5.00	2.50	4.00	2.80	3.30	3.50
7	1.00	35.00	60.00	3.83	4.00	3.17	4.00	4.30	4.00
8	5.00	35.00	60.00	5.33	3.00	4.65	4.65	3.65	4.50
9	1.00	25.00	50.00	4.00	4.00	4.00	4.50	4.00	4.50
10	5.00	25.00	50.00	5.33	3.00	4.85	4.50	3.00	4.17
11	3.00	15.00	50.00	4.83	5.33	4.65	4.00	5.50	4.50
12	3.00	35.00	50.00	5.00	5.10	5.00	5.65	5.17	5.50
13	3.00	25.00	40.00	4.67	3.85	2.67	5.17	3.50	3.00
14	3.00	25.00	60.00	5.00	4.15	3.33	3.85	4.15	3.50
15	3.00	25.00	50.00	5.83	5.50	6.20	6.20	6.00	6.20
16	3.00	25.00	50.00	6.33	6.20	6.20	6.20	6.50	6.20

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

Responses	Model	R-squared ¹⁾	F-value ²⁾	Prob > F	Polynomial equation
Color	Quadratic	0.8761	4.72*	0.0363	+5.54+0.50A+0.32B+0.10C-0.21AB+0.42AC-0.084BC-0.61A ² -0.36B ² -0.44C ²
Flavor	Quadratic	0.8751	4.67*	0.0372	+5.19-0.63A+0.17B+0.020C+0.012AB+0.012AC-0.14BC-1.36A ² +0.36B ² -0.86C ²
Texture	Quadratic	0.8690	4.42	0.0422	+5.29+0.38A+0.17B+0.50C+0.12AB+0.25AC+0.040BC-0.40A ² -3.276E-003B ² -1.83C ²
Sweetness	Quadratic	0.8925	5.53	0.0249	+5.56+0.011A+0.68B-0.42C-0.19AB+0.31AC+0.28BC-0.74A ² -0.41B ² -0.73C ²
Appearance	Quadratic	0.8683	4.39*	0.0427	+5.42-0.13A+0.13B+0.59C+6.250E-003AB-0.29AC-0.044BC-1.51A ² +0.32B ² -1.19C ²
Overall quality	Quadratic	0.8693	4.44*	0.0418	+5.36+0.15A+0.48B+0.37C-0.021AB+0.15AC+0.15BC-0.61A ² +0.059B ² -1.69C ²

A: *Opuntia humifusa* powder, B: Sugar, C: Butter,

1) 0<R²<1, close to 1 means more significant

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

2.91 g 이상에서는 오히려 단맛에 대한 기호도가 감소하는 경향을 보였으며, 설탕과 버터도 첨가량이 증가함에 따라 단맛의 기호도가 증가하다가 설탕 33.46 g, 버터 46.94 g 이상부터 감소하는 유사한 결과를 보였다(Figure 2).

5) 외관(appearance)

p-value는 0.0427(p<0.05)로 천년초 줄기 분말의 첨가량이 증가할수록 어느 정도까지는 높은 점수를 나타내었지만 2.87 g 이상에서는 좋은 결과를 얻지 못하였으며, 설탕의 함량에는 민감하게 작용하지 않는 결과(Figure 2)를 나타내었다.

6) 전반적인 기호도(overall quality)

p-value는 0.0418(p<0.05)이었고, 천년초 줄기 분말이 증가함에 따라 전반적인 기호도가 증가하다가 천년초 줄기 분말 3.30 g 이상부터 약간 감소하는 경향이지만 급격한 감소는 보이지 않아 천년초 줄기 분말 첨가는 바람직함을 나타내었다(Figure 2).

4. 천년초 줄기 분말 첨가 쿠키의 관능적 최적화

천년초 줄기 분말을 첨가한 쿠키의 최적화를 위해 천년초 줄기 분말과 설탕, 버터의 제조조건 접근은 canonical 모형의

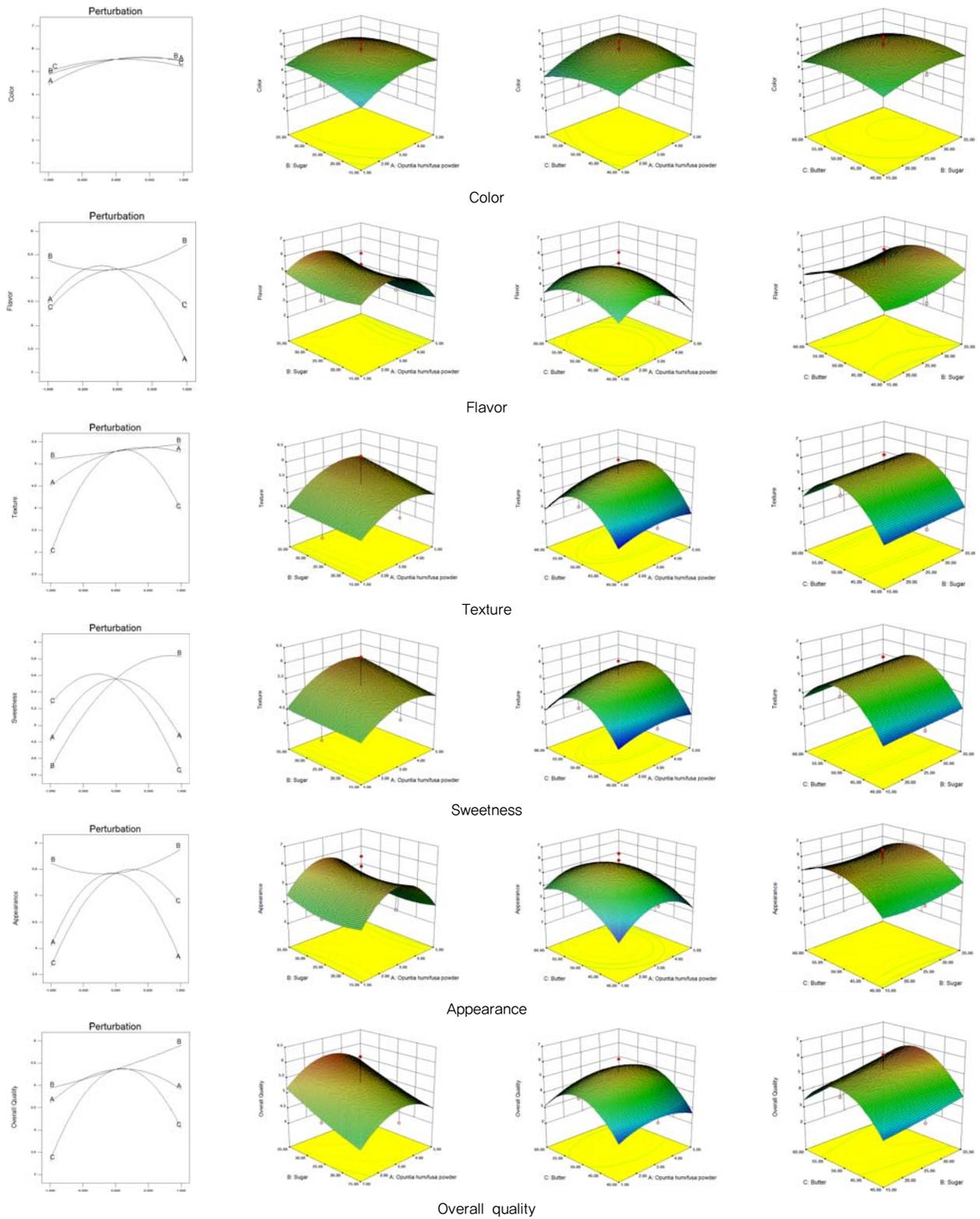


Figure 2. Perturbation plot and response surface for the effect of *Opuntia humifusa* powder(A), sugar(B) and butter(C) on sensory characteristics of cookies prepared with *Opuntia humifusa* powder.

수치 최적화(numerical optimization)와 모형적 최적화(graphical optimization)를 통해 선정하였다. 수치최적(numerical point)을 예측하기 위해 관능평가 항목 중 유의적이었던 색, 향, 조직감, 단맛, 외관, 전반적인 기호도에 대해 독립변수인 천년초 줄기 분말, 설탕, 버터의 범위 내에서 최대로 설정하고, 모델화로 결정된 반응식을 이용하여 만족하는 점 중에서 최고의 desirability를 나타낸 최적점을 선택하여 지점 예측(point prediction)을 도출하였다(Figure 3). 이를 통한 각 독립변수의 예측된 최적값은 천년초 줄기 분말 3.11 g, 설탕 35.00 g, 버터 50.54 g 이었다(Figure 4).

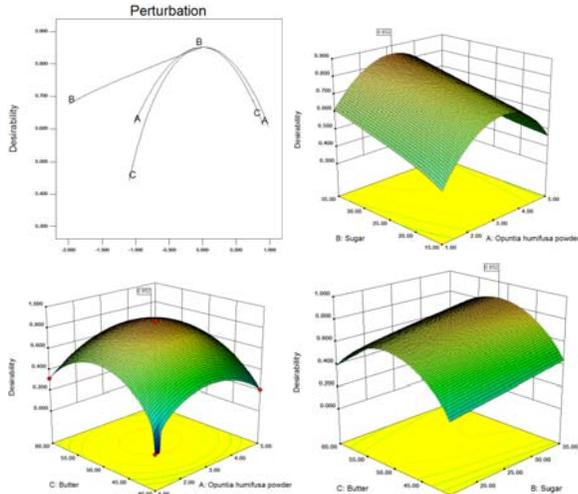


Figure 3. Perturbation plot and response surface for optimization mixture on desirability of cookies prepared with *Opuntia humifusa* powder.

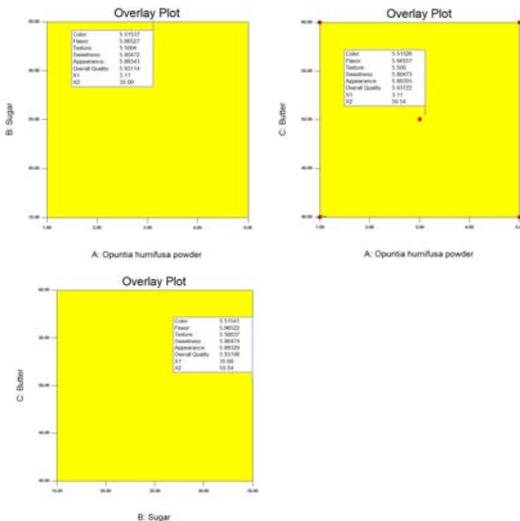


Figure 4. Overlay plot for common area for the optimization mixture of cookies prepared with *Opuntia humifusa* powder.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 풍부한 영양성분과 다양한 생리활성 기능을 가지는 천년초 줄기 분말을 이용한 쿠키의 품질특성 및 관능적 최적화를 목적으로 반응표면분석을 통해 쿠키의 품질특성을 분석하였고, 관능적인 최적 배합 레시피를 산출하였다. 중심합성계획법(CCD)에 따라 천년초 줄기 분말(A), 설탕(B), 버터(C)의 양을 독립변수로 하여 실험을 계획하고, data를 분석한 후 최적화 하였다. 천년초 줄기 분말의 항산화성은 총 페놀 함량에서 6.64 ± 0.54 mg/g, DPPH radical 소거능에서 $90.12 \pm 0.42\%$ 로 우수한 항산화 활성을 나타내었다. 실험 결과를 모델링하여 유의성을 검증한 결과 색도(L,a,b), 경도, 당도는 linear 모델이 선정되었으며, 관능검사의 모든 항목에서는 quadratic 모델로 결정되었고, 색도(L, a, b), 경도, 당도 그리고 관능검사의 모든 항목에서 p-value가 5% 이내에서 유의성을 보여 모델의 적합성이 인정되었다. 물리적 특성 중 색도(L, a, b)는 천년초 줄기 분말의 첨가량이 증가함에 따라 유의적으로 감소하였다. 쿠키의 경도에 대해 가장 큰 영향을 미치는 것은 버터이며 버터의 첨가량이 증가할수록 쿠키의 경도는 감소하였으나, 설탕의 첨가량이 증가할수록 경도는 증가하는 것으로 나타났다. 쿠키의 당도에 대해 가장 큰 영향을 미치는 것은 설탕이며 설탕의 첨가량이 증가할수록 쿠키의 당도는 증가하는 것으로 나타났다. 관능적 특성 중에서는 모든 항목에서 모델의 적합성이 인정되었다($p < 0.05$). 천년초 줄기 분말 첨가는 색, 향, 조직감, 단맛, 외관, 전반적인 기호도에 바람직함을 나타내었고, 천년초 줄기 분말이 증가함에 따라 증가하다가 일정량 이후 서서히 감소하였으며, 설탕 첨가량에는 민감하게 작용하지 않았다. 이상의 실험 결과를 바탕으로 천년초 줄기 분말 쿠키의 관능적 최적 배합비율은 천년초 줄기 분말 3.11 g, 설탕 35.00 g, 버터 50.54 g 으로 산출되었다. 본 연구를 통해 천년초 줄기 분말 쿠키는 영양학적, 기능적, 품질, 기호도 측면에서 충분한 경쟁력이 있을 것으로 생각되며, 천년초 줄기 분말을 이용한 식품개발 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- 한혜선. 2004. 쿠키의 반죽 및 제품 물성에 미치는 원료의 효과에 관한 연구. 경기대학교 대학원 석사학위논문. pp 17-18
- American Association of Cereal Chemists, 1995. AACC Approved Methods- 9th ed, American Association, Washington DC, USA pp 10-52
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature 26(4):1199-1200
- Cho EJ, Kim MJ, Cho WS. 2007. Quality properties of Jeung-pyun with added Withprickly pear (Cheonnyuncho) powder, J East

- Asian Soc Dietary Life 17(6):903-910
- Cho JS, Choi MY, Chang YH. 2002. Quality characteristics of Sulgiduk added with *Lentinus edodes* sing powder. J East Asian Soc Dietary Life 12(1):55-64
- Cho Y, Choi MY. 2009. Quality characteristics of jelly containing added pomegranate powder and *Opuntia humifusa* powder. Korean J Food Cookery Sci 25(2):134-142
- Choi CS, Song ES, Kim JS, Kang MH. 2003. Antioxidative Activities of *Castanea crenata* flos, methanol extracts. Korean J Food Sci Technol 35(6):1216-1220
- Choi JW, Lee CK, Moon YI, Park HJ, Han YN. 2002. Biological Activities of the extracts from fruit and stem of prickly pear(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)III. - Effects on subacute alcoholic hyperlipidemia in rats. Kor J Pharmacogn 33(3):238-244
- Joo NM, Lee SM, Jung HS, Park SH, Song YH, Shin JH, Jung HA. 2008. Optimization of cookie preparation by addition of yam powder. Korean J Food Preserv 15(1):49-57
- Jung BM. 2010. Quality characteristics and storage properties of wet noodle with added Cheonnyuncho fruit powder. Korean J Food Cookery Sci 26(6):821-830
- Jung EK, Joo NM. 2010. Optimization of iced cookie prepared with dried oak mushroom (*Lentinus edodes*) powder using response surface methodology. Korean J Food Cookery Sci 26(2):121-128
- 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(4):461-468
- Kim MJ. 2011. Antioxidant activity by total polyphenolic contents of regularly consumed 60 vegetables and fruits in Korea. Master's thesis. Kyungnam University
- Kim MJ. 2008. Physicochemical characteristics of Jeung-pyun by different addition ratios of prickly pear powder during storage. Master's thesis. Sungshin Women's University. pp 1
- Kim MY. 2009. Preparation of Tofu with additional of the extract of purple sweet potato and its quality characteristics. master's thesis. Sookmyung Women's University
- Ko YJ, Joo NM. 2005. Quality characteristic and optimization of iced cookie with addition of Jinuni bean(*Rhynchosia volubilis*). Korean J Food Cookery Sci 21(4):514-527
- Lamond E. 1977. Laboratory methods for sensory evaluation of food. Ottawa : Agriculture Canada, Research Branch pp 7-23
- Lee KS, Kim MG, Lee KY. 2004. Antimicrobial effect of the extracts of cactus Chounnyuncho (*Opuntia humifusa*) against Food Borne Pathogens. J Korean Soc Food Sci Nutr 33(8):1268-1272
- Lee KS, Oh CS, Lee KY. 2005. Antioxidative effect of the practions extracted from a cactus Cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*). Korean J Food Sci Technol 37(3):474-478
- Na YR, Joo NM. 2012. Processing optimization and quality characteristics of sausage prepared with tomato powder. Korean J Food Cookery Sci 28(2):195-206
- Park MK, Lee YJ, Kang ES. 2005. Hepatoprotective effect of Cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*) extract in rats treated carbon tetrachloride. Korean J Food Sci Technol 37(5):822-826
- Seo SS, Kim MY, Yoon KW, No HK, Kim SD. 2002. Cooking characteristics of rice coated with prickly pear water extracts. J Korean Soc Food Sci Nutr 31(5):733-737
- Shin JE, Han MJ, Lee IK, Moon YI, Kim DH. 2003. Hypoglycemic activity of *Opuntia ficus-indica* var. *sabotan* on Alloxan- or Streptozotocin-induced Diabetic Mice. Kor J Pharmacogn 34(1):75-79
- Son MH, Kim SY, Ha JU, Lee SC. 2003. Texture Properties of Surimi Gel containing Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). J Korean Soc Food Sci Nutr 32(6):859-863
- Yoon JS, Lee NH, Lee BH, Park KH, Choi BW. 2000. Separation of active components, and screening of the radical scavenging effects, tyrosinase Inhibition and anti-allergic activities using *Opuntia ficus-indica*. Kor J Pharmacogn 31(4):412-415
- You SG, Kim SW, Jung KH, Moon SK, Yu KW, Choi WS. 2010. Effect of *Astragali radix* and *Opuntia humifusa* on Quality of Red Ginseng Drink. Food Eng Prog 14(4):299-306

2012년 9월 11일 접수; 2013년 2월 15일 심사; 2013년 2월 15일 채택