

당-염 침지 전처리 공정과 진공저온유탕기술을 적용한 굴(*Crassostrea gigas*) 스낵의 제조공정 최적화

박선영 · 조혜정¹ · 안영현 · 김진 · 이가빈 · 허민수² · 이정석*

경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소, ¹(주)덕화푸드 기업부설연구소, ²경상국립대학교 식품영양학과/해양산업연구소

Optimizing the Manufacturing Process of Oyster *Crassostrea gigas* Snacks Using Low-Temperature Vacuum Frying Technology and Sugar-Salt Solution Immersion

Sun-Young Park, Hye Jeong Cho¹, Young Hyun An, Jin Kim, Ga Bin Lee, Min Soo Hue² and Jung-Suck Lee*

Department of Seafood Science and Technology/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

¹Research and Development Institute, Deok-Hwa Food, Busan 49277, Republic of Korea

²Department of Food and Nutrition/Institute of Marine Industry/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

This study aimed to optimize the manufacturing process for oyster *Crassostrea gigas* snacks by immersing them in a sugar-salt solution and using low-temperature vacuum frying to enhance their distinctive taste and health. The optimization used response surface methodology with a central composite rotatable design. Water (A), high fructose syrup (B), and salt (C) were used as independent variables. Formulation ratios were encoded using transformed values [X_1 , A/(B+C); X_2 , B/C]. The dependent variables were moisture content (Y_1), browning degree (Y_2), and overall acceptability (Y_3). The optimal formulation conditions were water (73.9%), high fructose syrup (24.8%), and salt (1.3%), with predicted values of Y_1 , Y_2 , and Y_3 at 2.9 g/100 g, 0.650 A_{420nm} , and 8.2 points, respectively. For the low-temperature vacuum frying process, optimization used a central composite design, with temperature (X_1) and time (X_2) as independent variables. The dependent variables were moisture content (Y_1), texture (Y_2), and sensory chewiness (Y_3). Optimal conditions were determined as 100.1°C and 1,020 s of frying time, resulting in predicted values of Y_1 , Y_2 , and Y_3 at 4.8 g/100 g, 1,451 g/cm², and 7.0 points, respectively. Response surface analysis model demonstrated no significant differences between the experimental and predicted results ($P < 0.05$).

Keywords: Oyster, Snack, Sugar-salt solution, Vacuum frying, Response surface methodology

서론

굴은 영양학적으로도 우수하고, 다양한 환경에 잘 적응하면서 빠르게 성장하는 특징으로 인하여 전 세계적으로 중요한 양식 패류이며, 세계 굴 생산량은 1990년 120만톤 이후 꾸준히 성장하여 2023년 730만톤이며, 시장규모는 74억 6,000만 달러에 이르는 것으로 보고되었다(IMARC, 2024). 굴은 에너지

원으로 활용되는 글리코젠(glycogen), 비단백 아미노산인 타우린(taurine), 필수아미노산인 라이신(lysine), 철과 아연과 같은 미량 무기질(Li et al., 2017; Liu et al., 2020), 그리고 비타민 C 등이 다량 포함하고 있어 균형 잡힌 영양 공급원으로 평가받고 있다(Yamaura et al., 2008; Yuasa et al., 2018). 이러한 영양적 및 경제적 가치 때문에 굴은 '바다의 우유'로 불리고 있으며, 건강식품으로 인정받고 있다(Meng et al., 2019). 국내 굴

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9145 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: jungsucklee@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0655>

Korean J Fish Aquat Sci 57(6), 655-664, December 2024

Received 27 November 2024; Revised 14 December 2024; Accepted 20 December 2024

저자 직위: 박선영(선임연구원), 조혜정(연구원), 안영현(대학원생), 김진(대학원생), 이가빈(대학원생), 허민수(교수), 이정석(교수)

은 참굴, 토굴, 바위굴, 털굴 등이 분포하고 있으나, 실제 산업적으로 가장 경쟁력이 있는 종류는 참굴(*Crassostrea gigas*)로 알려져 있다(Jeong et al., 1999). 참굴의 국내 생산량은 최근 5년간(2019–2023년) 약 329,920–357,282 M/T에 달하며, 2023년 기준 전체 패류 생산량(505,873 M/T)의 약 66%를 차지하고 있다(KOSIS, 2023). 굴은 1인당 연간 소비량이 2021년 2.26 g/man/year로 전체 수산물 중 12위이나, 패류 중 1위를 차지하는 등 소비자에게 인기 있는 종이다(KREI, 2023).

참굴은 10월부터 3월까지 채취한 경우 생굴로 이용되고 있으며, 3–4월에 채취한 굴은 냉동굴로 가공되고, 산란기 굴은 건조품과 통조림 등의 원료로 활용된다. 또한, 굴 가공품은 냉동굴, 통조림, 건조굴 및 굴젓갈 등 비교적 가공형태가 다양하지 못하고 제한적이어서 이전의 1차 생산 중심의 굴 산업에서 고부가가치를 창출할 수 있는 2차 가공산업의 발전에 집중할 필요가 있다(Choi et al., 2019). 한편, 굴은 독특한 풍미와 뛰어난 영양소 함량으로 인해 많은 소비자가 선호하는 수산물이지만, 특유의 굴 내음과 쓴맛으로 인하여 소비자의 선호도를 양극화시키는 요인이 되기도 하여 굴 가공식품의 개발 시 소비층을 확대하기 위하여 풍미를 개선하는 공정이 필요하다고 판단된다. 식품의 풍미 개선을 위해 우유(Rana et al., 2021), 된장(Park et al., 2018; Liu et al., 2022), 훈연액(Varlet et al., 2009), 당·염 용액을 활용한 다양한 방법들이 시도되었다(Lee et al., 2016; Su et al., 2021; Şen Yılmaz, 2023). 특히 당·염을 병행한 침지공정은 풍미 개선과 함께 굴의 수분 함량을 낮추는데 효과적이며, 건조 속도 및 관능적 기호도가 향상되었다는 연구결과가 보고된 바 있다(Lee et al., 2016; Su et al., 2021).

최근 식품시장은 가정간편식(home meal replacement, HMR)에서 더 나아가 식사의 '스낵화(snackification)' 바람이 일어나고 있다(Handayani et al., 2020). 이는 바쁜 현대인, 특히 밀레니얼 세대가 전통적인 세 끼 식사에서 벗어나 짧은 시간 동안 간편하게 섭취 가능한 스낵을 선호하는 경향을 말한다. 식품소재의 스낵화는 빠른 속도로 성장하고 있으며, 식사 대체 역할을 할 만큼 건강하고 고품질의 스낵에 대한 관심이 높아지고 있다.

스낵 생산에 적용되는 일반적으로 많이 사용되고 있는 원료의 열처리 방법으로는 유탕, 압출, 건조 및 굽기 등이 있으며(Chudy et al., 2019), 특히 유탕처리는 식품의 맛, 색상, 조직감 및 향을 포함한 독특한 관능적 특성을 부여하는 중요한 스낵 제조공정이다(Zhang et al., 2020). 또한, 스낵의 전통적인 유탕공정은 상압유탕(deep frying)이나, 160–180°C의 높은 온도에 단 시간(2–3분) 열처리로 인하여 식품 표면과 내부 모두 미세구조의 변화가 일어나며(Xu et al., 2020), 고온에 의하여 토코페롤, 필수아미노산, 지방산 분해가 일어나 품질이 저하되는 문제점이 있다(Negara et al., 2021). 사람의 건강과 관련하여 지방, 칼로리, 탄수화물, 나트륨 함량이 낮고 섬유질과 비타민이 풍부한 스낵 제품이 큰 관심을 받고 있어(Dueik et al., 2011), 소비자의 건강 트렌드에 부합하는 진공저온유탕기술이 주목받고 있다.

진공저온유탕은 기름을 열매체로 하여 진공 상태에서 원료의 수분을 기화시켜 건조와 유탕이 동시에 일어나는 방법(Moreira, 2014)이며, 기름의 산화가 현저히 감소하고 트랜스지방, 극성화합물, 아크릴아마이드 등 유해한 성분 함량이 줄일 수 있다는 장점이 있다(Arab-Tehrany et al., 2012; Brugiapaglia and Destefanis, 2012; Dueik et al., 2012; Kim and Shin, 2021).

진공저온유탕을 활용한 연구로는 피쉬볼(Ophithakorn and Yaeed, 2016), 파인애플 스낵(Hasimah et al., 2011), 망고칩(Ayustaningwarno et al., 2020), 버섯칩(Devi et al., 2018), 카사바칩(Garcia-Segovia et al., 2016) 개발 등이 있으며, 대부분 농산물을 활용한 스낵에 관한 연구가 주를 이루며, 수산물을 이용한 스낵 연구는 상대적으로 미진한 실정이다.

본 연구에서는 국내 참굴의 고부가가치화를 통한 활용도 제고 차원에서 웰빙 굴 스낵을 제조하고자 굴의 풍미 개선을 위한 당·염 침지액 배합공정과 진공저온유탕 공정을 반응표면분석법으로 최적화하였다.

재료 및 방법

재료

주원료인 냉동 참굴(*Crassostrea gigas*)은 삼삼물산(三三 Tongyeong, Korea)에서 개별급속동결 상태로 2022년 4–9월에 구입하여 사용하였다. 이때, 굴의 무게는 23.9–25.2 g (평균, 24.6 ± 0.5 g)이었다. 부원료인 고과당(Daesang Co. Ltd., Seoul, Korea), 정제염(Hanju Co. Ltd., Ulsan, Korea), 카놀라유(Daesang Co. Ltd., Seoul, Korea) 및 구연산(Daejung Co. Ltd., Siheung, Korea)은 온라인 쇼핑몰에서 2022년 4–7월에 각각 구입하여 사용하였다.

굴 스낵의 제조

냉동 굴은 저온실에서 해동, 세척한 다음 0.05% (w/v) 구연산 용액에서 침지(30분)한 다음 세척(3회, 60초) 및 탈수하였다. 이어서 침지 굴을 블랜칭(100°C, 2분)하고, 세로로 1/2 절단하였다. 최종적으로 블랜칭 굴은 당·염 침지를 위해 침지액[물 62.2–79.6% (v/v), 고과당 19.2–35.7% (w/v) 및 정제염 0.8–4.4% (w/v)]에 30분간 침지하여 냉각하였고, 온도 88.7–108.0°C에서 426–1,626초간 진공저온유탕기(Vacuum fryer, BT-1E; Kiyomoto Co. Ltd., Nobeoka, Japan)를 사용하여 압력(750 mmHg)을 유지한 상태에서 유탕하였다.

반응표면분석법의 회귀분석 및 최적화

굴 스낵의 제조를 위한 당·염 침지액 배합공정 및 진공저온유탕 공정에 대한 최적점의 예측 및 확인은 Kim et al. (2010)이 언급한 방법에 따라 MINITAB 통계프로그램(MINITAB Ver. 18; MINITAB, State College, PA, USA)을 이용하였다. 즉, 당·염 침지액 배합공정은 중심합성회전계획(central composite ro-

tatable design, CCRD)과 중심합성계획(central composite design, CCD)에 따라 무작위적으로 제조한 시료구들의 실험 결과를 토대로 독립변수와 종속변수 상호 간의 관계에 따라 제시되는 반응표면 회귀계수 및 분산분석 결과를 토대로 모델(model), 1차항(linear), 2차항(quadratic), 교차항(cross-product) 및 적합성 결여도(lack of fit) 각각의 유의성(P-value)에 대한 인정(P<0.05) 여부를 확인하였고, 이들 결과값에 대하여 최종적으로 결정계수(R²)를 확인하여 최적 조건을 산출하였다.

당·염 침지액 배합공정의 최적화

당·염 침지액 제조를 위한 배합공정 최적화는 물(A), 고과당(B) 및 소금(C)을 독립변수로 설정하였고, 자체 관능평가 결과를 참고하여 배합공정의 중심값(central point)을 변환식[X₁: A/(B+C), X₂: B/C]으로 암호화한 다음(Table 1) CCRD (Cho et al., 2015)에 따라 독립변수의 범위는 예비실험 결과의 최소값 및 최대값을 참고하여 5단계로 부호화하여 무작위적으로 제조한 시료구 11구에 대하여 실험을 진행하였다(Table 2). 이때, 종속변수는 수분(Y₁), 갈변도(Y₂) 및 종합적 기호도(Y₃)로 설정하였다.

진공저온유탕 공정의 최적화

진공저온유탕 공정의 확립을 위한 최적화는 진공저온유탕 온도(X₁, 90.1-09.9°C) 및 시간(X₂, 426-1,629초)을 독립변수로 설정하여 CCD에 따라 5단계로 부호화하여(Table 3)하여 11구를 무작위로 제조하여 다음 실험을 진행하였다(Table 4). 이때 위에서 언급한 2개의 독립변수 범위와 center point value들은 예비실험의 결과를 참고하여 설정하였다. 이때, 종속변수는 수분(Y₁), 경도(Y₂) 및 종합적 기호도(Y₃)로 설정하였다.

그래프 도식화

독립변수와 종속변수 간의 관계를 나타내는 그래프는 위의 회귀분석 결과에서 도출된 회귀방정식 결과인 상수, 1차항, 2차항 및 교차항의 값을 각각 MAPLE software (MAPLE Ver. 12; Maple Soft, Waterloo, Canada)에 대입하여 산출된 3차원 그래프로 나타내며, 그래프를 구성하는 식은 다음과 같다.

$$Y = \beta_0 \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j$$

여기서 Y는 종속변수, β₀는 상수, β_i, β_{ii}, β_{ij}는 회귀계수, X_i, X_j는 독립변수이며, 공정 최적화는 MINTAB 통계프로그램의 response optimizer를 통해 이루어졌으며, 통계적으로 추정된 최적 조건에 따라 실제 실험을 통해 측정된 종속변수와의 비교를 통해 추정된 종속변수의 값을 검증하였다(Bezerra et al., 2008).

수분

수분함량은 AOAC (2000)의 방법을 참고하여 상압가열건조법으로 105°C 오븐(Model DS-510M; Daewonsci Co. Ltd, Bucheon, Korea)을 사용하여 분석하였다.

갈변도

갈변도는 Chung and Toyomizu (1976)가 언급한 방법에 따라 지용성 갈변도를 측정하였다. 즉, 갈변도는 검체에 chloroform:methanol을 2:1 (v/v)로 혼합한 용액으로 지용성 갈변물질을 추출한 다음 이를 분광광도계(UV/VIS Spectrophotometer, X-MA6100PC; Human Co. Ltd, Shenzhen, China)로 흡광도 430 nm에서 측정하였다.

Table 1. Optimization of blending ratio for high fructose corn syrup and salt in soaking solution using central composite rotatable design for taste enhancement in vacuum fried oyster *Crassostrea gigas* snacks

Coefficients assessed by	Run no.	Coded value		Uncoded value		Blending ratio			Dependent variable		
		X ₁ ¹	X ₂	X ₁	X ₂	A ²	B	C	Y ₁ ³	Y ₂	Y ₃
Fractional Factorial design (4 points)	1	-1	-1	1.97	8.47	66.4	30.1	3.6	4.7	0.717	6.4
	2	+1	-1	3.57	8.47	78.1	19.6	2.3	4.1	0.448	5.6
	3	-1	+1	1.97	24.87	66.4	32.3	1.3	5.0	0.811	6.7
	4	+1	+1	3.57	24.87	78.1	21.0	0.8	3.6	0.523	7.5
Star points (4 points)	5	-1.414	0	1.64	16.67	62.2	35.7	2.1	5.8	0.908	6.3
	6	+1.414	0	3.90	16.67	79.6	19.2	1.2	4.4	0.421	5.9
	7	0	-1.414	2.77	5.07	73.5	22.1	4.4	3.3	0.566	6.5
	8	0	+1.414	2.77	28.26	73.5	25.6	0.9	3.2	0.681	7.7
Central points (3 points)	9	0	0	2.77	16.67	73.5	25.0	1.5	3.0	0.642	8.1
	10	0	0	2.77	16.67	73.5	25.0	1.5	3.0	0.651	8.0
	11	0	0	2.77	16.67	73.5	25.0	1.5	2.9	0.658	8.2

¹X₁, A/(B+C); X₂, B/C. ²A, Water (% w/v); B, High fructose corn syrup (% w/v); C, Salt (% w/v). ³Y₁, Moisture (g/100 g); Y₂, Browning index (A_{420nm}); Y₃, Sensory evaluation (score).

Table 2. Response optimization of blending ratio of high fructose corn syrup and salt in soaking solution predicted for preparation of vacuum fried oyster *Crassostrea gigas* snacks by MINITAB program

Dependent variables	Value	X_1^1	X_2
Y_1^2	Target	3.0	3.0
	Coded	0.00	-0.32
	Actual	2.77	14.05
Y_2	Target	0.650	0.650
	Coded	0.00	-0.01
	Actual	2.77	16.59
Y_3	Target	Max	Max
	Coded	0.07	0.50
	Actual	2.83	20.77
Multiple response optimization	Coded	0.14	0.89
	Actual	2.83	19.20
Predicted values	Y_1 : 2.9 g/100 g, Y_2 : 0.650, Y_3 : 8.2 score		
Experimental values	Y_1 : 3.1 ± 0.1^{a3} g/100 g, Y_2 : 0.651 ± 0.2^a , Y_3 : 8.1 ± 0.1^a score		

¹ X_1 , A/(B+C); X_2 , B/C; A, Water (% v/v); B, High fructose corn syrup (% w/v); C, Salt (% w/v). ² Y_1 , Moisture (g/100 g); Y_2 , Browning index (A_{420nm}); Y_3 , Sensory evaluation (score). ³Difference letters on the data in the row indicate a significant difference at $P > 0.05$.

조직감(경도)

조직감은 Salvador et al. (2009)이 언급한 방법을 토대로 압착 시험(compression test)에 의하여 얻어지는 경도로 나타내었다. 조직감의 측정을 위한 시험 검체는 굴 스낵을 빈 실린더 위에 올려둔 후, 직경 50 mm의 구형 plunger (TA50 cylindrical probe)를 장착한 texture analyzer (CT3-1000; Brookfield)로 측정하였다. 이때, 굴 스낵의 조직감 측정은 probe의 trigger load 5 g, test speed 1.0 mm/sec, 시료 변형률 50%로 설정하였다. 이 측정으로 얻어진 경도에 대한 결과는 Texture Pro CT (1.9) software를 사용하여 나타내었고, 결과값은 10회 이상 측정한 다음 최대값과 최소값을 제외한 나머지 값들의 평균값으로 나타내었다.

패널(panel)에 의한 관능평가

굴 스낵의 관능평가는 생명윤리 및 안전에 관한 법률(생명윤리법)에 따라 기관 생명윤리위원회(Institutional Review

Board, IRB)로부터 인간 대상 연구자를 위한 생명윤리심의의 승인(GIRB-G22-Y-0070)을 받고 진행하였다. 즉, 잘 훈련된 panel member 20인(20-30대, 남자 10인, 여자 10인)으로 구성되어 대조구에 비하여 외관, 색, 맛, 조직감, 냄새 등을 고려하여 종합적 기호도가 아주 우수한 경우 9점으로, 보통을 5점으로, 아주 나쁜 경우 1점으로 하여 평가하였다.

통계처리

데이터의 표준편차 및 유의차 검정(5% 유의수준)은 SPSS 통계패키지(SPSS for window, release 18)에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석한 후 Duncan의 다중위검정을 실시하여 나타내었다.

결과 및 고찰

당-염 침지액 배합공정 최적화

굴의 풍미 개선 및 수분 함량의 저감화를 통한 우수한 품질의

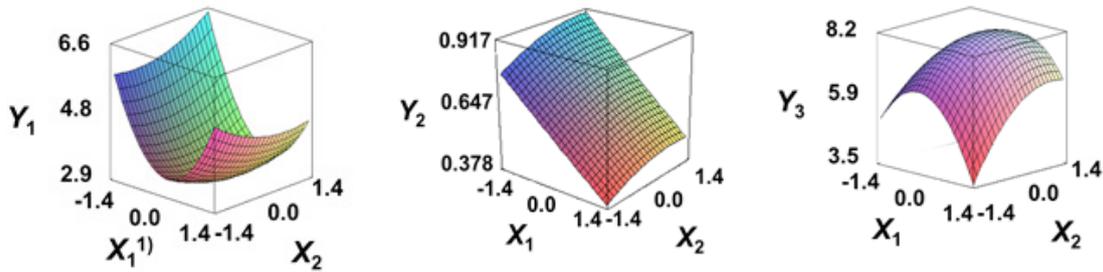


Fig. 1. Three dimensional response surface plots for blending ratio optimization in soaking solution of vacuum fried oyster *Crassostrea gigas* snacks based on Y_1 (moisture, g/100 g), Y_2 (browning index, A_{420nm}) and Y_3 (sensory evaluation, score). X_1 , A/(B+C); X_2 , B/C; A, Water (% w/v); B, High fructose corn syrup (% w/v); C, Salt (% w/v).

스낵을 가공하기 위하여 굴 스낵용 당-염 침지액의 배합공정 최적화를 시도하였다. CCRD에 따라 X_1 및 X_2 를 5단계로 부호화하여 무작위로 제조한 11구 시료구의 종속변수[수분(Y_1), 갈변도(Y_2) 및 종합적 기호도(Y_3)]에 대한 측정된 결과는 Table 1과 같다. 당-염 침지액 배합공정의 종속변수인 수분(Y_1)은 X_1 [A/(B+C), 고과당 및 정제염에 대한 물의 비율]의 경우 code 값이 -1.414에서 +0.243으로 이동할수록 급격히 감소하다 다시 빠르게 증가하는 경향을 나타내었고, X_2 [(B/C), 정제염에 대한 고과당의 첨가비율]의 경우 code 값이 -1.414에서 +0.243으로 이동할수록 완만하게 감소한 후 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 갈변도(Y_2)는 X_1 의 경우 code 값이 -1.414에서 +1.414로 이동할수록 급격히 감소하는 경향을 나타내었고, X_2 의 경우 code 값이 -1.414에서 +1.414까지 이동할수록 완만하게 증가하는 경향을 나타내었다. 종합적 기호도(Y_3)는 X_1 및 X_2 code 값이 -1.414에서 각각 +0.071까지 및 +0.500까지 급격히 증가하여 최대치가 되었고, 그 이후 두 종류의 변수가 모두 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 1).

MINITAB 통계프로그램(MINITAB Ver.18; MINITAB)의 RSREG (response surface analysis by least-squares regression)로 분석한 데이터를 활용하여 굴 스낵의 종속변수들에 대한 반응모형방정식의 일차항, 이차항 및 교차항에 대한 유의성은 수분(Y_1)의 경우 X_1 과 같은 일차항 1종, X_1^2 , X_2^2 과 같은 이차항 2종, X_1X_2 과 같은 교차항 1종으로 총 4종이, 갈변도(Y_2)의 경우 X_1 , X_2 와 같은 일차항 2종이, 종합적 기호도(Y_3)의 경우 X_2 와 같은 일차항 1종, X_1^2 , X_2^2 과 같은 이차항 2종, X_1X_2 와 같은 교차항 1종으로 총 4종의 항이 유의성이 인정되었고($P < 0.05$), 종속변수들에 관계없이 나머지 항들은 모두 유의성이 인정되지 않았다($P > 0.05$). 따라서, 수분(Y_1), 갈변도(Y_2) 및 종합적 기호도(Y_3)의 반응모형방정식 중 항의 유의성($P < 0.05$)을 고려하여 간결식으로 나타내면 $Y_1 = 2.9667 - 0.4975X_1 + 1.1104X_1^2 + 0.1854X_2^2 - 0.2000X_1X_2$ ($R = 0.985$, $P\text{-value} = 0.000$), $Y_2 = 0.6503 - 0.1557X_1 + 0.0415X_2$ ($R = 0.971$, $P\text{-value} = 0.000$), $Y_3 = 8.1000 + 0.4871X_2 - 1.0125X_1^2 -$

$0.5125X_2^2 + 0.4000X_1X_2$ ($R = 0.978$, $P\text{-value} = 0.000$)와 같다.

굴 스낵용 당-염 침지액의 배합공정(물(A), 고과당(B) 및 정제염(C)) 최적화를 위한 간결 반응모형방정식의 독립변수와 종속변수 간의 상관관계를 ANOVA분석으로 살펴본 결과 수분(Y_1), 갈변도(Y_2)와 종합적 기호도(Y_3)가 모두 일차항, 이차항 및 교차항에서 유의성이 인정되었다($P < 0.05$). 굴 스낵용 당-염 침지액의 배합공정 최적화를 위한 수분(Y_1), 갈변도(Y_2) 및 종합적 기호도(Y_3)에 대한 반응모형방정식 모델의 적합성 여부를 나타내는 적합 결여 검증(lack of fit test)은 수분(Y_1), 갈변도(Y_2) 및 종합적 기호도(Y_3)가 각각 0.143, 0.063 및 0.294로 모두 0.05보다 높고, 결정계수가 각각 0.985, 0.971 및 0.978로 1에 가까우며, model 값이 각각 0.000, 0.000 및 0.000으로 0.05보다 낮아 설계된 모형이 모두 적합한 것으로 나타났다(Zhou and Regenstein, 2004).

소비자 기호도를 고려한 굴 스낵의 물, 고과당 및 소금의 종속변수[수분(Y_1), 갈변도(Y_2) 및 종합적 기호도(Y_3)] 작용범위는 예비실험 결과와 판매되고 있는 시판 굴 스낵의 결과를 고려하여 수분의 경우 2.9-5.8 범위, 갈변도의 경우 0.421-0.908 범위, 종합적 기호도의 경우 1-9점 범위로 설정하였으며, 이들의 목표값은 가장 우수한 결과를 참조하여 수분의 경우 3.0으로, 갈변도의 경우 0.650으로, 종합적 기호도의 경우 최대값인 9점으로 설정하였다.

굴 스낵용 당-염침지액 배합공정에 대한 종속변수 각각과 이들이 동시에 만족할 수 있는 독립변수의 최적공정을 예측할 목적으로 앞에서 언급한 공정을 설정한 다음 MINITAB 통계 프로그램을 구동하여 얻은 독립변수의 최적공정 예측치는 Table 2와 같다. 굴 스낵용 당-염 침지액 배합공정의 독립변수(X_1 및 X_2)에 대한 목표값을 고려한 수분(Y_1) 최적값은 부호값(coded value)을 실제값(uncoded value)으로 환산하는 경우 각각 2.96 및 18.64이었고, 암호화된 값을 첨가비율로 환산하는 경우 물(A) 74.7%, 고과당(B) 24.0%, 정제염(C) 1.3%이었다. 굴 스낵용 당-염 침지액 배합공정의 독립변수(X_1 및 X_2)에 대한 목표값을 고려한 갈변도(Y_2) 최적값은 부호값을 실제값으로 환

산하는 경우 각각 2.77 및 16.59이었으며, 압호화된 값을 첨가 비율로 환산하는 경우 물(A) 73.5%, 고과당(B) 25.0%, 정제염 (C) 1.5%이었다. 굴스낵용 당-염침지액 배합공정의 독립변수 (X_1 및 X_2)에 대한 목표값을 고려한 종합적 기호도(Y_3)의 최적 값은 부호값을 실제값으로 환산하는 경우 각각 2.83 및 20.77이었으며, 압호화된 값을 환산하는 경우 물(A) 73.9%, 고과당(B) 24.9%, 정제염(C) 1.2%이었다. 위에서 언급한 굴 스낵용 당-염 침지액 배합공정에 따른 독립변수를 동시에 충족하는 물, 고과 당 및 소금의 실제값으로 환산한 값은 각각 2.83 및 19.20이었 으며, 압호화된 값을 물(A) 73.9%, 고과당(B) 24.8% 및 정제염 (C) 1.3%이었다.

최적 조건에서 제조된 굴 스낵용 당-염 침지액의 수분은 2.9 g/100 g, 갈변도 0.650, 종합적기호도 8.2점으로 예측되었다. 실 제 측정값은 수분은 3.1 g/100 g, 갈변도의 경우 0.651, 종합적 기호도의 경우 8.1점이었으며(Table 2), 이는 5% 유의수준에서 예측값과 차이가 인정되지 않았다($P>0.05$).

이상의 결과로 미루어 보아 제시된 반응표면 모델은 굴 스낵 용 당-염 침지액 배합공정(물, 고과당 및 정제염)의 최적 모델이 라 판단되었다.

진공저온유탕 공정 최적화

굴 스낵 제조를 위하여 750 mmHg 압력하에서 진공저온유탕 공정[온도(X_1 , 90.1–109.9°C), 시간(X_2 , 426–1,629초)]의 최적 화를 CCD에 따라 X_1 및 X_2 를 5단계로 부호화하여 무작위로 제 조한 11구 시료구의 종속변수[수분(Y_1), 경도(Y_2) 및 관능적 씹 힘성(Y_3)]를 측정한 결과는 Table 3과 같다. 독립변수와 종속변 수의 관계를 살펴볼 목적으로 MINITAB 통계프로그램을 이용 하여 RSREG를 실시한 다음 종속변수에 대한 3종의 독립변수

상호 간의 관계를 Maple software를 사용하여 각각 3차원으로 도식화하였다. 진공저온유탕 굴 스낵의 수분(Y_1)에 대한 유탕 온도(X_1) 및 시간(X_2)은 모두 -1.414로부터 1.071 및 1.043까 지 최소치를 나타내었고, 이후부터 +1.414까지 이동할수록 극 히 적은 증가를 나타내었다. 진공저온유탕 굴 스낵의 경도(Y_2) 에 대한 유탕 온도(X_1)는 -1.414로부터 1.017까지 이동할수록 증가하였고, 이후부터 +1.414까지 이동할수록 완만하게 감소 하는 경향을 나타내었다. 유탕 시간의(X_2)의 경우 -1.414로부 터 +1.414까지 이동할수록 급격한 증가를 나타내었다. 또한, 진 공저온유탕 굴 스낵의 관능적 씹힘성(Y_3)에 대한 유탕 온도(X_1) 는 -1.414로부터 0.329까지 이동할수록 증가하였고, 이후부터 +1.414까지 이동할수록 완만하게 감소하는 경향을 나타내었 다. 유탕 시간의(X_2)의 경우 -1.414로부터 +0.329까지 이동할 수록 급격하게 증가하는 경향을 나타내었고, 이후부터 +1.414 까지 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2).

MINITAB program의 RSREG로 분석한 데이터를 활용하여 굴 스낵의 종속변수들에 대한 반응모형방정식의 일차항, 이차 항 및 교차항에 대한 유의성은 수분(Y_1)의 경우, 일차항인 X_1 , X_2 , 이차항인 X_1^2 , X_2^2 와 같은 4종의 항이었고, 경도(Y_2)의 경우 는 일차항인 X_1 , X_2 , 이차항인 X_1^2 , X_2^2 및 교차항인 X_1X_2 로 5 종 모든 항이었으며, 관능적 씹힘성(Y_3)의 경우 일차항인 X_1 , X_2 , 이차항인 X_1^2 , X_2^2 와 같은 4종의 항이었으며, 교차항은 유 의성이 인정되지 않았다($P>0.05$). 따라서 굴 스낵의 수분, 경 도 및 관능적 씹힘성의 반응모형방정식을 항의 유의성($P<0.05$) 을 고려하여 간결식으로 나타내면 $Y_1 = 4.867 - 1.465X_1 - 2.278X_2 + 0.617X_1^2 - 1.042X_2^2$ ($R^2=0.966$, $P\text{-value}=0.000$), $Y_2 = 1,449.0 + 207.3X_1 + 341.7X_2 - 101.5X_1^2 - 80.3X_2^2 + 105.8X_1X_2$ ($R^2=0.986$, $P\text{-value}=0.000$), $Y_3 = 7.033 + 0.3475X_1 + 0.4652X_2 -$

Table 3. Central composite design on independent variables and response of dependent variable in frying conditions for preparation of vacuum fried oyster *Crassostrea gigas* snacks

Coefficients assessed by	Run no.	Coded value		Uncoded value		Dependent variable		
		X_1^1	X_2	X_1	X_2	Y_1^2	Y_2	Y_3
Fractional Factorial design (4 points)	1	-1	-1	92.0	600	9.8	867	5.2
	2	+1	-1	108.0	600	6.8	1,021	5.9
	3	-1	+1	92.0	1,440	5.6	1,296	6.3
	4	+1	+1	108.0	1,440	3.1	1,873	6.4
Star points (4 points)	5	-1.414	0	88.7	1,020	8.5	921	5.4
	6	+1.414	0	111.3	1,020	4.1	1,577	6.8
	7	0	-1.414	100.0	426	10.8	778	5.0
	8	0	+1.414	100.0	1,626	3.5	1,805	6.5
Central points (3 points)	9	0	0	100.0	1,020	4.8	1,454	7.0
	10	0	0	100.0	1,020	4.8	1,472	7.0
	11	0	0	100.0	1,020	5.0	1,421	7.1

¹ X_1 , Vacuum frying temperature (°C); X_2 , Vacuum frying time (sec). ² Y_1 , Moisture (g/100 g); Y_2 , Hardness(g/cm²); Y_3 , Sensory chewiness (score).

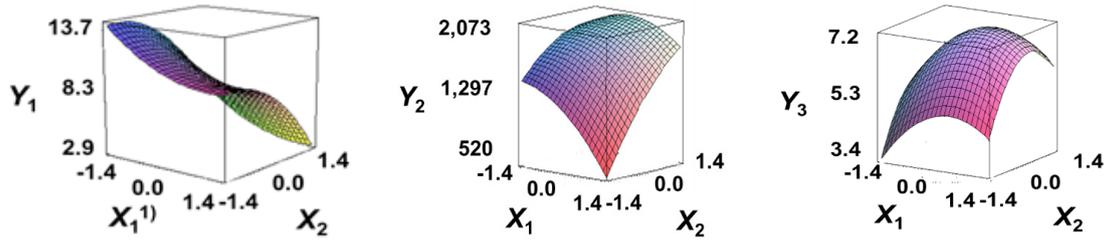


Fig. 2. Three dimensional response surface plots for optimization of frying conditions for preparation of vacuum fried oyster *Crassostrea gigas* snacks based on Y_1 (moisture, g/100 g), Y_2 (hardness, g/cm²) and Y_3 (sensory chewiness, score). ¹ X_1 , Vacuum frying temperature (°C); X_2 , Vacuum frying time (sec).

$0.4604X_1^2 - 0.6354X_2^2$ ($R^2=0.925$, $P\text{-value}=0.001$)과 같다. 또한, 일반적으로 MINITAB 프로그램의 RSREG로 작성한 2차 회귀방정식 즉, 반응모형방정식은 구성 항의 유의성을 고려하지 않는 경우 다양한 항을 구성하고 있어 유의성이 인정되는 항만 따로 정리하였다(Kim et al., 2010).

굴 스낵 제품의 진공저온유탕 온도 및 시간의 최적화를 위해 간결화한 반응모형방정식의 독립변수와 종속변수 간의 관계를 ANOVA분석을 실시한 결과 수분이 일차항 및 이차항에 대하여, 경도가 일차항, 이차항 및 교차항에 대하여, 관능적 씹힘성이 일차항 및 이차항에 대하여 유의성이 모두 인정되었다

Table 4. Optimum vacuum conditions predicted for preparation of oyster *Crassostrea gigas* snacks by MINITAB program

Dependent variables	Value	X_1^1	X_2
Y_1^2	Target	4.80	4.80
	Coded	-0.64	1.41
	Actual	94.9	26.9
Y_2	Target	1,450	1,450
	Coded	0.00	0.00
	Actual	100.0	17.0
Y_3	Target	Max	Max
	Coded	0.33	0.33
	Actual	106.6	19.3
Multiple response optimization	Coded	0.01	0.00
	Actual	100.1	1,020
Predicted	Y_1 : 4.8 g/100 g, Y_2 : 1,451 g/cm ² , Y_3 : 7.0 score		
Experimental	Y_1 : 4.8 ± 0.1^{a3} g/100 g, Y_2 : $1,451 \pm 25.9^a$ g/cm ² , Y_3 : 7.0 ± 0.2^a score		

¹ X_1 , Vacuum frying temperature (°C); X_2 , Vacuum frying time (sec). ² Y_1 , Moisture (g/100 g); Y_2 , Hardness (g/cm²); Y_3 , Sensory chewiness (score). ³Difference letters on the data in the row indicate a significant difference at $P > 0.05$.

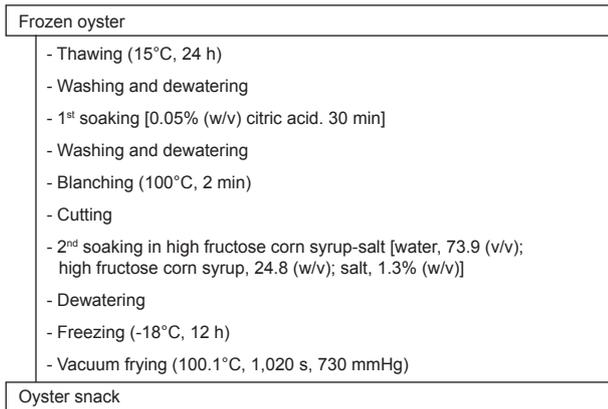


Fig. 3. Processing flowchart for vacuum fried oyster *Crassostrea gigas* snacks with sugar-salt solution immersion

($P < 0.05$). 따라서 수분(Y_1)에 대한 최적 반응모형방정식 모델의 적합 결여 검증은 P-value가 0.035로 0.05보다 낮았지만, 결정계수(R^2)가 0.966으로서 1에 가까우며, model 값이 0.05보다 낮아 설계 모형이 적절한 것으로 나타났다. 경도(Y_2)에 대한 반응모형방정식 모델의 적합 결여 검증은 P-value가 0.202로 0.05보다 높아 설계 모형이 완전하였고, 결정계수(R^2)가 0.986으로서 1에 가까우며, model 값이 0.05보다 낮아 설계 모형이 적절한 것으로 나타났다. 또한, 관능적 씹힘성(Y_3)에 대한 반응모형방정식 모델의 적합 결여 검증은 P-value가 0.177로 0.05보다 높아 설계 모형이 완전하였고, 결정계수(R^2)가 0.925으로서 1에 가까우며, model 값이 0.05보다 낮아 설계 모형이 적절한 것으로 나타났다(Zhou and Regenstein, 2004).

한편, 굴 스낵의 경우 적절한 수분과 바삭한 식감이 유지되어야 하는데 진공저온유탕 온도 및 시간을 과하게 설정할 경우, 과도한 수분 함량 감소로 인한 단단한 식감으로 소비자로부터 선호도가 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 또한, 진공저온유탕 온도 및 시간을 적게 설정할 경우, 익지 않을 수 있는 문제점과 다량의 수분을 함유하고 있어 식감의 바삭함이 떨어지고, 유통과정에서도 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 소비자 기호도를 고려한 굴 스낵의 진공저온유탕 온도(X_1) 및 시간(X_2)의 종속변수 작용범위는 예비실험 결과에 따라서 설정하였고, 수분의 경우 3.1–10.8 g/100 g 범위, 경도의 경우 778–1,873 g/cm² 범위, 관능적 씹힘성의 경우 5.0–7.1점 범위로 설정하였으며, 이들의 목표값은 수분의 경우 최소값으로, 경도의 경우 1,450 g/cm²으로, 관능적 씹힘성의 경우 최대값으로 설정하였다.

이상과 같이 MINITAB 프로그램을 통하여 이들 조건[유탕 온도 100.1°C 및 시간 1,020초]에서 유탕 처리한 굴 스낵의 수분은 4.8 g/100 g, 경도는 1,451 g/cm², 종합적 기호도는 7.0점으로 예측되었다. 따라서 프로그램에서 제시된 최적 진공저온유탕 조건(유탕 온도 및 시간)에 따라 제품을 제조한 다음 수분, 경도 및 관능적 씹힘성을 실제로 측정된 결과, 각각 4.8 g/100

g, 1,449 g/cm² 및 7.1점으로 나타났으며(Table 4), 5% 유의수준에서 예측값과 실제 측정값 간의 차이가 인정되지 않아($P > 0.05$), 최적의 유탕 온도 및 시간의 모델이라 판단되었다.

굴 스낵의 제조를 위한 최적 공정 확립

당-염 침지 전처리 공정과 진공저온유탕 기술이 적용된 굴 스낵의 최적 제조공정은 먼저, 해동된 굴을 세척 및 탈수한 다음 굴의 중량 대비 2배(w/v)의 0.05% (w/v) 구연산 용액에 침지(30분) 후 세척 및 탈수(3분)하였다. 이어서, 블렌칭(100°C, 2분) 처리를 한 다음, 세로로 1/2 절단하고, 굴의 중량 대비 당-염 침지액[물(73.9%, v/v), 고과당(24.8%, w/v) 및 정제염(1.3%, w/v)]을 2배(w/v) 가하여 침지(30분), 탈수(3분) 및 냉각 처리하여 100.1°C에서 1,020초간 진공저온유탕(730 mmHg) 처리하는 것으로 최적 제조공정을 확립하였다(Fig. 3).

사 사

이 논문은 2024년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20220337, MZ세대 선호도 증진 신공정 기술 적용 HMR 수산가공식품 개발 및 상품화).

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis (17th Ed). Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., U.S.A.
- Arab-Tehrany E, Jacquot M, Gaiani C, Imran M, Desobry S and Linder M. 2012. Beneficial effects and oxidative stability of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. Trends Food Sci Technol 25, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.12.002>.
- Ayustaningwarno F, Ginkel EV, Vitorino J, Dekker M, Fogliano V and Verkerk R. 2020. Nutritional and physicochemical quality of vacuum-fried mango chips is affected by ripening stage, frying temperature, and time. Front Nutr 7, 95. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00095>.
- Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS and Escalreira LA. 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta 76, 965-977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>.
- Brugiapaglia A and Destefanis G. 2012. Influence of the housing system on meat quality of double muscled piemontese young bulls. Livest Sci 145, 73-78. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.01.001>.
- Cho SM, Kim JY, Yoon MS, Yang HJ, Um MY, Park JD, Park EJ, Yoo HI, Baek JM and Jo JH. 2015. Monitoring and optimization of the effects of the blending ratio of corn, sesame, and perilla oils on the oxidation and sensory quality of seasoned laver *Pyropia* spp. Fish Aquat Sci 18, 27-33. <https://doi.org/10.5657/fas.2015.0027>.

- Choi SY, Ko SH and Jeong HC. 2019. Antioxidant activities and physicochemical properties of porridge by freeze dried lotus root powder of different ratios. *Culi Sci Hos Res* 25, 147-158. <https://doi.org/10.20878/cshr.2019.25.7.015>.
- Chudy S, Makowska A, Piątek M and Krzywdzińska-Bartkowiak M. 2019. Application of microwave vacuum drying for snack production: Characteristics of pure cheese puffs. *Int J Dairy Technol* 72, 82-88. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12562>.
- Chung CY and Toyomizu M. 1976. Studies on the browning of dehydrated foods as a function of water activity-I Effect of Aw on browning in amino acid-lipid system. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 42, 697-702. <https://doi.org/10.2331/suisan.42.697>.
- Devi S, Zhang M and Law CL. 2018. Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus*) chips quality. *Food Biosci* 25, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.08.004>.
- Dueik V, Moreno MC and Bouchon P. 2012. Microstructural approach to understand oil absorption during vacuum and atmospheric frying. *J Food Eng* 111, 528-536. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.027>.
- García-Segovia P, Urbano-Ramos AM, Fiszman S and Martínez-Monzó J. 2016. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried cassava chips (*Manihot esculenta Crantz*). *LWT Food Sci Technol* 69, 515-521. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.014>.
- Handayani OW, Fathonah S and Kurnia A. 2020. Rice bran for diabetes mellitus prevention and snackification. In: *Proceedings of the 5th International Seminar of Public Health and Education*. Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia. <https://doi.org/10.4108/eai.22-7-2020.2300303>.
- Hasimah HA, Zainon I and Norbaiti B. 2011. Effect of pretreatments on sensory characteristics of vacuum fried pineapple snack-a preliminary investigation. *Acta Horti* 902, 555-558. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHort.2011.902.73>.
- Hou PZ and Regenstein JM. 2004. Optimization of extraction conditions for pollock skin gelatin. *J Food Sci* 69, 393-398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10704.x>.
- IMARC. 2024. Global Oyster Market: Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity, and Forecast 2024-2032. Retrieved from <https://www.imarcgroup.com/gcc-oyster-market> on Jun 14, 2024.
- Jeong BY, Moon SK, Jeong WG and Lee JS. 1999. Changes in proximate compositions of the oysters (*Crassostrea gigas*) cultured with Korean and Japanese spats. *J Korean Fish Soc* 32, 563-567.
- Kim DS and Shin HJ. 2021. Effect of pretreatment method on the physical properties of vacuum-fried sweet potato chips. *J Adv Eng Technol Sci* 14, 107-113. <https://doi.org/10.35272/jaet.2021.14.2.107>.
- Kim HJ, Yoon MS, Park KH, Shin JH, Heu MS and Kim JS. 2010. Processing optimization of gelatin from rockfish skin based on yield. *Fish Aquat Sci* 13, 1-11.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Fisheries Statistics. Retrieved from http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuIdM_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01#SelectStatsBoxDiv on Feb 28, 2024.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2023. 2021 Food Balance Sheet. KREI, Naju, Korea, 160-211.
- Lee KY, Jung JB, Park CY, Kim AN, So SA, Rahman MS and Choi SG. 2016. Effect of pre-soaking with salt and sugar treatments on quality characteristics of dried top shell (*Hexaplex Nigritus*). *J Agric Life Sci* 50, 139-149. <https://doi.org/10.14397/jals.2016.50.6.139>.
- Li B, Song K, Meng J, Li L and Zhang G. 2017. Integrated application of transcriptomics and metabolomics provides insights into glycogen content regulation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *BMC Genomics* 18, 713. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4069-8>.
- Liu L, Chen X, Hao L, Zhang G, Jin Z, Li C, Yang Y, Rao J and Chen B. 2022. Traditional fermented soybean products: Processing, flavor formation, nutritional and biological activities. *Crit Rev Food Sci Nutr* 62, 1971-1989. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848792>.
- Liu S, Li L, Wang W, Li B and Zhang G. 2020. Characterization, fluctuation and tissue differences in nutrient content in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Qingdao, northern China. *Aquacult Res* 51, 1353-1364. <https://doi.org/10.1111/are.14463>.
- Meng J, Song K, Li C, Liu S, Shi R, Li B, Wang T, Li A, Que H, Li L and Zhang G. 2019. Genome-wide association analysis of nutrient traits in the oyster *Crassostrea gigas*: Genetic effect and interaction network. *BMC genomics* 20, 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5971-z>.
- Moreira RG. 2014. Vacuum frying versus conventional frying - an overview. *Eur J Lipid Sci Tech* 116, 723-734. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300272>.
- Negara BFSP, Lee MJ, Tirtawijaya G, Cho WH, Sohn JH, Kim JS and Choi JS. 2021. Application of deep, vacuum, and air frying methods to fry chub mackerel (*Scomber japonicus*). *Processes* 9, 1225. <https://doi.org/10.3390/pr9071225>.
- Ophithakorn T and Yaeed S. 2016. Influence of temperature on microstructure and oil content in vacuum frying of fish tofu. *Int J Adv Agric Environ Eng* 3, 170-174. <http://dx.doi.org/10.15242/IJAAEE.U0416218>.
- Park SY, Kim YJ, Kang SI, Lee JS and Kim JS. 2018. Food component characteristics of bone-softened mackerel *Scomber japonicus* product. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 623-631. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0623>.
- Rana MM, Mohibullah M, Won NE, Baten MA, Sohn JH, Kim JS and Choi JS. 2021. Improved hot smoke processing of chub mackerel (*Scomber japonicus*) promotes sensorial, physicochemical and microbiological characteris-

- tics. *Applied Sciences* 11, 2629. <https://doi.org/10.3390/app11062629>.
- Salvador A, Varela P, Sanz T and Fiszman SM. 2009. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT Food Sci Technol* 42, 763-767. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.016>.
- Şen Yılmaz EB. 2023. Utilization of yeast extract as a flavor enhancer and masking agent in sodium-reduced marinated shrimp. *Molecules* 29, 182. <https://doi.org/10.3390/molecules29010182>.
- Su Y, Zhang M, Chitrakar B and Zhang W. 2021. Reduction of oil uptake with osmotic dehydration and coating pre-treatment in microwave-assisted vacuum fried potato chips. *Food Biosci* 39, 100825. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100825>.
- Varlet V, Serot T and Prost C. 2009. Smoke flavoring technology in seafood. In: *Handbook of Seafood and Seafood Products Analysis*. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A., 251-272.
- Xu Z, Leong SY, Farid M, Silcock P, Bremer P and Oey I. 2020. Understanding the frying process of plant-based foods pretreated with pulsed electric fields using frying models. *Foods* 9, 949. <https://doi.org/10.3390/foods9070949>.
- Yamaura K, Takahashi KG and Suzuki T. 2008. Identification and tissue expression analysis of C-type lectin and galectin in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* 149, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2007.09.004>.
- Yuasa M, Kawabeta K, Eguchi A, Abe H, Yamashita E, Koba K and Tominaga M. 2018. Characterization of taste and micronutrient content of rock oysters (*Crassostrea nippona*) and Pacific oysters *Crassostrea gigas* in Japan. *Int J Gastron Food Sci* 13, 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2018.06.001>.
- Zhang X, Zhang M and Adhikari B. 2020. Recent developments in frying technologies applied to fresh foods. *Trends Food Sci Technol* 98, 68-81. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.007>.