

ARTICLE

반응표면분석을 이용한 카파 카라기난과 염화칼슘 첨가 고령친화형 젤라틴 젤의 최적 배합비율 확립

송 동 현¹ · 김 현 옥^{2,3*}

¹국립축산과학원 축산물이용과, ²경상국립대학교 동물생명융합학부, ³경상국립대학교 생명자원과학과

Establishment of Mixing Ratios for Senior-Friendly Gelatin Gels Formulated with κ -Carrageenan and Calcium Chloride using the Response Surface Methodology

Dong-Heon Song¹, Hyun-Wook Kim^{2,3*}

¹Animal Products Research and Development Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Division of Animal Bioscience & Integrated Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

³Department of GreenBio Science, Gyeongsang National University, Jinju 52725, Korea

Received: April 29, 2022

Revised: May 26, 2022

Accepted: May 27, 2022

*Corresponding author :

Hyun-Wook Kim

Department of Animal Science &

Biotechnology, Gyeongsang National

University, Jinju 52725, Korea

Tel : +82-55-772-3261

E-mail : hwkim@gnu.ac.kr

Copyright © 2022 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

Dong-Heon Song

<https://orcid.org/0000-0002-4670-3321>

Hyun-Wook Kim

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

Abstract

The objective of this study was to determine the optimal mixing ratios of pork skin gelatin, κ -carrageenan, and calcium chloride for manufacturing senior-friendly gelatin gels with hardness for tongue or gum intake, as well as fulfilling protein, dietary fiber, and calcium contents of the Korean industry standard (KS) for senior-friendly foods. The optimal mixing ratio of the ingredients was determined within 6.60~33.3% (w/v) pork skin gelatin, 2.50~6.25% (w/v) κ -carrageenan, and 0.235~2.351% (w/v) calcium chloride using response surface methodology. The mixing ratios for the senior-friendly gelatin having the hardness of 2 to 5 N/cm² were predicted as 6.605~11.331% (w/v) pork skin gelatin, 2.74~6.25% (w/v) κ -carrageenan, and 0.235% (w/v) calcium chloride. The amounts of nutrients (proximate composition, calcium, and dietary fiber contents) in the senior-friendly gelatin gels were significantly affected by changing the mixing ratio of the three ingredients. In conclusion, thereby mixing 6.605~11.331% (w/v) pork skin gelatin, 2.74~6.25% (w/v) κ -carrageenan, and 0.235% (w/v) calcium chloride, it could be confirmed to control the hardness corresponding to 2nd to 3rd hardness grades of senior-friendly gelatin gels, with fulfilling the nutrients standards for 6 g of protein, 80 mg of calcium, and 2.5 g of dietary fiber per 100 g of product.

Keywords

Calcium chloride, Carrageenan, Jelly food, Pork skin gelatin, Senior-friendly food

1. 서론

우리나라 전체 인구 중 65세 이상 고령인구가 차지하는 비율은 2020년 기준 15.7%이며, 오는 2025년에 고령화 비율이 20%를 넘어 초고령사회 (super-aged society)에 진입할 것으로 예상된다 (KOSTAT, 2021). 우리나라의 급격한 고령화 속도는 사회 전반에서 상당한 변화를 초래할 것으로 예상됨에 따라 고령친화 9대 분야 (요양, 의약품, 식품, 화장품, 의료기기, 용품, 금융, 주거 및 여가)에서 시장 규모의 확대 및 관련 산업 분야의 집중적인 육성이 이뤄지고 있다. 식품 분야에서도 고령자의 영양 요구 특성 및 일반 식품 섭취의 어려움 (저작, 연하 및 소화 장애)을 고려한 고령친화식품 개발의 필요성이 강조되고 있다 (Song *et al.*, 2021). 고령친화식품 한국산업표준은 3단계의 경도 기준 (치아 섭취, 잇몸

섭취 및 혀로 섭취)과 9종의 영양 성분 기준 (단백질, 비타민 A, 비타민 C, 비타민 D, 리보플라빈, 나이아신, 칼슘, 칼륨 및 식이섬유)을 제시한다 (KS H 4897, 2020). 따라서, 국내 고령친화식품의 기본적인 개발 전략은 일반 식품에 비해 경도를 감소하기 위한 가공기술을 접목함과 동시에 식품첨가물을 활용한 영양 성분의 강화를 포함한다.

젤라틴 젤은 경도 조절이 용이한 가공상의 이점 때문에 고령친화식품 개발에 활용도가 우수하다. 이전의 연구에 따르면 6% (w/v) 젤라틴 젤의 경도는 61,000 N/m² 수준으로 고령친화식품 한국산업표준 중 단백질 함량 기준인 100 g 당 6 g의 수준에서 경도 기준 2단계 (잇몸 섭취)에 해당한다고 평가되었다 (Noh *et al.*, 2020). 즉, 단백질 보충을 위한 고령친화식품을 개발한다면 젤라틴을 주성분으로 하는 젤리푸드를 활용하여 단백질 함량과 경도 기준을 충족할 수 있다고 기대된다. 그러나 단백질 이외의 영양 성분이 매우 적은 편이고, 젤라틴은 다른 동물성 단백질과 비교하여 필수 아미노산 함량이 낮다 (Liu *et al.*, 2015). 따라서, 고령친화식품 한국산업표준의 영양 성분 기준을 고려한다면, 고령자가 건강한 삶을 유지하는데 필요한 식이섬유, 비타민 및 무기질 성분을 강화하기 위한 가공기술의 개발이 필요하다.

식이섬유는 체내 소화 효소로 분해가 어려운 난소화성 다당류로 섭취 시 장내 미생물의 먹이원이 되어 유용 미생물의 장내 증식 및 대사산물 생성에 의한 생리기능의 향상을 기대할 수 있다 (Shin, 2019). 실제로 식이섬유 섭취량이 줄어들면 장내 미생물의 생리적 유용 기능이 저하되기 때문에 고령자에게 충분한 식이섬유의 공급이 중요하다 (Shin, 2019). 카라기난 (carrageenan)은 홍조류를 알칼리 조건하에서 가열하면 얻어지는 대표적인 수용성 식이섬유이다. 카라기난의 종류는 황산염 함량에 따라 카파 카라기난 (κ -carrageenan), 이오타 카라기난 (ι -carrageenan), 람다 카라기난 (λ -carrageenan)으로 구분하며, 식품산업에서는 증점제, 안정제 및 젤 형성제 등으로 사용한다. 특히, 카파 카라기난은 칼륨 혹은 칼슘 이온의 존재 하에서 단단한 젤을 형성하는 특성이 있다 (Petracci *et al.*, 2013). 최근 Derkach 등 (2018)은 카라기난과 젤라틴을 혼합한 젤의 물성 특성이 카라기난과 젤라틴의 혼합 비율의 영향을 받는다고 보고하였다. 따라서, 고령친화형 젤라틴 젤의 식이섬유 강화를 위해 카라기난을 첨가하는 경우 혼합 비율에 따른 경도 변화를 평가하여야 한다.

칼슘은 뼈와 치아의 주요 구성성분이고, 체내에서 혈액응고, 근육수축, 신경세포 자극전달 등 다양한 조절 기능을 수행한다 (Paik *et al.*, 2016). 일반 성인의 경우, 1일 칼슘 섭취량은 남성 800 mg 및 여성 700 mg으로 권장되지만, 우리나라 성인 남성 84% 및 여성 73.5%에서 칼슘 섭취가 부족하다고 조사된 바 있다 (Hur *et al.*, 2018). 특히, 칼슘의 부족은 골다공증을 야기하는 주요한 원인이 되기 때문에 고령자에게 충분한 칼슘 공급이 필요하다 (Paik *et al.*, 2016). 염화칼슘 (calcium chloride)은 식품산업에서 칼슘 공급원으로 활용하는 대표적 식품첨가물로 전체 중량 중 약 36.11%의 칼슘을 함유한다. 또한, 염화칼슘에 함유된 칼슘 이온은 카파 카라기난을 용해하여 젤화가 가능하게 하는 기능적 특성이 있어 젤라틴 젤에 첨가할 경우, 물성 특성에 영향을 미칠 수 있는 인자에 해당한다 (MacArtain *et al.*, 2003). 한편 Jeong 등 (2015)은 과도한 염화칼슘의 활용이 쓴맛을 초래하여 식품의 관능적 특성을 저하시킬 수 있으므로 물리적 및 영양적 효과를 개선할 수 있는 수준에서 최소량의 사용을 권장하였다.

따라서, 식이섬유와 칼슘 성분 강화를 위한 카라기난 및 염화칼슘의 활용은 첨가 수준에 따라 젤라틴 젤의 영양 성분 및 물성 특성에 상당한 변화를 야기할 수 있다. 그러나, 고령친화형 젤라틴 젤을 개발하는데 젤라틴-카라기난 상호작용 및 염화칼슘의 혼합 사용에 따른 물성 특성 연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 젤라틴 젤의 식이섬유 및 칼슘 성분의 강화를 위해 반응표면분석을 통한 고령친화 식품 한국산업표준의 경도 기준 2단계 및 3단계에 속하는 젤라틴, 카라기난 및 염화칼슘의 최적 배합 조건을 확립하고 고령친화형 젤라틴 젤의 품질특성을 평가하기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

공시재료

본 연구는 돈피젤라틴 (Italgel, Italgelatine S.P.A., Cuneo, Italia), 카파 카라기난 (κ -carrageenan, ES Food, Gunpo, Korea) 및 염화칼슘 (94% CaCl₂, ES Food, Gunpo, Korea)을 사용하였다.

최적 배합비율 확립을 위한 실험설계

고령친화식품 한국산업표준의 경도 기준 2단계와 3단계에 속하는 젤라틴 젤의 식이섬유와 칼슘 함량 강화를 위한 최적 배합조건을 확립하기 위해 Minitab (ver. 19, Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하여 실험 디자인은 면중심합성법으로 설계하였다. 고령친화형 젤라틴 젤의 품질특성에 영향을 미치는 요인으로 돈피젤라틴 함량 (X_1), 카파 카라기난 함량 (X_2) 및 염화칼슘 함량 (X_3)을 독립변수 (X)로 설정하였고, -1, 0, +1의 3단계로 부호화하였다 (Table 1). 돈피젤라틴 분말의 첨가량은 조단백질 함량 (91.12%)에 근거하여 최종 제품의 단백질 농도가 6, 18, 30% (w/v)가 되도록 준비하

Table 1. Face centered design for optimization of senior-friendly gelatin gels formulated with pork skin gelatin, κ -carrageenan, and calcium chloride

Sample number	Experimental factor					
	Code value			Real value (% w/v)		
	X^1	X^2	X^3	Gelatin	Carrageenan	Calcium chloride
1	-1	-1	-1	6.60	2.50	0.235
2	1	-1	-1	33.00	2.50	0.235
3	-1	1	-1	6.60	6.25	0.235
4	1	1	-1	33.00	6.25	0.235
5	-1	-1	1	6.60	2.50	2.351
6	1	-1	1	33.00	2.50	2.351
7	-1	1	1	6.60	6.25	2.351
8	1	1	1	33.00	6.25	2.351
9	-1	0	0	6.60	4.375	1.293
10	1	0	0	33.00	4.375	1.293
11	0	-1	0	19.80	2.50	1.293
12	0	1	0	19.80	6.25	1.293
13	0	0	-1	19.80	4.375	0.235
14	0	0	1	19.80	4.375	2.351
15	0	0	0	19.80	4.375	1.293
16	0	0	0	19.80	4.375	1.293
17	0	0	0	19.80	4.375	1.293
18	0	0	0	19.80	4.375	1.293
19	0	0	0	19.80	4.375	1.293
20	0	0	0	19.80	4.375	1.293

여 최소 농도가 고령친화식품 영양성분 기준 중 단백질 함량 (6 g/100 g 이상)을 충족하도록 설정하였다. 카파 카라기난의 첨가량은 최소량의 경우 고령친화식품 영양성분 기준 (수용성 식이섬유 2.5 g/100 g)을 고려하였고, 최대량은 일일권장섭취량 (수용성 식이섬유 6.25 g/100 g)을 고려하여 설정하였다 (2.5, 4.75 및 6.25% (w/v)). 염화칼슘의 첨가량은 최소량의 경우 고령친화식품 영양성분 기준 중 칼슘 함량 (80 mg/100 g)을 고려하였고, 최대량은 칼슘의 일일권장섭취량 (800 mg/100 g)을 포함하는 염화칼슘의 양으로 설정하였다 (0.235, 1.293 및 2.351% (w/v)).

고령친화형 젤라틴 젤의 제조

고령친화형 젤라틴 젤은 돈피젤라틴, 카파 카라기난 및 염화칼슘 분말을 예열된 정제수 (65°C)에 용해 및 혼합하여 제조하였다. 혼합물은 균질기 (Ultra-Turrax T25, Janke & Kunkel, Staufen, Germany)를 이용하여 11,000 rpm으로 2분간 균질하고, 65°C의 배양기 (IB-15G, Jeio Tech., Kimpo, Kyonggido, Korea)에서 30분마다 재혼합하며 90분 동안 가열하였다. 가열한 시료는 4°C 냉장고에서 하루 동안 방냉 및 젤화한 이후 분석에 사용하였다.

물성 측정

시료는 $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ 로 절단한 후 texture analyzer (CT3, Brookfield Engineering Laboratories, Inc. Middleboro, MA, USA)를 이용하여 물성을 측정하였다. 시료를 plate 중앙에 놓고 직경 1 cm의 probe로 두 번 눌러 나타난 curve를 분석하여 경도를 구하였다. 분석 조건은 pre-test speed 1 mm/s, test speed 2 mm/s, post-test speed 10 mm/s, strain 70% compression으로 설정하였다.

pH 측정

고령친화형 젤라틴 젤의 pH는 시료가 응고되기 전 졸 (sol) 상태에서 pH-meter (Orion Star™ A211 pH Benchtop Meter, Thermo Scientific, USA)를 이용하여 시료 당 총 3회 측정하였다.

일반성분 분석

고령친화형 젤라틴 젤의 일반성분 분석은 AOAC (2000)법에 따라 수분 함량은 105°C 상압가열건 조법 (SW-90D, Sang Woo Scientific Co., Korea), 조단백질 함량은 질소단백질 분석기(Rapid N Cube, Elementar, Langensfeld, Germany), 조지방 함량은 Soxhlet법 (Soxtec Avanti 2050 Auto System, Foss Tecator AB, Sweden), 조회분 함량은 550°C 직접 회화법으로 정량을 실시하였다.

칼슘 함량 측정

고령친화형 젤라틴 젤의 칼슘 함량은 시료 0.5 g에 38% 질산 4 mL를 가하고, 고압력가열기 (Ultrawave Microwave Synthesis Systems, Milestone Inc., Santa Clara, CA, USA)를 사용하여 180°C에 30분간 분해하였다. 분해액은 3차 증류수를 가하여 50 mL로 정용 (mass up)한 후 0.45 μm hydrophilic teflon 필터로 여과하였다. 여과액은 유도결합플라즈마 분광광도계 (8300DV, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 나트륨 함량을 구하고, 시료 100 g 당 mg으로 나타내었다 (MFDS, 2019a).

식이섬유 함량 측정

고령친화형 젤라틴 젤의 식이섬유 함량은 식품공전의 효소 중량법을 이용하여 측정하였다. 건조된 시료 두 개를 준비하고 이를 내열성 α -아밀라아제 (Thermophile α -amylase), 프로테아제 (protease), 아밀로글루코시다제 (amylglucosidase)를 연속적으로 처리하여 전분과 단백질을 분해 및 제거하였

다. 총 식이섬유 (TDF) 정량은 효소 분해물에 녹아 있는 식이섬유를 에탄올로 처리하여 침전시켜 여과하고 에탄올과 아세톤으로 세척한 후 건조하여 그 무게를 확인하였다. 총 식이섬유 함량 계산 시 잔사 (residue)의 무게 중 단백질 및 회분량은 보정하였다. 식이섬유 함량은 시료 100 g 당 g으로 나타내었다 (MFDS, 2019b).

통계분석

고령친화형 젤의 제조에서 돈피젤라틴, 카파 카라기난 및 염화칼슘의 최적 배합비율에 대한 반응 표면분석은 Minitab (ver. 19.0, Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하여 실시하였다. 모델의 적합성은 F-test의 유의성으로 평가하였고, 각 반응은 3차원의 response surface plot을 이용하여 나타내었다. 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA)은 SPSS Statistics (ver. 18.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 실시하였고, 평균값과 평균의 표준오차로 나타내었다. 처리구의 평균값 차이는 Duncan의 다중검정을 통하여 유의성 ($p < 0.05$)을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

고령친화형 젤라틴 젤의 물성

돈피젤라틴, 카파 카라기난 및 염화칼슘의 배합비율에 따른 고령친화형 젤라틴 젤의 물성은 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 설정한 배합비율 하에서 고령친화형 젤라틴 젤의 경도 (hardness)는

Table 2. Textural properties of senior-friendly gelatin gels formulated with pork skin gelatin, κ -carrageenan, and calcium chloride

Sample number	Ingredient (% w/v)			Response				
	Gelatin	Carrageenan	Calcium chloride	Hardness (N/cm ²)	Springiness (ratio)	Cohesiveness (unitless)	Gumminess (N/cm ²)	Chewiness (N/cm ²)
1	6.60	2.50	0.235	1.51	0.02	0.08	<0.01	0.12
2	33.00	2.50	0.235	21.92	0.95	0.87	17.94	18.98
3	6.60	6.25	0.235	1.21	0.02	0.14	<0.01	0.17
4	33.00	6.25	0.235	32.48	0.92	0.74	21.88	23.83
5	6.60	2.50	2.351	2.37	0.08	0.17	0.04	0.41
6	33.00	2.50	2.351	28.43	0.92	0.77	19.89	21.69
7	6.60	6.25	2.351	1.45	0.06	0.15	0.01	0.21
8	33.00	6.25	2.351	37.40	0.92	0.73	24.92	27.13
9	6.60	4.375	1.293	1.65	0.05	0.12	0.01	0.20
10	33.00	4.375	1.293	34.50	0.93	0.76	24.48	26.33
11	19.80	2.50	1.293	10.58	0.91	0.70	6.70	7.33
12	19.80	6.25	1.293	12.93	0.90	0.62	7.14	7.95
13	19.80	4.375	0.235	15.56	0.01	0.06	0.61	0.71
14	19.80	4.375	2.351	18.81	0.75	0.46	6.49	8.64
15	19.80	4.375	1.293	12.13	0.72	0.29	2.61	3.53
16	19.80	4.375	1.293	17.50	0.82	0.36	5.34	6.41
17	19.80	4.375	1.293	19.55	0.81	0.44	7.31	8.52
18	19.80	4.375	1.293	17.36	0.87	0.48	7.18	8.27
19	19.80	4.375	1.293	14.68	0.80	0.30	3.57	4.43
20	19.80	4.375	1.293	17.30	0.74	0.35	4.69	6.09

1.21~37.40 N/cm², 탄력성 (springiness)은 0.02~0.95, 응집성은 0.08~0.87, 검성은 <0.01~24.92 및 씹힘성은 0.06~0.87의 범위를 나타내었다. 경도는 젤을 처음 씹을 때 느껴지는 단단한 정도를 의미하는데, 검성과 씹힘성에 영향을 미치는 1차적 주요 물성 인자이다 (Pons and Fiszman, 1996). 돈피젤라틴과 염화칼슘의 첨가량이 증가함에 따라 경도가 증가하는 경향이 나타났다. 젤라틴은 온도에 따라 졸(sol)-젤(gel)의 상변이가 가능하며, 일반적으로 젤라틴 농도가 증가함에 따라 가교결합(cross-linking)의 수가 많아져 경도가 증가하는 특성이 나타난다 (Michon *et al.*, 1993). 카파 카라기난은 칼슘 이온 농도에 의존적으로 젤 형성 특성이 변화하기 때문에 염화칼슘의 첨가량이 증가함에 따라 젤라틴 젤의 경도가 증가한 것으로 사료된다 (Evageliou *et al.*, 2019). 그러나 젤라틴-카파 카라기난의 상호작용에 있어 카라기난의 혼합 비율이 증가함에 따라 젤 형성능이 향상되었으나, 카파 카라기난과 젤라틴의 혼합 비율이 4:96 이상인 경우 카파 카라기난의 비율이 증가함에 따라 젤 형성능은 감소하게 된다 (Sow *et al.*, 2018). 본 연구에서는 카파 카라기난 함량이 4.375 g/100 g 이상인 경우 젤라틴 젤의 경도가 증가하는 경향이 나타났다.

결과적으로 고령친화형 젤라틴 젤의 경도, 탄력성 및 응집성은 젤라틴 함량이 높아질수록 증가하는 것으로 나타났으며, 카파 카라기난은 2.5~4.375% 첨가하면 경도, 탄력성 및 응집성이 감소한 반면 4.375~6.25%를 첨가하면 다시 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 염화칼슘 함량의 증가는 경도를 다소 상승시키지만, 탄력성 및 응집성은 염화칼슘 첨가량이 1.293%까지 증가한 반면 그 이상의 수준에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

모델 방정식 도출 및 경도 기준에 따른 최적 배합비율 도출

반응표면분석을 통해 도출한 젤라틴, 카라기난 및 염화칼슘의 첨가량에 따른 경도, 탄력성, 응집성, 검성 및 씹힘성의 변화를 설명하는 모델 식은 Table 3에 나타내었다. 모든 물성 특성에 대한 quadratic 모델의 신뢰성 (R^2)은 0.82~0.96 수준이었다 ($p < 0.01$). 특히, 경도와 검성에서는 R^2 값이 0.96으로 매우 높은 신뢰도를 확인하였다. 모델 방정식에 따라 돈피젤라틴, 카파 카라기난 및 염화칼슘 사이의 물성 변화에 관한 등고선도는 Fig. 1에 나타내었다.

Table 3. Analysis of predicted model equation for textural properties of senior-friendly gelatin gels formulated with κ -carrageenan and calcium chloride

Response	Model	Polynomial equation	R^2	F value	p value
Hardness	Quadratic	$Y_1 = -16.86 + 0.019X_1 + 9.31X_2 - 2.90X_3 + 0.01297X_1^2 * X_1 - 1.155X_2^2 * X_2 + 1.23X_3^2 * X_3 + 0.1048X_1 * X_2 + 0.0924X_1 * X_3 - 0.140X_2 * X_3$	0.96	57.19	<0.001
Springiness	Quadratic	$Y_2 = 0.283 + 0.0789X_1 - 0.553X_2 + 0.808X_3 - 0.001114X_1^2 * X_1 + 0.0627X_2^2 * X_2 - 0.2746X_3^2 * X_3 + 0.00001X_1 * X_2 - 0.00112X_1 * X_3 + 0.0004X_2 * X_3$	0.84	10.92	<0.001
Cohesiveness	Quadratic	$Y_3 = 0.786 + 0.0283X_1 - 0.553X_2 + 0.464X_3 + 0.000076X_1^2 * X_1 + 0.0643X_2^2 * X_2 - 0.1511X_3^2 * X_3 - 0.00105X_1 * X_2 - 0.00185X_1 * X_3 + 0.0001X_2 * X_3$	0.82	12.36	<0.001
Gumminess	Quadratic	$Y_4 = 8.15 - 0.894X_1 - 3.26X_2 + 5.07X_3 + 0.03697X_1^2 * X_1 + 0.317X_2^2 * X_2 - 2.016X_3^2 * X_3 + 0.0454X_1 * X_2 + 0.0442X_1 * X_3 + 0.068X_2 * X_3$	0.96	45.88	<0.001
Chewiness	Quadratic	$Y_5 = 6.70 - 0.883X_1 - 2.61X_2 + 5.13X_3 + 0.03718X_1^2 * X_1 + 0.242X_2^2 * X_2 - 1.89X_3^2 * X_3 + 0.0527X_1 * X_2 + 0.0509X_1 * X_3 + 0.021X_2 * X_3$	0.95	40.62	<0.001

X_1 , pork skin gelatin concentration; X_2 , κ -carrageenan concentration; X_3 , calcium chloride concentration.

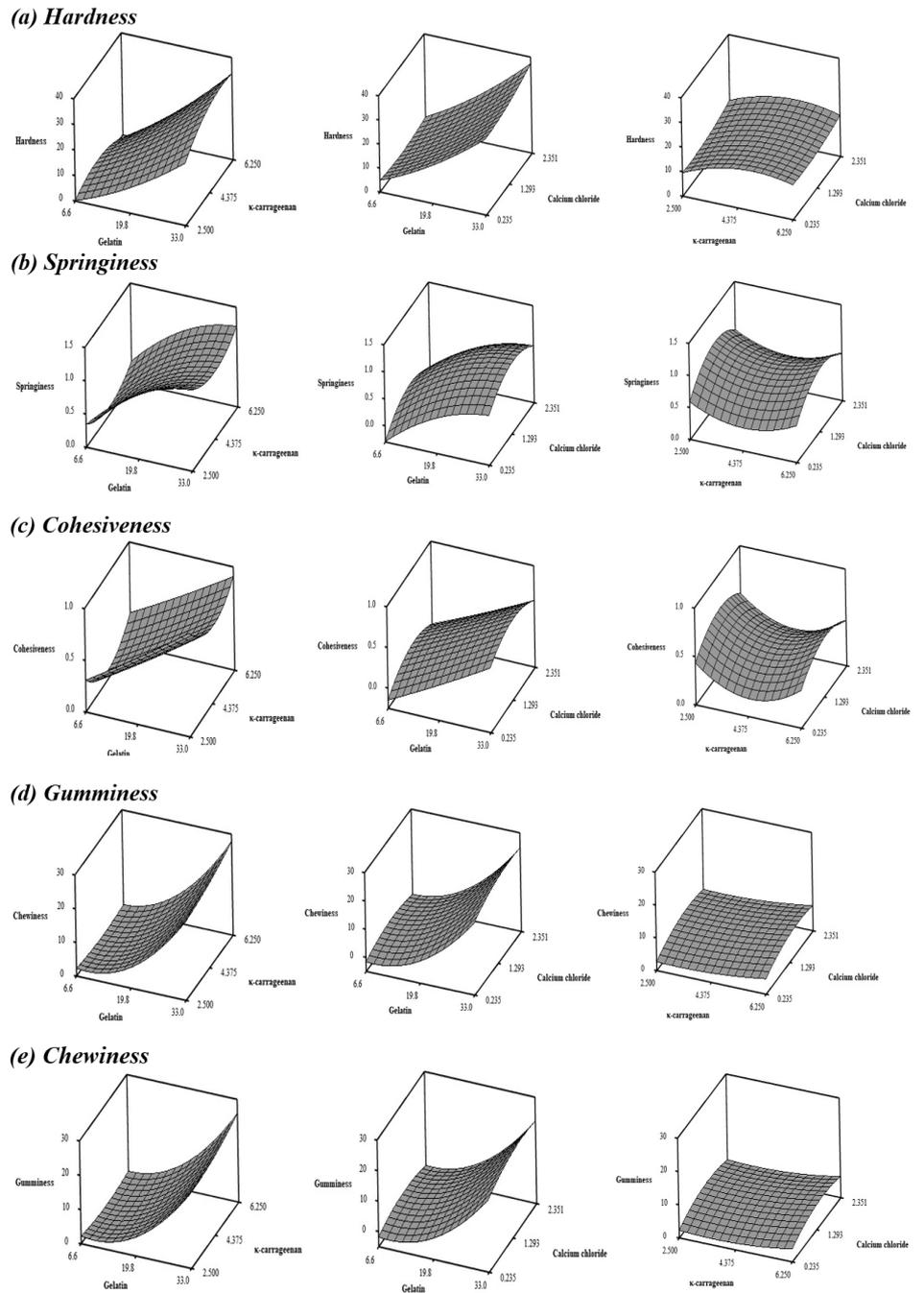


Fig. 1. Response surface from face centered design for determining effects of pork skin gelatin, κ -carrageenan, and calcium chloride on hardness (a), springiness (b), cohesiveness (c), gumminess (d), and chewiness (e).

본 연구에서는 돈피젤라틴, 카파 카라기난 및 염화칼슘을 혼합한 고령친화형 젤라틴 젤이 고령친화식품 한국산업표준의 영양 성분 기준 중 단백질 (6 g/100 g 이상), 칼슘 (80 mg/100 g 이상) 및 식이섬유 (2.5 g/100 g 이상) 함량을 충족하는 동시에 잇몸 섭취가 가능한 저작 2단계 (경도 50,000~500,000 N/m²) 및 혀로 섭취가 가능한 저작 3단계 (20,000 N/m² 이하)의 경도를 목표함수로 설정하였다 (Fig. 2). 고령친화형 젤라틴 젤의 경도가 저작 기준 2단계에 해당하는 5 N/cm²가 되기

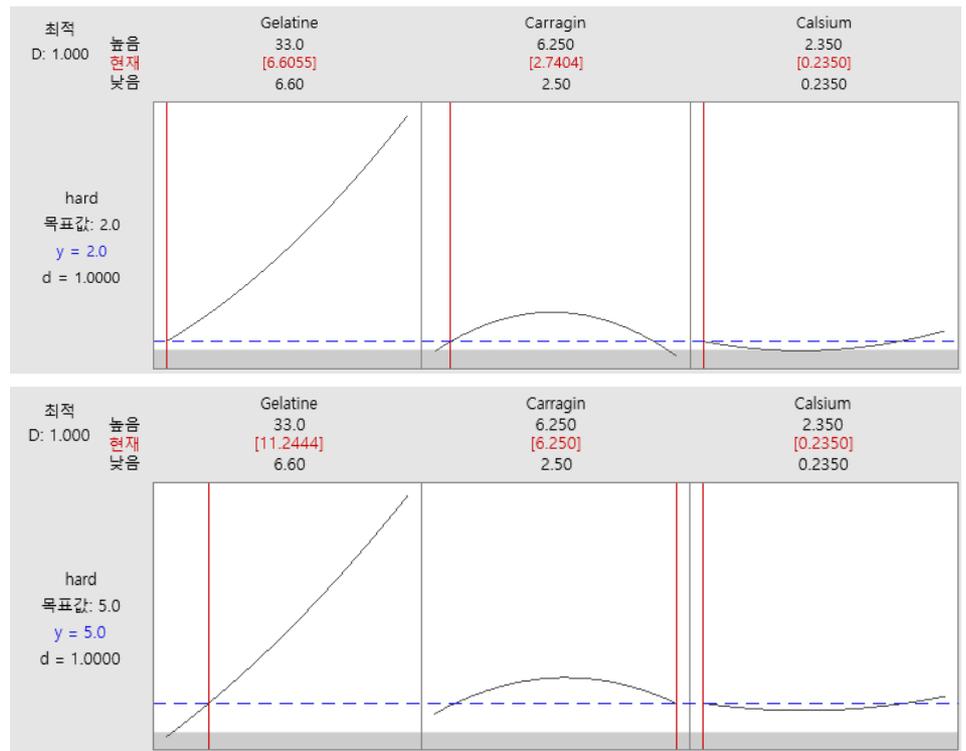


Fig. 2. Optimization of hardness (2 or 5 N/cm²) of senior-friendly gelatin gels (Y) formulated with different levels of pig skin gelatin (X₁), κ-carrageenan (X₂), and calcium chloride (X₃).

위한 최적 배합조건은 돈피젤라틴 11.24% (w/v), 카파 카라기난 6.25% (w/v) 및 염화칼슘 0.235% (w/v)로 나타났다. 또한, 저작 기준 3단계에 해당하는 경도가 2 N/cm² 수준의 젤라틴 젤을 제조하기 위한 최적 배합조건은 6.61% (w/v) 돈피젤라틴, 2.74% (w/v) 카파 카라기난 및 0.235% 염화칼슘 (w/v) 수준이었다.

최적 배합비율로 제조한 고령친화형 젤라틴 젤의 pH 및 영양 성분 조성

도출한 최적 배합조건에서 카파 카라기난과 염화칼슘 첨가 고령친화형 젤라틴 젤의 품질 특성은 Table 4에 나타내었고, 6% (w/v) 젤라틴 젤 (대조구)과 각각 고령친화식품 한국산업표준 경도 기준 3단계 (T1, 혀로 섭취)와 2단계 (T2, 잇몸 섭취)에 속하는 젤라틴 젤의 영양 성분 조성과 물성 특성을 비교하였다.

카파 카라기난과 염화칼슘을 첨가한 고령친화형 젤라틴 젤의 pH는 대조구 (pH 4.83)와 비교하여 유의적으로 높은 수준을 나타내었다. 이전의 연구에서 6% 젤라틴 젤의 pH는 약 4.8 수준으로 보고되어 본 연구와 유사한 수치를 나타내었다 (Noh *et al.*, 2021). 본 연구에 사용한 카파 카라기난의 pH는 약 6.70으로 측정되어, 고령친화형 젤라틴 젤 처리구들의 pH 증가는 젤라틴보다 높은 pH의 카파 카라기난을 첨가하였기 때문이라고 사료된다.

고령친화형 젤라틴 젤의 수분 함량은 대조구 (93.39 g/100g)가 가장 높았으며, 돈피젤라틴 및 카파 카라기난 첨가량 증가에 따라서 수분 함량이 감소하였다 (p<0.05). 고령친화형 젤라틴 젤의 단백질 함량은 돈피젤라틴 함량이 높은 T2처리구가 가장 높았으며 (p<0.05), T1처리구는 대조구보다 높은 단백질 함량을 나타내었다 (p<0.05). 나아가 고령친화형 젤라틴 젤 처리구들은 고령친화식품 한국산업표준의 영양 성분 기준 중 단백질 함량 (6 g/100 g 이상)을 충족하였다. 지방 함량은 모든 처리구에서 0.01~0.02 g/100 g수준으로 나타났다 (p>0.05). 회분 함량은 대조구에서 0.05 g/100 g으로 가장

Table 4. Quality characteristics of senior-friendly gelatin gels formulated with κ -carrageenan and calcium chloride for tongue and gum intake

Trait	Control ¹⁾	T1 (tongue intake)	T2 (gum intake)	SEM ²⁾
pH	4.83 ^b	4.92 ^a	4.93 ^a	0.016
Nutritional composition				
Moisture (g/100 g)	93.39 ^a	90.45 ^b	82.09 ^c	1.694
Protein (g/100 g)	6.45 ^c	6.65 ^b	11.36 ^a	0.802
Fat (g/100 g)	0.02	0.01	0.01	0.002
Ash (g/100 g)	0.05 ^c	1.21 ^b	2.35 ^a	0.332
Calcium (mg/100 g)	0.72 ^c	162.50 ^b	257.20 ^a	37.521
Dietary fiber (g/100 g)	0.05 ^c	1.08 ^b	3.18 ^a	0.463
Textural properties				
Hardness (N/cm ²)	6.34 ^a	1.93 ^c	4.97 ^b	0.663
Springiness (ratio)	0.07 ^b	0.04 ^b	0.21 ^a	0.027
Cohesiveness (unitless)	0.09 ^b	0.10 ^b	0.12 ^a	0.004
Chewiness (N/cm ²)	0.59 ^a	0.18 ^b	0.57 ^a	0.068
Gumminess (N/cm ²)	0.04 ^b	0.01 ^c	0.12 ^a	0.018

¹⁾ Control, only 6.60% (w/v) pork skin gelatin; T1, 6.605% (w/v) pork skin gelatin, 2.737% (w/v) κ -carrageenan, and 0.235% (w/v) calcium chloride for 2 N/cm² of targeted hardness; T2 11.331% (w/v) pork skin gelatin, 6.25% (w/v) κ -carrageenan, and 0.235% (w/v) calcium chloride for 5 N/cm² of targeted hardness.

²⁾ SEM: standard error of the means.

^{a-c} Means sharing the same letters within a row are not significantly different at p<0.05 by Duncan’s multiple range test.

낮았으며 (p>0.05), 고령친화형 젤라틴 젤 처리구들은 염화칼슘의 첨가에 따른 회분 함량의 증가가 나타났다고 사료된다.

칼슘 함량은 염화칼슘을 첨가한 결과, 대조구보다 고령친화형 젤라틴 젤 처리구들이 유의적으로 높은 수준을 나타내었다. 특히, 카파 카라기난 함량이 높은 T2처리구가 T1처리구보다 높은 칼슘 함량을 나타내었다 (p<0.05). 이러한 결과는 카라기난의 미세구조에 더 많은 양의 칼슘이 함유되었기 때문이라고 추측된다. 또한, 고령친화형 젤라틴 젤 처리구들은 고령친화식품 한국산업표준의 영양 성분 기준 중 칼슘 함량 (80 mg/100 g 이상)을 충족하였다. 식이섬유 함량은 카라기난 첨가량에 의존적으로 높아지는 경향을 나타내었으나 (p<0.05), T2 처리구에서만 고령친화식품 한국산업표준의 식이섬유 함량 기준인 2.5 g/100 g 이상의 수치가 관찰되었다. 결과적으로 T2처리구는 한국산업표준 고령친화식품의 영양 성분 중 3종의 함량이 충족된 반면 T1처리구는 식이섬유 함량이 목표 수치보다 낮은 수준이었다.

최적 배합비율로 제조한 고령친화형 젤라틴 젤의 물성 특성

고령친화형 젤라틴 젤의 경도는 대조구에서 6.34 N/cm²으로 가장 높게 나타났고 (p<0.05), T1과 T2처리구의 경도는 각각 1.93 및 4.97 N/cm² 수준으로 목표한 수치 (각각 2 및 5 N/cm²)와 유사한 수준을 나타내었다. 탄력성과 응집성에 있어 대조구와 T1처리구는 유사한 수준을 나타냈으나 (p>0.05), T2처리구에서 유의적인 탄력성과 응집성의 증가가 나타났다. 이는 젤 형성이 가능한 돈피젤라틴과 카파 카라기난의 농도 증가와 관련이 있다고 사료된다. 씹힘성의 경우 대조구와 T2 처리구는

서로 유사하였지만 ($p>0.05$), T1 처리구는 대조구보다 유의적으로 낮은 것으로 나타났다. 검성은 T2 처리구가 대조구보다 유의적으로 높고, T1 처리구의 검성은 대조구보다 유의적으로 낮은 것으로 나타났다. 결과적으로 고령친화식품 한국산업표준의 경도 기준과 비교하여 T1 처리구는 혀로 섭취가 가능한 저작 3단계에 부합하였고, T2 처리구는 잇몸 섭취가 가능한 저작 2단계에 부합하였다.

IV. 요약

본 연구는 돈피젤라틴, 카파 카라기난 및 염화칼슘을 활용하여 고령친화식품 한국산업표준의 단백질, 식이섬유 및 칼슘 함량을 충족하는 경도 기준 2단계 및 3단계의 고령친화형 젤라틴 젤을 제조하기 위한 최적 배합조건을 설정하고자 수행하였다. 고령친화형 젤라틴 젤의 물성 조절을 위해 반응표면분석법으로 6.60~33.3% (w/v) 돈피젤라틴, 2.50~6.25% (w/v) 카파 카라기난 및 0.235~2.351% (w/v) 염화칼슘의 최적 배합비율을 분석하였다. 젤라틴 젤의 경도, 탄력성 및 응집성은 젤라틴 함량이 높아질수록 증가하였고, 카파 카라기난 함량이 2.50~4.375% (w/v)인 경우에 경도, 탄력성 및 응집성 감소에 영향을 미치고 4.375~6.25% (w/v) 첨가하면 다시 경도를 증가시켰다. 염화칼슘 함량 증가는 경도를 다소 상승시키지만, 탄력성 및 응집성은 염화칼슘 첨가량에 따라서 0.235~1.293% (w/v)에서 증가 및 1.293~2.351% (w/v)에서 감소하는 것으로 나타났다. 고령친화형 젤라틴 젤의 경도가 2 내지 5 N/cm²가 되는 배합조건은 6.605~11.331% (w/v) 돈피젤라틴, 2.74~6.25% (w/v) 카파 카라기난 및 0.235% (w/v) 염화칼슘 혼합 조건으로 나타났다. 상기 조건으로 제조한 고령친화형 젤라틴 젤은 6% (w/v) 젤라틴만으로 제조한 젤라틴 젤보다 높은 pH를 나타내었다. 고령친화형 젤라틴 젤의 영양 성분은 원료 배합비율에 따라서 조절이 가능하였고, 제품 100 g 당 단백질 6 g, 식이섬유 2.5 g 및 칼슘 80 mg 이상이 함유되기 위해서 젤라틴 6.60% (w/v) 이상, 카파 카라기난 5.88% (w/v) 이상 및 0.235% (w/v) 염화칼슘의 혼합이 필요한 것으로 나타났다. 고령친화형 젤라틴 젤은 돈피젤라틴 단독 사용보다 카파 카라기난과 혼합에 따라 젤 형성이 약화되어 경도 및 탄력성이 낮아지는 것으로 나타났으며, 경도 목표 수치인 2 및 5 N/cm²와 근사하게 나타났다. 결과적으로 본 연구에서 6.605~11.331% (w/v) 돈피젤라틴, 2.74~6.25% (w/v) 카파 카라기난 및 0.235% (w/v) 염화칼슘의 혼합으로 고령친화형 젤라틴 젤의 저작 2~3단계에 해당하는 경도로 조절이 가능하였고, 영양적 측면에서 최종제품 100 g 당 단백질 6 g, 칼슘 80 mg 및 식이섬유 2.5 g 이상 함유가 가능한 것으로 나타났다.

V. 참고문헌

1. AOAC. 2000. Official methods of analysis of AOAC International. (17th ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
2. Derkach SR, Voron'ko NG, Kuchina YA, Kolotova DS, Gordeeva AM, Faizullin DA, Gusev YA, Zuev YF, Makshakova ON. 2018. Molecular structure and properties of k-carrageenan-gelatin gels. *Carbohydr Polym* 197:66-74.
3. Evageliou VI, Ryan PM, Morris ER. 2019. Effect of monovalent cations on calcium-induced assemblies of kappa carrageenan. *Food Hydrocoll* 86:141-145.
4. Hur JE, Park JH, Kim YR, Kim HK, Lee MS, Kim JH, Ko KS. 2018. Analysis of consumption status of calcium with related factors in a Korean population: Based on data from the 20132015 Korean national health and nutritional examination survey (KNHANES). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47:328-336.

5. Jeong EJ, Lee NK, Yum EJ, Nam K, Oh J, Kim YS, Park JY, Kim SH, Jeong YS. 2015. Effect of calcium chloride on the texture of pickled radish wrap. *Korean J Food Preserv* 22:452-457.
6. KS H 4897. 2020. Korean industrial standard for seniors friendly foods. Available from: <https://e-ks.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059203773233835>. Accessed at April 26. 2022.
7. Liu D, Nikoo M, Boran G, Zhou P, Regenstein JM. 2015. Collagen and gelatin. *Annu Rev Food Sci Technol* 6:527-557.
8. MacArtain P, Jacquier JC, Dawson KA. 2003. Physical characteristics of calcium induced κ -carrageenan networks. *Carbohydr Polym* 53:395-400.
9. Ministry of Food and Drug Safety. 2019a. Food code of Korea. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=12039. Accessed at July 25. 2019.
10. Ministry of Food and Drug Safety. 2019b. Food code of Korea. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=11020. Accessed at July 25. 2019.
11. Michon C, Cuvelier G, Launay B. 1993. Concentration dependence of the critical viscoelastic properties of gelatin at the gel point. *Rheol Acta* 32:94-103.
12. Noh SW, Ham YK, Song DH, Kim HW. 2021. The physicochemical properties of senior-friendly gelatin gels prepared with various gums. *Korean J Food Cook Sci* 37:529-534.
13. Paik HY, Lee SY, An YJ, Sim JE, Jung JY, Song YJ, Kim HJ, Kim JH, Park EM, Kim DW. 2016. Nutrition and diet for health. Powerbook. Go-Yang, Korea. pp 141-157.
14. Petracci M, Bianchi M, Mudalal S, Cavani C. 2013. Functional ingredients for poultry meat products. *Trends Food Sci Technol* 33:27-39.
15. Pons M, Fiszman SM. 1996. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *J Texture Stud* 27:597-624.
16. Shin DH. 2019. General concept of dietary fiber and its functionality. *Food Sci Ind* 52:84-99.
17. Song DH, Gu TW, Kim HW. 2021. Quality characteristics of senior-friendly gelatin gels formulated with hot water extract from red maple leaf as a novel anthocyanin source. *Foods* 10:3074.
18. Sow LC, Chong JMN, Liao QX, Yang H. 2018. Effects of κ -carrageenan on the structure and rheological properties of fish gelatin. *J Food Eng* 239:92-103.