

ARTICLE

무설탕 닭가슴살 육포 제조를 위한 알룰로스과 솔비톨 혼합 비율 최적화

양나은¹ · 황준² · 손우영² · 김대년² · 강선구³ · 김현욱^{1,2,4*}

¹경상국립대학교 생명자원과학과, ²경상국립대학교 동물생명과학과, ³쥬피치, ⁴쥬케이얼반

Optimization of Mixing Ratio between Allulose and Sorbitol for Producing Sugar-Free Chicken Breast Jerky

Na-Eun Yang¹, Jun Hwang², Woo-Young Son², Dae-Nyeon Kim²,
Sun Gu Kang³, Hyun-Wook Kim^{1,2,4*}

¹Department of Green Bio Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

²Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

³Peach Inc., Jeonju 55038, Korea

⁴K-erlban Inc., Wanju 55367, Korea

Received: May 26, 2024

Revised: June 20, 2024

Accepted: June 21, 2024

*Corresponding author :

Hyun-Wook Kim

Department of Animal Science &
Biotechnology, Gyeongsang National
University, 33, Dongjin-ro, Jinju-si,
Gyeongnam 52725, Korea

Tel : +82-55-772-3261

E-mail : hwkim@gnu.ac.kr

Copyright © 2024 Resources Science
Research Institute, Kongju National University.
This is an Open Access article distributed
under the terms of the Creative Commons
Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
which permits unrestricted non-commercial
use, distribution, and reproduction in any
medium, provided the original work is
properly cited.

ORCID

Na-Eun Yang

<https://orcid.org/0000-0002-1417-9684>

Jun Hwang

<https://orcid.org/0009-0009-5788-068X>

Woo-Young Son

<https://orcid.org/0009-0006-4567-3956>

Dae-Nyeon Kim

<https://orcid.org/0000-0003-2005-0681>

Sun Gu Kang

<https://orcid.org/0009-0002-6641-9341>

Hyun-Wook Kim

<https://orcid.org/0000-0002-4397-9664>

Abstract

This study aimed to optimize the mixing ratio between D-allulose and D-sorbitol for producing sugar-free chicken breast jerky, without adverse impacts on general quality attributes. A response surface methodology (RSM) experiment was designed using a face-centered central composite design, in which the independent variables were 0-2% (w/w) allulose and 0-2% (w/w) sorbitol. The sliced and cured chicken breast samples were dried in an 80°C air dryer for 4 hr, cooled for 6 hr, and used for physicochemical and sensory analysis. The mixing ratio of allulose and sorbitol had a significant effect on the drying yield, shear force, and sweetness of sugar-free chicken breast jerky, but did not affect pH, hue angle, saltiness, and overall acceptance ($p > 0.05$). In particular, drying yield, shear force, sweetness, and overall acceptance showed significance ($p < 0.05$) and a high coefficient of determination (R^2) in the quadratic model. Moreover, the optimal mixing ratio of allulose and sorbitol to expect the maximum dry yield (39.2%), sweetness (5.9 points/9 points), overall preference (4.5 points/9 points) and minimum shear force (6.7 kg) of sugar-free chicken breast jerky was determined as 1.6% (w/w) and 1.7% (w/w), respectively. This study suggests that the quality of sugar-free chicken breast jerky, such as drying yield and shear force, could be improved by optimizing the mixing ratio between allulose and sorbitol, while minimizing the defects in sensory preference.

Keywords

Allulose, Chicken breast, Jerky, Response surface methodology, Sorbitol

1. 서론

육포는 식육을 염지 및 건조하여 수분함량과 수분활성도를 낮춘 건조저장육류로, 상온에서도 유통 및 장기 저장이 가능하다. 최근 육포는 휴대와 섭취가 간편한 이점 때문에 야외 및 레저 활동이 잦은 현대사회에서 간식으로 소비가 증가하여 2021년 기준 판매액은 1,582억 원으로 지속적인 증가 추세이다(한국농수산물유통공사, 2023). 과거 전통 육포는 소고기를 얇게 저며 간장으로 염지하는 반면, 현대적인 제품은 분쇄하여 재구성하거나 돼지고기 및 닭고기를 원료육으로 사용하는 등의 형태로 가공 방법, 원료육 선택 및 최종제품의 맛 등이 다양화되어 제품군이 크게 증가하고 있다(Yang et

al., 2023). 특히, 현대 소비자는 건강지향적 단백질 섭취를 선호하기 때문에 고단백·저지방의 닭가슴살을 원료로 활용한 육포 제품이 활발히 개발되고 있다.

육포는 단백질 함량이 약 30% 이상인 고단백 식품으로 알려져 있는데, 시판 닭고기 육포 9종의 단백질 함량은 평균 39% 수준으로 조사되어 단백질 식품으로의 가치가 충분하다(Yang et al., 2023). 그러나 육포의 높은 나트륨 및 당 함량은 단백질 식품으로의 소비를 제한하는 주된 요인이다. 식육 가공에 쓰이는 당류는 감미 부여를 위하여 약 1-3% 수준으로 첨가하나, 육포의 경우 수분활성도 저하 및 기호성 개선을 목적으로 다른 식육가공품과 달리 당 첨가량이 높은 편이다(Nam et al., 2017). 이전의 연구에서 국내 시판 중인 28종의 육포에는 1회 제공기준량인 15 g 당 0.5-4.5 g의 당을 함유하였고, 활용 빈도가 가장 높은 감미료는 설탕으로 나타났다(Yang et al., 2023).

세계보건기구(WHO)는 비만 위험, 성인병 발병 및 치아우식 등의 이유로 설탕 섭취량의 감소를 지속해서 권고하였고, 최근 제과, 제빵 및 음료 산업에서 설탕을 대체하기 위한 대체감미료의 활용이 크게 증가하고 있다(Go et al., 2023). 대체감미료는 생산 원료, 감미 강도 및 열량 등으로 구분할 수 있는데, 이중 알룰로스(D-allulose)는 감미 강도가 설탕의 70%에 달하지만 열량은 1 g 당 0.007kcal 수준으로 매우 낮다(Xia et al., 2021). 알룰로스는 과당(D-fructose)의 에피머(epimer)로서 과일 가공식품, 음료, 설탕류 및 스낵류에서 가공과정 중 생성될 수 있으며, 전세계 많은 국가에서 ‘generally recognized as safe(GRAS)’ 성분으로 여긴다(Daniel et al., 2022).

감미도, 열량 및 안전성 등의 이점과 함께 알룰로스의 설탕 대체 비율이 머핀(Hwang and Lee, 2018)과 스핀지케이크(Lee and Shin, 2022) 등의 품질 및 관능적 특성에 미치는 영향 등이 보고되었으며, 설탕을 대체하기 위한 알룰로스의 최적 첨가 비율은 적용 식품에 따라 상이하였다. 또한, 2.5% 설탕을 첨가한 닭가슴살 소시지에서 알룰로스를 첨가하여 100% 대체한 경우 보수력 개선 효과가 보고되어(Hadipemata et al., 2016), 알룰로스의 첨가는 식육가공품의 품질 특성에도 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되나 육포의 이화학적 및 관능적 특성에 미치는 영향에 관한 연구는 미비한 실정이다.

솔비톨(D-sorbitol)은 당알코올(sugar alcohol)의 하나로 육포의 저장성 및 품질 특성을 개선하기 위한 목적으로 사용하는 대표적인 보습제(humectant)이다(Jang et al., 2015). 감미도는 설탕의 약 60% 수준이며, 열량은 1 g 당 2.4kcal 수준으로 식품에 첨가하면 특유의 청량감 있는 단맛을 형성한다(Lee et al., 2015; Rice et al., 2019). 이전의 연구에서 솔비톨은 육포의 수율 증가와 전단력 감소에도 긍정적인 효과가 나타내었으나(Jang et al., 2015; Sorapukdee et al., 2016), 과량의 솔비톨 첨가는 이질적인 단맛을 형성하기 때문에 설탕 완전 대체를 목적으로 솔비톨만을 활용하기에는 제한이 따른다. 따라서, 두 가지 이상의 대체감미료를 혼합하여 적용 식품에 따른 최적의 단맛을 구현하는 혼합당 연구 동향을 고려한다면 알룰로스와 솔비톨의 혼합 비율 최적화를 위한 선행 연구를 통해 향후 무설탕 육포의 개발이 가능하리라 기대된다.

반응표면분석법(response surface methodology)은 식품의 품질 및 기호성 개선을 위한 원재료 혼합 비율 최적화에 널리 쓰이는 통계 기법으로, 무설탕 가공식품 제조를 위한 혼합당 첨가 비율 최적화에도 활용되어 왔다(Acosta et al., 2008; Yang et al., 2013). 따라서, 본 연구의 목적은 무설탕 닭가슴살 육포를 개발하기 위한 선행연구로서 반응표면분석법을 활용하여 기호성이 우수한 동시에 품질특성의 향상을 기대할 수 있는 알룰로스와 솔비톨의 혼합 비율을 최적화 하는 데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 반응표면분석 실험계획

무설탕 닭가슴살 육포의 품질특성 향상 및 기호성 저하를 최소화하는 알룰로스와 솔비톨의 혼합 비율을 최적화하기 위하여 면중심합성계획법으로 반응표면분석(response surface methodology, RSM) 실험을 설계하였다(ver. 19 Minitab, Minitab Inc., USA). 독립변수는 알룰로스 첨가량(0-2% (w/w),

X_1)과 솔비톨 첨가량(0-2% (w/w), X_2)을 -1, 0, +1의 3단계로 부호화하여 13구간의 제조 실험을 실시하였다(Table 1). 종속변수(Y)는 육포의 일반적인 품질특성에 해당하는 건조 수율, pH, 색상각, 전단력 및 관능평가(짠맛, 단맛 및 전체적 만족도)를 실시하였고, 3회 반복 측정된 평균값을 분석에 사용하였다.

2. 무설탕 닭가슴살 육포의 제조공정

육포 제조에 사용한 닭가슴살(*M. pectoralis major*)은 국내산 냉동 제품(Harim Co., Ltd., Korea)을 시중 마트에서 구입하였다. 냉동 닭가슴살은 4°C 냉장고에서 24시간 동안 해동하였고, 해동을 마친 닭가슴살은 햄슬라이서(HS-1SA, Fujee Co., Korea)를 이용하여 8 mm 두께로 절단하였다. 염지액은 닭가슴살 1,000 g 당 100 g의 정제수에 2.0 g nitrite pickled salt(NPS), 8.0 g 정제염, 5.0 g 염화칼륨, 2.0g 에리소르빈산나트륨(sodium erythorbate), 8.0 g 글루탐산나트륨(mono-sodium glutamate), 6.0 g 흑후추 분말, 7.0 g 마늘분, 7.0 g 글루코노델타락톤(D-gluconic acid delta-lactone) 및 1.2 g 소브산칼륨(potassium sorbate)을 동일하게 첨가하였고, 알룰로스와 솔비톨은 Table 1에 나타난 바와 같이 각 구간에서 설정된 첨가량을 염지액에 함께 혼합하였다. 이후 절단한 닭가슴살은 염지액과 7 rpm의 회전속도로 1시간 동안 진공 텀블링을 실시하였다(MGH 20 STL, Vakona GmbH, Germany). 텀블링을 마친 염지 닭가슴살은 겹치는 부분이 없도록 채반 위에 퍼서 75°C로 설정한 열풍건조기(DG-115A, Hyundai Enertec Co., Korea)에서 2시간 동안 건조하고, 닭가슴살을 뒤집어 다시 2시간 동안 동일한 조건에서 건조를 실시하였다. 건조를 마친 닭가슴살은 상온에서 6시간 동안 방냉한 이후 진공포장하여 이화학적 및 관능적 품질 분석에 사용하였다.

3. 무설탕 닭가슴살 육포의 이화학적 및 관능적 특성 평가

1) 건조수율(Drying Yield)

무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율은 건조 이전 염지 닭가슴살의 무게와 건조 이후의 방냉한 시료의 무게 차이를 백분율로 산출하였다. 건조수율을 계산한 수식은 다음과 같다.

Table 1. Face centered design for optimization of mixing ratio between allulose and sorbitol in sugar-free chicken jerky

Run	Experimental factor			
	Code value		Real value (% w/w)	
	X_1 (allulose)	X_2 (sorbitol)	X_1 (allulose)	X_2 (sorbitol)
1	1	0	2	1
2	0	0	1	1
3	-1	0	0	1
4	0	-1	1	0
5	0	0	1	1
6	-1	-1	0	0
7	-1	1	0	2
8	1	1	2	2
9	0	1	1	2
10	1	-1	1	0
11	0	0	1	1
12	0	0	1	1
13	0	0	1	1

$$\text{건조수율 (\%)} = (A - B) / A \times 100$$

A = 건조 이전 염지 닭가슴살의 무게 (g)

B = 건조 이후 방냉한 시료의 무게 (g)

2) pH 측정

무설탕 닭가슴살 육포의 pH는 전자 pH 측정기(Orion Star™ A211 pH Benchtop Meter, Thermo Scientific, USA)를 사용하여 측정하였다. 잘게 다진 시료 3 g에 3차 증류수 27 mL를 넣어 6,000 rpm으로 1분간 균질화하였다(HG-15A, Daihan Sci., Korea). 전자 pH 측정기는 pH 4.01 및 pH 7.0 표준 용액으로 보정하였고, 균질액 시료 당 총 3회 반복하여 측정하였다.

3) 색상각(Hue Angle)

건조 후 무설탕 닭가슴살 육포의 표면을 색차색도계(CR 400, Minolta, Japan)를 사용하여 명도(lightness)를 나타내는 CIE L*값, 적색도(redness)를 나타내는 CIE a*값과 황색도(yellowness)를 나타내는 CIE b*값을 측정하였다. 색차색도계는 CIE L*값이 +97.83, CIE a*값이 -0.43, CIE b*값이 +1.98인 백색 표준판을 이용하여 보정하였다. 색도 측정은 시료 당 6곳의 표면을 무작위로 측정하였고, 색상각은 다음의 수식을 사용하여 계산하였다(AMSA, 2012).

$$\text{색상각(hue angle)} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

4) 전단력(Shear Force) 측정

무설탕 닭가슴살 육포의 전단력은 Song 등(2020)의 측정 방법에 따라 측정하였다. 건조 육포에서 메스를 사용하여 근섬유 방향과 평행한 시료(1 × 3 × 0.3 cm)를 얻었으며, Warner-Bratzler V-blade를 장착한 물성 측정기(CT3, Brookfield Engineering Laboratories, INC., USA)를 사용하여 전단력을 측정하였다. 분석조건은 test speed 0.2 mm/min, trigger load 5 g, distance 20 mm으로 설정하였고, 시료를 절단하는 데 필요한 힘의 평균치를 계산한 후 산출하여 kg으로 표기하였다.

5) 관능평가

관능 평가는 20-30세 대학생 및 대학원생 10명(남자 8명, 여자 2명)을 대상으로 무설탕 닭가슴살 육포의 짠맛, 단맛 및 전체적인 선호도의 강도를 평가하였다. 짠맛은 0.1%(w/v), 0.2% 및 0.4% 염화나트륨 수용액, 단맛은 0.15%, 1.0% 및 2.0% 설탕 수용액 및 감칠맛은 0.1%, 0.2% 및 0.4% 글루탐산나트륨 수용액을 제조하여 각 맛의 강도를 순서대로 구분하는 사전 평가를 실시하였다. 알룰로스과 솔비톨을 첨가한 무설탕 닭가슴살 육포의 짠맛(1=아주 약한 짠맛, 9=아주 강한 짠맛), 단맛(1=아주 약한 단맛, 9=아주 강한 단맛) 및 전체적인 선호도(1=전혀 선호하지 않는 맛, 9=매우 선호하는 맛)는 9점 척도법으로 평가하였는데, 시료는 가로 2 cm 및 세로 2 cm 정도의 크기로 잘라 3자리의 난수를 적은 종이컵에 담아 제공하였다.

4. 통계분석

얻어진 데이터는 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)은 SPSS Statistics(ver. 18.0, IBM Corp., Armonk, USA)를 이용하여 유의성(p<0.05)을 분석하였고, 평균값과 평균의 표준오차(standard error of the mean, SEM)로 나타내었다. 평균값 차이는 Duncan의 다중검정을 통하여 유의성(p<0.05)을 검정하였다. 무설탕 닭가슴살 육포 제조를 위한 알룰로스와 솔비톨의 최적 혼합비율에 관한 반응표면분석은 Minitab(ver. 19.0, Minitab Inc., USA)을 이용하여 실시하였다. 모델의 적합성은 F-test의 유의성

으로 평가하였고, 각 반응은 2차원의 등고선도를 이용하여 나타내었다. 이어서 설정한 반응치에 관한 최적 혼합비율은 Minitab의 반응 최적화 도구로 산출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 무설탕 닭가슴살 육포의 이화학적 및 관능적 특성

알룰로스와 솔비톨의 혼합비율이 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율, pH, 색상각, 전단력 및 관능적 특성에 미치는 영향은 Table 2에 나타내었다. 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율은 32.7%~41.2%로 알룰로스와 솔비톨의 첨가량에 따른 유의적인 차이를 나타내었다. 알룰로스와 솔비톨을 각각 2%(w/w) 첨가한 무설탕 닭가슴살 육포 처리구(run 8)에서 가장 높은 건조수율을 나타낸 반면, 알룰로스와 솔비톨을 첨가하지 않은 처리구(run 6)에서 가장 낮은 건조수율이 관찰되었다($p < 0.05$). 이와 유사하게 이전의 연구에서도 솔비톨 등의 당알코올을 첨가하면 육포의 수율 및 보수력을 개선할 수 있다고 보고하였고, 이는 당알코올의 보습성과 관련이 있다고 사료된다(Jang et al., 2015; Sorapukdee et al., 2016). 또한, 동량의 첨가수준에서 알룰로스 처리구(run 4)는 솔비톨 처리구(run 3)보다 건조수율 개선에 효과적인 것으로 관찰되었다. 최근의 연구에서 알룰로스의 첨가는 소시지 혹은 분쇄육제품에서 보수력 개선 효과를 나타낸다고 보고되었으며(Hong et al., 2020; Hadipernata et al., 2016), 나아가 본 연구는 알룰로스 첨가가 육포의 보습성 개선에도 효과적인 소재로 활용될 수 있음을 보여준다.

무설탕 닭가슴살 육포의 pH는 5.6-5.9 범위에서 관찰되었으나, 알룰로스와 솔비톨의 첨가량에 의한 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 이전의 연구(Nam et al., 2017)에서도 백설탕, 황설탕, 물엿 및

Table 2. Physicochemical and sensory properties of sugar-free chicken breast jerky with allulose and sorbitol

Run	Factor (% , w/w)		Response variable						
	X ₁ (allulose)	X ₂ (sorbitol)	Drying yield (%)	pH	Hue angle	Shear force (kg)	Salti- -ness ²⁾	Sweet- -ness ³⁾	Overall acceptance ⁴⁾
1	2	1	39.4 ^{ab}	5.7	36.2	6.4 ^e	5.3	6.0 ^a	4.0
2	1	1	34.8 ^{cd}	5.8	36.4	7.1 ^d	3.3	4.3 ^{ab}	5.0
3	0	1	33.2 ^{cd}	5.8	40.1	7.5 ^{cd}	4.3	6.3 ^a	5.3
4	1	0	37.6 ^{abc}	5.8	36.4	7.5 ^{cd}	3.0	5.0 ^a	5.3
5	1	1	34.2 ^{cd}	5.6	32.6	7.5 ^{cd}	5.0	4.7 ^{ab}	5.4
6	0	0	32.7 ^d	5.7	31.0	9.1 ^a	3.7	2.3 ^b	2.7
7	0	2	36.3 ^{bcd}	5.9	43.4	8.7 ^{ab}	4.3	4.3 ^{ab}	3.0
8	2	2	41.2 ^a	5.8	33.6	6.3 ^e	4.7	6.3 ^a	3.3
9	1	2	39.5 ^{ab}	5.7	34.0	7.2 ^d	5.3	5.0 ^a	4.7
10	1	0	34.1 ^{cd}	5.7	34.4	8.7 ^b	4.3	5.7 ^a	3.0
11	1	1	36.2 ^{bcd}	5.8	36.2	7.2 ^d	4.0	5.0 ^a	5.1
12	1	1	35.9 ^{bcd}	5.8	34.8	7.5 ^{cd}	4.3	5.0 ^a	5.7
13	1	1	35.4 ^{bcd}	5.9	42.4	7.6 ^{cd}	3.3	5.3 ^a	5.3
SEM ¹⁾	-	-	0.45	0.12	1.02	0.23	0.21	0.20	0.28
p value	-	-	<0.001	NS ⁵⁾	NS	<0.001	NS	<0.001	NS

¹⁾SEM: standard error of the means.

²⁾Saltiness: 1 = not salty and 9 = too salty.

³⁾Sweetness: 1 = not sweet and 9 = too sweet.

⁴⁾Overall acceptance: 1 = not preferred and 9 = very preferred.

⁵⁾NS: non-significance ($p > 0.05$).

^{a-e)}Means sharing the same letters in each column are not significantly different ($p > 0.05$).

프락토 올리고당에 침지한 닭가슴살 육포의 pH는 각각 5.90, 5.83, 5.71 및 5.91이라고 보고하여 본 연구와 유사한 pH 범위를 나타내었다. 또한, Jang 등(2015)은 5%(w/w) 첨가 수준에서 솔비톨이 반건조 육포의 pH에 미치는 영향이 없다고 보고하였다.

무설탕 닭가슴살 육포의 건조 중 마이야르 반응에 의한 갈변도 차이를 비교하기 위해 색상각(hue angle)을 측정하였다. 그러나 알룰로스과 솔비톨의 첨가량에 따른 무설탕 닭가슴살 육포의 색상각 차이는 나타나지 않았다. 알룰로스는 식품의 열처리 과정 중 마이야르 반응에 관여할 수 있다고 보고된 바 있으나 (Miyoshi et al., 2019), 솔비톨은 마이야르 반응을 거의 초래하지 않아 일부 가열 식품의 색상 개선에 사용되는 경우가 있다(Davies and Labuza, 1997). 본 연구는 설정된 2%(w/w) 첨가범위 내에서 알룰로스과 솔비톨의 혼합비율이 무설탕 닭가슴살 육포의 색 형성에 미치는 영향이 크지 않음을 보여준다.

무설탕 닭가슴살 육포의 전단력은 6.3-9.1 kg 수준으로 알룰로스 및 솔비톨 첨가량에 의한 뚜렷한 차이가 나타났다($p < 0.001$). 알룰로스 및 솔비톨을 첨가하지 않은 경우 무설탕 닭가슴살 육포(run 6)의 전단력은 9.1 kg으로 가장 높은 수치를 나타내었고($p < 0.05$), 2%(w/w) 알룰로스와 2%(w/w) 솔비톨을 첨가한 경우, 무설탕 닭가슴살 육포(run 8)의 전단력은 6.3 kg 수준으로 감소하였다($p < 0.05$). 따라서, 본 연구결과는 알룰로스 혹은 솔비톨이 육포의 연도를 개선할 수 있음을 보여주며, 이는 솔비톨의 활용에 관한 이전의 연구에서도 유사한 결과가 보고된 바 있다. Kim 등(2010)은 돼지고기 육포의 전단력이 솔비톨을 첨가하지 않은 경우 7.14 kg 수준이나, 2% 솔비톨을 첨가하여 4.14 kg으로 유의적인 감소가 나타났다고 보고하였다. 또한, Jang 등(2015)은 2.5% 솔비톨 첨가로 반건조 육포의 전단력이 감소하는 경향을 나타낸다고 보고하였다. 따라서, 솔비톨 첨가로 증가한 건조 수율을 고려하면 전단력의 감소 또한 당알코올의 흡습성(hygroscopic)과 관련이 있다고 판단된다. 이와 유사하게 알룰로스 첨가에 의한 식육가공품의 보수력 향상이 관찰되었고, 알룰로스 첨가에 의한 전단력 감소도 건조수율의 증가와 관련이 있다고 사료된다(Hong et al., 2020).

무설탕 닭가슴살 육포의 짠맛, 단맛 및 전체적인 선호도를 평가한 결과, 알룰로스과 솔비톨의 첨가량에 따른 단맛의 유의적인 차이가 관찰되었다. 예상한 바와 같이, 알룰로스와 솔비톨을 첨가하지 않은 경우(run 6) 가장 낮은 단맛 강도를 나타내었다($p < 0.05$). 반면 짠맛과 전체적인 선호도는 본 연구에서 설정한 알룰로스와 솔비톨의 혼합 비율 내에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 일반적으로 일정 수준의 단맛과 짠맛의 혼합은 단맛을 강화한다고 알려졌으나, 최근 Jo와 Yoon(2021)은 짠맛-단맛 간의 이원 상호작용으로 설탕의 단맛이 짠맛을 억제할 수 있다고 보고하였다. 즉, 설탕과 소금의 이원 상호작용에 의한 상호 맛의 변화는 적용 식품에 따라 상반된 결과를 나타낼 수 있다. 나아가 본 연구에서 알룰로스와 솔비톨의 첨가 비율이 짠맛에 영향을 미치지 않은 결과는 당 종류에 따라 소금과의 상호작용 기작이 다를 수 있음을 의미한다고 사료된다.

2. 알룰로스과 솔비톨의 혼합비율 최적화

알룰로스과 솔비톨의 혼합비율이 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율, 전단력, 단맛 및 전체적인 선호도에 미치는 영향에 관한 모델 방정식은 Table 3에 나타내었다. 앞서 언급한 반응치에 대한 quadratic 모델의 신뢰성(R^2)은 0.74-0.83 수준으로 독립변수에 대한 반응치의 변화를 신뢰성 있게 설명할 수 있다고 판단된다($p < 0.05$). 각각의 모델 방정식에서 알룰로스과 솔비톨의 첨가량에 의한 반응치 변화에 관한 등고선도는 Fig. 1에 나타내었다. 알룰로스과 솔비톨 첨가량 증가는 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율을 증가시켰다($p < 0.05$). 알룰로스의 첨가는 솔비톨에 비해 무설탕 닭가슴살 육포의 전단력을 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 알룰로스과 솔비톨의 첨가량 증가는 단맛의 유의적인 증가를 나타내었으나, 전체적인 기호성에서 중앙의 최고점을 나타낸 결과를 미뤄본다면 알룰로스과 솔비톨의 최적 혼합비율 설정이 향후 무설탕 육포 개발에서 중요한 의미를 나타낸다고 사료된다.

나아가 본 연구에서 무설탕 닭가슴살 육포의 품질특성 중 알룰로스과 솔비톨의 첨가량에 따른 유의적인 변화를 나타낸 건조수율, 전단력, 단맛 및 전체적인 선호도 중 건조수율, 단맛 및 전체적인

Table 3. Analysis of predicted model equation for drying yield, shear force, sweetness, and overall acceptance of sugar-free chicken breast jerkies with allulose and sorbitol

Response	Model	Polynomial equation	R ²	F value	p value
Drying yield	Quadratic	$Y_1 = 33.36 + 2.58X_1 - 1.95X_2 - 0.674X_1 \times X_1 + 1.587X_2 \times X_2 + 0.866X_1 \times X_2$	0.77	4.90	0.030
Shear force	Quadratic	$Y_1 = 8.710 - 0.979X_1 - 0.752X_2 - 0.113X_1 \times X_1 + 0.265X_2 \times X_2 + 0.148X_1 \times X_2$	0.83	7.00	0.012
Sweetness	Quadratic	$Y_1 = 2.865 + 2.060X_1 + 0.727X_2 - 0.489X_1 \times X_1 + 0.178X_2 \times X_2 - 0.250X_1 \times X_2$	0.80	5.68	0.021
Overall acceptance	Quadratic	$Y_1 = 3.277 + 2.757X_1 + 1.646X_2 - 1.087X_1 \times X_1 - 0.753X_2 \times X_2 - 0.417X_1 \times X_2$	0.74	4.18	0.044

Y₁: response variable; X₁: allulose (% w/w); X₂: sorbitol (%w/w).

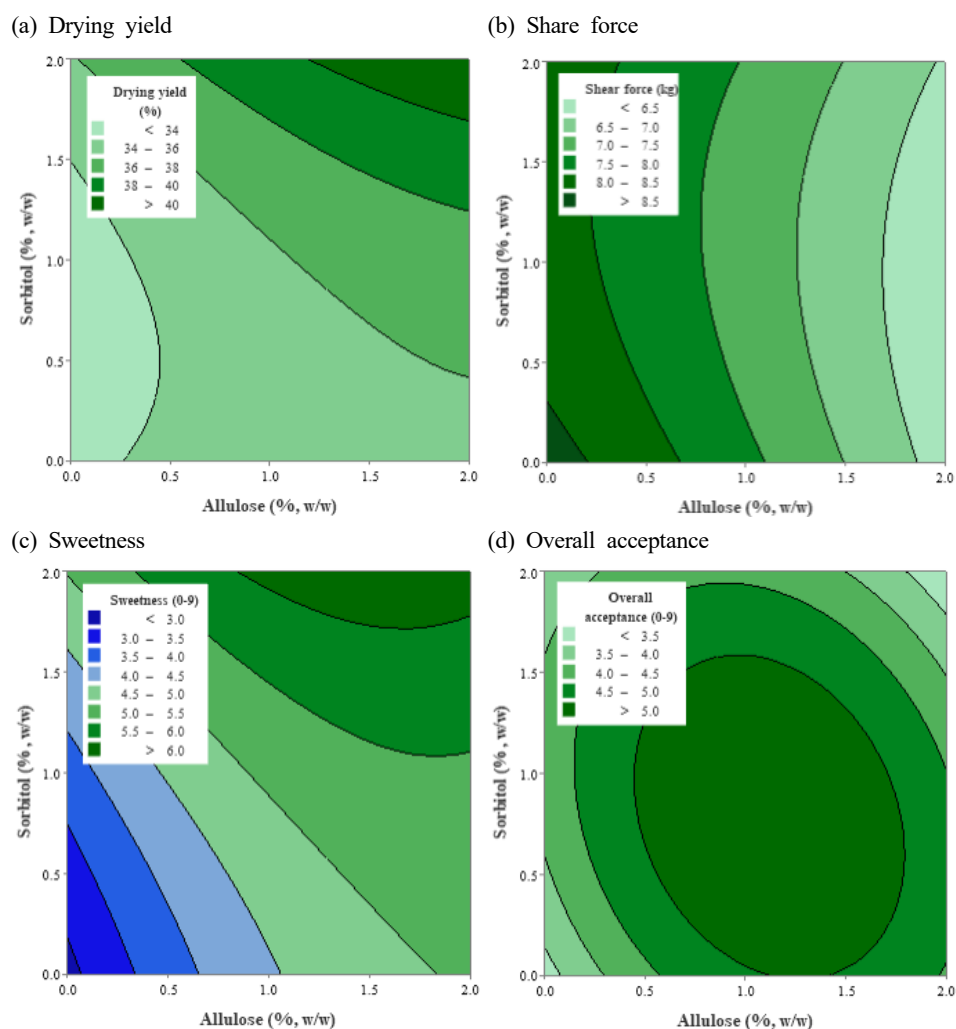


Fig. 1. Contour plots from face centered design for optimizing effects of mixing ratio between allulose and sorbitol on drying yield (a), shear force (b), sweetness (c), and overall acceptance (d).

기호성의 최대치와 전단력 최소치를 품질 특성 목표로 설정하고자 해당 반응치를 목표함수로 설정하였다(Fig. 2). 그 결과, 알룰로스와 솔비톨의 최적 배합 조건은 1.6%(w/w) 및 1.7%(w/w)로 나타났으며, 해당 첨가 수준에서 건조수율은 39.2%, 전단력은 6.7 kg, 단맛은 5.9점(9점 척도) 및 전체적인 만족도는 4.5점(9점 척도)을 만족하는 것으로 예측되었다.

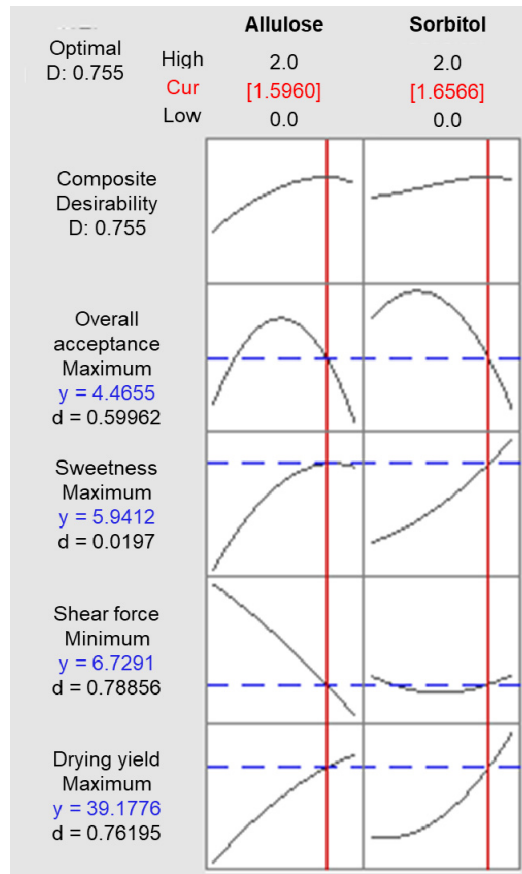


Fig. 2. Optimization of mixing ratio between allulose and sorbitol for improving drying yield, shear force, sweetness, and overall acceptance of sugar-free chicken breast jerky.

이전의 연구에서 닭가슴살은 고단백의 건강지향적 육포 제품 생산을 위한 원료육으로 여러 연구에서 고려되었으나, 제조공정, 식품첨가물 및 건조공정 등이 상이하어 품질 분석에 관한 절대적 관측치 비교가 어렵다. 그러나 향후 보다 건강지향적 닭가슴살 육포 제품 개발을 위해 당 소재에 따른 물성 및 관능적 특성 변화를 고려할 필요가 있다(Nam et al., 2017). 한편, Wongwiwat와 Wattanachant(2015)는 설탕, 프럭토스 및 솔비톨을 70:15:15의 비율로 제조한 혼합당으로 닭가슴살 육포를 제조하면 설탕으로 제조한 대조구보다 낮은 전단력을 나타낸다고 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 또한, Sorapukdee 등(2016)은 재구성 닭가슴살 육포에서도 10%(w/w) 이상의 글리세롤 혹은 솔비톨 첨가가 건조수율 증가 및 전단력 감소를 기대할 수 있다고 하였다. 따라서, 과거 육포 제조에 주로 사용한 우육 혹은 돈육과 달리 쉽게 부서지는 조직학적 특성을 가지는 닭가슴살 육포의 기호성 향상을 위해 알룰로스의 활용이 가능하며 무설탕 닭가슴살 육포의 품질 개선을 위해 솔비톨과의 혼합 첨가 효과가 우수하다고 판단된다.

IV. 요약

본 연구는 고단백질을 제공하는 건강지향적 닭가슴살 육포를 제조하기 위해 관능적 특성의 저하 없이 설탕을 대체할 수 있는 알룰로스 및 솔비톨의 최적 혼합 비율을 설정하고자 수행하였다. 무설탕 닭가슴살 육포의 이화학적 및 관능적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 반응표면분석법으로 0-2%(w/w) 알룰로스와 0-2%(w/w) 솔비톨의 최적 배합비율을 분석하였다. 알룰로스와 솔비톨의 혼합

비율은 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율, 전단력 및 단맛에 유의적인 영향을 미쳤으나, pH, 색상각, 짠맛 및 전체적인 선호도에 미치는 영향은 나타나지 않았다($p>0.05$). 이 중 건조수율, 전단력, 단맛 및 전체적인 선호도는 quadratic 모델에서 유의성($p<0.05$) 및 높은 신뢰성(R^2)을 나타내었다. 나아가 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율(39.2%), 단맛(5.9 점) 및 전체적인 선호도(4.5 점)의 최대치와 전단력(6.7 kg) 최소치를 기대할 수 있는 알룰로스와 솔비톨의 최적 배합 조건은 각각 1.6%(w/w) 및 1.7%(w/w)로 나타났다. 본 연구는 알룰로스와 솔비톨 첨가량의 최적화를 통해 무설탕 닭가슴살 육포의 건조수율과 전단력 등의 품질개선이 가능한 동시에 관능적 기호도 저하를 최소화 할 수 있음을 시사한다.

V. Acknowledgements

This work was supported by the Technology development Program(No. S3309665) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).

VI. 참고문헌

1. Acosta O, Viquez F, Cubero, E. 2008. Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology. *Food Qual Pref* 19:79-85.
2. AMSA. 2012. Meat color measurement guidelines. American Meat Science Association, Champaign.
3. Daniel H, Hauner H, Hornel M, Clavel T. 2022. Allulose in human diet: The knowns and the unknowns. *Br J Nutr* 128:172-178.
4. Davies CGA, Labuza TP. 1997. The Maillard reaction: Application to confectionery products. *Confect Sci* 33:35-66.
5. Go ES, Choi JH, Chu JH, Kim YJ, Kim SB, Ahn HD, Choi HY. 2023. Quality characteristics of muffin prepared with alternative sweeteners erythritol and sucralose. *J Korean Sco Food Sci Nutr* 52:1057-1064.
6. Hadipernata M, Ogawa M, Hayakawa S. 2016. Effect of D-allulose on rheological properties of chicken breast sausage. *Poult Sci* 95:2120-2128.
7. Hong JH, Kim HY, Kang SH, Baek UB, You JS, Han JW, Kok M. 2020. Quality properties of chicken breast Tteokgalbi with D-allulose and sprout-barley. *Resour Sci Res* 2:18-27.
8. Hwang JY, Lee SM. 2018. Studies on the characteristics of muffins prepared with allulose. *Korean J Food Nutr* 31:195-201.
9. Jang SJ, Kim HW, Hwang KE, Song DH, Kim YJ, Ham YK, Lim YB, Jeong TJ, Kim SY, Kim CJ. 2015. Effects of replacing sucrose with various sugar alcohols on quality properties of semi-dried jerky. *Korean J Food Sci An* 35:622-629.
10. Jo YJ, Yoon HH. 2021. Saltiness enhancement effects of basic taste components by binary interactions. *Culi Sci & Hos Res* 27:29-39.
11. Kim GD, Jung EY, Seo HW, Joo ST, Yang HS. 2010. Textural and sensory properties of pork jerky adjusted with tenderizers or humectant. *Korean J Food Sci Ani Resour* 30:930-937.
12. Lee HW, Shin JK. 2022. Quality properties of sponge cake according to replacement ratio of allulose. *Food Eng Prog* 26:147-155.

13. Lee SH, Lee JR, Kim JH. 2015. Manufacturing characteristics and its color change of chewing gum coated various polyols. *Culi Sci & Hos Res* 21:303-311.
14. Miyoshi M, Kimura I, Inazu T, Izumori K. 2019. High sensitivity analysis and food processing stability of rare sugars. *Food Sci Technol Res* 25:891-901.
15. Nam DG, Jeong BG, Chun J. 2017. Physicochemical properties and oxidative stabilities of chicken breast jerky treated various sweetening agents. *Korean J Food Preserv* 24:84-92.
16. Rice T, Zannini E, Arendt EK, Coffey A. 2019. A review of polyols – biotechnological production, food applications, regulation, labeling and health effects. *Crit Rev Food Sci Nutr* 26:2229-2242.
17. Song DH, Hwang YJ, Ham YK, Ha JH, Kim YR, Kim HW. 2020. Meat quality attributes and oxidation stability of loin chops from finishing gilts and cull sows. *J Food Sci Technol* 57:3142-3150.
18. Sorapukdee S, Uesakulrungrueng C, Pilasombut K. 2016. Effects of humectant and roasting on physicochemical and sensory properties of jerky made from spent hen meat. *Korean J Food Sci An* 36:326-334.
19. Wongwiwat P, Wattanachant S. 2015. Quality changes of chicken meat jerky with different sweeteners during storage. *J Food Sci Technol* 52:8329-8335.
20. Xia Y, Cheng Q, Mu W, Hu X, Sun Z, Qiu Y, Liu X, Wang Z. 2021. Research advances of D-allulose: An overview of physiological functions, enzymatic biotransformation technologies, and production processes. *Foods* 10:2186.
21. Yang NE, Lee DH, Lee SH, Kang SG, Kim, HY, Kim HW. 2023. Sodium and sugar reduction strategy to develop senior-friendly jerky. *Food Sci Ind* 10:8-16.
22. Yang X, Lu, Y, Hu, G. 2013. Optimization of sweetener formulation in sugar-free yoghurt using response surface methodology. *CyTa-J Food* 18:500-507.
23. 한국농수산식품유통공사. 2023. 식품산업통계정보시스템. Available from: <https://www.atfis.or.kr/home/board/FB0002.do?act=read&bpoId=4607>. Accessed at Apl 07. 2023.