

# 바지락(*Ruditapes philippinarum*) 조미소재 제조를 위한 Extrusion Cooking 공정의 최적화

신의철 · 광동윤<sup>1</sup> · 안수영<sup>1</sup> · 권상오<sup>1</sup> · 최윤진<sup>2</sup> · 김동민<sup>2</sup> · 최기범<sup>2</sup> · 부창국 · 김선봉<sup>2</sup> · 김진수<sup>3</sup> · 이정석<sup>4</sup> · 조승목<sup>2\*</sup>

경남과학기술대학교 식품과학부, <sup>1</sup>에스앤디(주) 연구소, <sup>2</sup>부경대학교 식품공학과/식품연구소, <sup>3</sup>경상대학교 해양식품생명의학과/해양산업연구소, <sup>4</sup>경상대학교 수산식품산업화 기술지원센터

## Optimization of Extrusion Cooking Conditions for the Preparation of Seasoning from Manila Clam *Ruditapes philippinarum*

Eui-Cheol Shin, Dongyun Kwak<sup>1</sup>, Soo-Young Ahn<sup>1</sup>, Sangoh Kwon<sup>1</sup>, Yunjin Choi<sup>2</sup>, Dongmin Kim<sup>2</sup>, Gibeom Choi<sup>2</sup>, Chang-Guk Boo, Seon-Bong Kim<sup>2</sup>, Jin-Soo Kim<sup>3</sup>, Jung Suck Lee<sup>4</sup> and Suengmok Cho<sup>2\*</sup>

Department of Food Science, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

<sup>1</sup>S&D Research and Development Institute, Cheongju 28156, Korea

<sup>2</sup>Department of Food Science and Technology/Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>3</sup>Department of Seafood and Aquaculture Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

<sup>4</sup>Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

The Manila clam *Ruditapes philippinarum*, is an important marine bivalve that is widely distributed along the west and north coasts of South Korea. It has been used in a variety of Korean foods owing to its superior umami taste. In the present study, we developed a flavoring with an excellent sensory preference from Manila clam using extrusion cooking processing. Optimization of extrusion cooking conditions was performed using response surface methodology (RSM). Barrel temperature ( $X_1$ , 140-160°C) and screw speed ( $X_2$ , 400-560 rpm) of the extruder were chosen as independent variables. The dependent variable was overall acceptance ( $Y$ , points). The estimated optimal conditions were as follows: overall acceptance ( $Y$ ):  $X_1=140^\circ\text{C}$  and  $X_2=560$  rpm. The indicated value of the dependent variable overall acceptance ( $Y$ ) under the optimal conditions was 8.94 points, which was similar to the experimental value (8.82 points). Overall acceptance of the Manila clam flavoring was related to its umami and Manila clam tastes. The electronic nose and tongue results successfully segregated different clusters of the samples between the lowest and highest sensory scores. The sample with the highest sensory score had higher sourness, umami, and sweetness intensities, and the lowest sensory scored sample showed more off-flavor compounds.

Keywords: Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, Flavoring, Extrusion cooking, Electronic nose and tongue

## 서론

바지락은 석패목 백합과에 속하는 부족류로 우리나라 남해 및 서해 연안지역에서 널리 양식되고 있다. 소형 조개류에 속하지 만 성장과 번식이 빠르고 이동을 거의 하지 않는 습성 때문에 양 식이 비교적 용이하다(Moon et al., 2003). 산란기인 7월 초순

에서 8월 중순 정도를 제외하면 거의 1년 내내 채취되고 있으며, 국내 연간 생산량이 약 5만 톤 규모로 패류 중 굴 다음으로 소비 가 많다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2019). 바지락에는 필수아미노산이 풍부하고(Yoon et al., 2007) 깊은 감칠맛을 가지고 있어 된장국, 갈국수 등 국물이 있는 음식에서 맛을 내는 재료로 널리 이용되고 있다. Extrusion cooking은 높은 온도와

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5833 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: scho@pknu.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.2020.0823>

Korean J Fish Aquat Sci 53(6), 823-833, December 2020

Received 27 October 2020; Revised 13 November 2020; Accepted 17 November 2020

저자 직위: 신의철(교수), 광동윤(연구원), 안수영(부장), 권상오(연구소장), 최윤진(학부생), 김동민(학부생), 최기범(대학원생), 부창국(대학원생), 김선봉(교수), 김진수(교수), 이정석(교수), 조승목(교수)

압력 그리고 기계적 전단력의 조합에 의해 단시간에 식품 원재료에 열반응을 일으키고 동시에 성형이 이루어지는 압출성형 공정으로 스낵, 시리얼 및 식물성 단백질 소재 등의 제조에 널리 이용되어 왔다(Ilo et al., 2000; Lee, 2003). 이러한 extrusion cooking 공정은 단백질, 아미노산 및 당류의 Maillard 반응을 통한 식품 향미 형성을 유도할 수 있어 조미소재의 개발에도 유용하게 적용될 수 있다(Yaylayan et al., 1992). 특히, 기존의 회분식 향미 제조공정보다 반응시간 및 제조시간을 크게 단축시킬 수 있는 high temperature short time (HTST) 공정으로서의 장점을 가지고 있다(Riha and Ho, 1998).

본 연구에서는 국물 요리의 맛을 내는데 널리 애용되는 바지락으로부터 조미 키베이스(key base)를 개발하기 위하여 extrusion cooking 공정을 적용시키고 최적화하였다. 바지락 조미소재 extrusion cooking 공정은 통계적 기법인 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)에 의해 최적화되었다. 종속변수(dependent variable)로는 관능평가에 의한 종합적 기호도(Y)를 설정하였다. 독립변수(independent variable)로 extruder 장치의 배럴(barrel) 온도( $X_1$ , °C)와 스크류 속도( $X_2$ , rpm)를 설정하였다. Extruder의 배럴 온도와 스크류 속도는 식품원료의 가열정도를 결정하는 가장 중요한 변수로 잘 알려져 있다(Guha et al., 1997; Osman et al., 2000; Plunkett and Ainsworth, 2007). Extruder의 배럴은 식품원료와 직접 접촉하는 부분으로 배럴의 온도가 식품원료의 온도를 좌우하며, 스크류 속도도 식품원료의 온도 변화에 영향을 미친다(Guha et al., 1997). 또한, extrusion cooking의 조건에 따른 맛 및 향의 변화를 전자혀와 전자코를 이용하여 분석하여 관능평가의 특성과 비교하였다.

**재료 및 방법**

**재료**

바지락(*Ruditapes philippinarum*) 조미소재 제조를 위해 해감 및 탈각이 완료된 바지락살을 대풍수산(Gochang, Korea)으로부터 구입하여 사용하였다. 바지락살은 진공건조기(OV-01, Jeio Tech Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 70°C에서 건조한 후 분쇄하여 실험에 사용하였다. 압출성형을 위한 배합원료에 사용된 옥수수전분은 씨제이제일제당(주) (Seoul, Korea)에서, 분리대두단백(ISP)은 Solae LLC (St. Louis, MO, USA), 포도당은 Weifang Shengtai Medicine Co. Ltd (Weifang, Shandong, China), 그리고 호박산이나트륨은 (주)삼인케미칼(Siheung, Korea)에서 각각 구입하였다. 이 외에 실험에 사용된 모든 시약 및 화학물질은 분석 등급을 사용하였다.

**Extrusion Cooking**

Extrusion cooking 전 건조바지락(40.0%), 옥수수전분(40.9%), 분리대두단백(10.0%), 포도당(2.0%), 호박산이나트륨(0.4%)

및 아미노산화합물(6.7%)을 혼합기를 사용하여 균질화하였다. 본 연구의 extrusion cooking을 위해 동방향 쌍축압출성형기(FX-40; MillingInd Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하였다. Extrusion cooking시 지름 2 mm인 원형사출구를 사용하였고, 바지락 배합원료 투입속도 및 수분함량을 각각 0.25 kg/min 및 20%로 유지하면서 서로 다른 스크류 회전속도(400-560 rpm) 및 배럴 온도(140-160°C)에서 바지락 조미소재 extrudate를 제조하였다. 압출성형기를 통과하여 나온 extrudate는 강제순환 건조기(OF-22GW, Jeio Tech Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하여 60°C에서 3시간동안 건조한 다음 분쇄하여 최종 바지락 조미 키베이스 분말로 제조하였다.

**반응표면분석법 설계**

관능적 기호도가 우수한 바지락 조미소재 개발을 위해 extrusion cooking 공정을 반응표면분석법(RSM)에 의해 최적화하였다. 실험의 설계는 중심합성계획법(central composite design)에 따라 수행되었다. 독립변수(independent variable)로는 배럴 온도( $X_1$ , °C) 및 스크류 속도( $X_2$ , rpm)로 설정하였으며, 종속변수(dependent variable)로는 종합적 기호도(Y, points)를 설정하였다. 독립변수 배럴 온도( $X_1$ ) 및 스크류 회전속도( $X_2$ )의 부호화 및 부호화 되지 않은 실제 실험값을 Table 1에 나타내었다. 독립변수의 범위는 예비 실험의 결과를 바탕으로 설정되었다. 본 연구는 4개의 factorial points, 4개의 axial points, 3개의 center points로 실험을 구성되었으며, Table 2에 나타난 11개의 실험군들은 통계적인 오차를 줄이기 위해 무작위적인 순서로 진행되었다.

**반응표면분석법 통계분석 및 최적화**

무작위로 수행된 Table 2의 실험군의 종속변수 Y (종합적 기호도)의 값들은 MINTAB 통계프로그램(Version 16; Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하여 분석하였으며, 다음과 같은 이차회귀식의 반응표면모델식(response model equation)을 도출하였다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^4 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=i+1}^4 \beta_{ij} X_i X_j$$

여기서 Y는 종속변수  $\beta_0$ 는 상수,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$ ,  $\beta_{ij}$ 는 회귀계수,  $X_i$ ,  $X_j$ 는 독립변수이다. 바지락 조미소재 개발을 위한 extrusion

Table 1. Experimental range and values of independent variables in the central composite design for extrusion cooking in preparation of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum*

Independent variables	Symbol	Range and levels				
		-1.414	-1	0	+1	+1.414
Barrel temperature (°C)	$X_1$	140	143	150	157	160
Screw speed (rpm)	$X_2$	400	423	480	537	560

cooking 공정의 최적화는 MINTAB 통계프로그램의 response optimizer를 통해 이루어졌으며, 통계적으로 추정된 최적조건 하에서 실제 실험을 통하여 얻어진 종속변수의 값과의 비교를 통해 추정된 종속변수의 값을 검증하였다. 또한 3차원 그래프는 MAPLE software (Version 7; Waterloo Maple Inc., Waterloo, ON, Canada)를 이용하여 작성하였다.

### 관능평가

관능평가는 부경대학교 식품공학과 소속 22세에서 27세 사이의 훈련된 전문 패널 15인(남성 7명 및 여성 8명)을 구성하여 수행되었다. Extrusion cooking 공정에 의해 제조된 바지락 조미소재는 75°C의 온수에서 1.5% (w/v)의 농도로 녹여 국물 형태로 관능평가에 이용되었다. 또한, 향후 바지락 조미소재의 활용을 예상하여 0.3% (w/v)의 식염도 함께 첨가하였다. 주요 평가 항목으로는 종합적 기호도를 설정하였으며, 바지락 유래 조미소재의 특성에 맞게 감칠맛, 바지락맛 및 짠맛도 함께 평가되었다. 관능적 기호도는 9점 평점법(1점, 대단히 나쁘다; 5점, 나쁘지도 좋지도 않다; 9점, 대단히 좋다)에 의해 평가되었다.

### 전자혀를 이용한 맛 성분 분석

각 샘플이 가지는 맛 성분의 패턴은 전자혀 시스템을 이용하여 분석하였다. 맛 성분의 기본 5가지 종류와 추가적인 맛 관련 지표 2가지를 포함한 개별 맛 성분을 검출하는 센서가 결합된 전자혀 시스템(ASTREE-II electronic tongue; Alpha MOS, Toulouse, France)을 이용하여 확인하였다. 각 센서의 경우 STS (saltiness)는 짠맛, UMS (umami)는 감칠맛, SWS (sweetness)는 단맛, SRS (sourness)는 신맛, 그리고 BRS (bitterness)는 쓴맛에 반응한다고 알려져 있다(Lee et al., 2020). 각 시료는

10 g씩의 함량을 전자혀 분석용 vial에 정제수 100 mL와 함께 50°C의 온도에서 150 rpm 교반 속도로 1시간 동안 교반을 통해서 수용성의 맛 성분을 추출하였다. 또한 particle 제거를 위해 여과를 실시하였다. 시료액은 전자혀 장비의 sampler에 장착한 후 센서를 2분간 시료액에 침지를 통한 접촉으로 해당 센서에 관련된 맛 성분의 강도를 측정하였고, 시료 간 오염을 통한 오차를 줄이기 위해 매 분석 시 정제수로 이용하여 각각의 센서를 충분히 세척 후 다음 샘플 분석에 진행하였다. 샘플 당 5회 반복 분석을 진행하였고, 각각의 결과값은 맛 성분에 대한 taste pattern을 통해 비교하였다(Lee et al., 2020).

### 전자코 분석

각 샘플에 존재하는 휘발성 향기성분을 분석하고자 전자코 시스템(HERACLES Neo; Alpha MOS, Toulouse, France)을 사용하였다. 각 샘플 3 g을 취하여 전자코 분석용 headspace vial에 넣고 50°C에서 500 rpm으로 20분간 교반하여 headspace에 휘발성 향기성분을 충분히 포화시킨 후 샘플에 존재하는 휘발성 성분을 syringe를 통해서 포집하였다. 휘발성 성분 포집은 전자코 시스템에 장착된 자동시료채취기를 통해 진행되었고, 포집량은 5,000 µL의 휘발성 성분을 취한 후 전자코 시스템에 장착된 gas chromatography inlet에 주입되었다. 전자코 분석에서 분석 컬럼은 MXT-5가 분석에 사용되었다. 각각의 분석 조건을 보면 acquisition time은 230초였으며, trap absorption temperature 40°C, trap desorption temperature 240°C에서 분석을 진행하였다. 성분 동정을 위한 retention index는 Kovat's index library 기반의 AroChemBase (Alpha MOS)를 이용하여 분리된 피크의 성분을 추정하였다. 각 샘플은 3회 분석 결과를 이용하여 odor pattern을 확인하였고, retention index를 통해

Table 2. Central composite design matrix and values of dependent variables for extrusion cooking in preparation of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum*

Number	Independent variables				Dependent variables Y	
	Coded values		Uncoded values			
	$X_1$	$X_2$	$X_1$	$X_2$		
Factorial portions	1	-1	-1	143	423	5.80
	2	1	-1	157	423	5.90
	3	-1	1	143	537	8.00
	4	1	1	157	537	5.90
Axial portions	5	-1.414	0	140	480	7.10
	6	1.414	0	160	480	5.20
	7	0	-1.414	150	400	5.50
	8	0	1.414	150	560	6.70
Center points	9	0	0	150	480	6.10
	10	0	0	150	480	6.20
	11	0	0	150	480	6.30

$X_1$ , Barrel temperature (°C);  $X_2$ , Screw speed (rpm); Y, Overall acceptance (points).

개별 화합물을 동정하였다. 또한 다변량 분석을 통해 샘플 간의 discriminant pattern을 확인하였다(Lee et al., 2020).

**결과 및 고찰**

**반응표면 모델식의 진단**

중심합성계획법(central composite design)의 실험설계에 따라 서로 다른 extrusion processing 조건에서 실험된 바지락 키베이스의 종합적 기호도(Y)를 Table 2에 나타내었다. 독립변수(independent variable)인 배럴 온도( $X_1$ , °C) 및 스크류 속도( $X_2$ , rpm)가 종속변수(dependent variable)인 종합적 기호도(Y)에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 2차 회귀방정식의 반응표면모델식(response surface model equation)의 도출이 필요하다(Bas and Boyaci, 2007; Bezerra et al., 2008). 종속변수에 대한 일차항( $X_1$ ,  $X_2$ ), 이차항( $X_1X_1$ ,  $X_2X_2$ ) 및 교차항( $X_1X_2$ )의 coefficient 및 P-value는 Table 3과 같다. 상수(constant), 일차항( $X_1$ ,  $X_2$ ) 및 교차항( $X_1X_2$ ) 계수의 유의수준은 0.05 이하로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). 반면에, 이차항( $X_1X_1$ ,  $X_2X_2$ )의 P-value는 각각 0.669 및 0.853으로  $P < 0.05$  수준에서 유의적이지 않았다. 이와 같이 통계적으로 추정된 coefficient 및 P-value에 따라 종속변수 종합적 기호도(Y)에 대한 반응표면모델식을 도출하였다(Table 4). 실험설계의 적합성을 의미하는 중요한 통계적 지표인 반응표면모델식에 대한 결정 계수( $R^2$ ) 값은 0.957로 높게 나타났다(Shishir et al., 2016). 또한 반응표면모델식의 P-value도 0.002로 통계적 유의성을 나타내었다( $P < 0.05$ ).

**분산분석**

본 바지락 키베이스 extrusion cooking 공정 최적화를 위한 반응표면모델 방정식의 통계적 유의성은 ANOVA(analysis of variance)에 의해 평가되었다(Table 5). 종속변수인 종합적 기호도(Y)는 일차항(linear) 및 교차항(interaction)에서 통계적으로 유의성을 나타내었으며, 이차항(square)은 P-value가 0.902

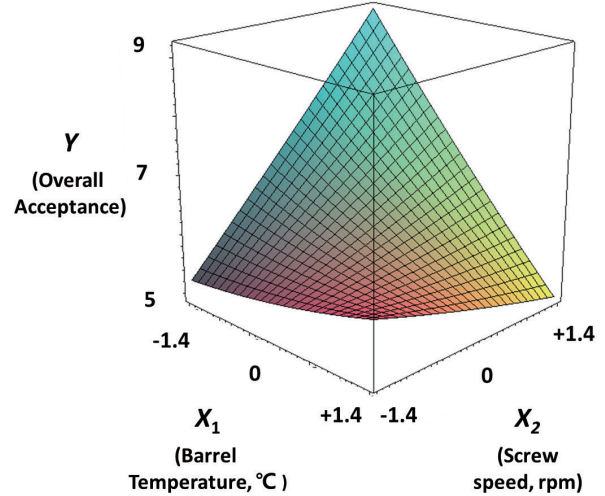


Fig. 1. Three-dimensional response surface plots of overall acceptance (Y) of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum* as a function of barrel temperature ( $X_1$ , °C) and screw speed ( $X_2$ , rpm).

로  $P < 0.05$  수준에서 유의적이지 못한 것으로 나타났다. 또한, 적합성 결여(lack of fit) 검정을 통해 반응표면모델의 적합성을 평가할 수 있는데 P-value가 0.05 보다 크면 적합한 모델로 간주된다(Isa et al., 2011). 본 반응표면모델식의 적합성 결여에 대한 P-value는 0.112로 0.05 보다 높게 나타나 반응표면모델식이 통계적으로 타당한 것으로 나타났다.

**반응표면 3차원 그래프 및 인자의 영향 분석**

통계적으로 산출된 반응표면모델식에 따라 독립변수 배럴 온도( $X_1$ , °C) 및 스크류 속도( $X_2$ , rpm)가 종속변수인 종합적 기호도(Y, points)에 미치는 영향을 3차원 반응표면 그래프로 나타내었다(Fig. 1). 압출성형기를 통과하는 동안 원료 배합물의 전구물질들은 열과 기계적 전단력과 압력에 의해 반응향(reaction flavor)이 일어나게 되며 특히 열에 의한 고기향이나 세이버리

Table 3. Estimated coefficients of the fitted quadratic polynomial equations for optimizing extrusion cooking conditions of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum* as a function of barrel temperature ( $X_1$ , °C) and screw speed ( $X_2$ , rpm)

Parameters		Constant	$X_1$	$X_2$	$X_1X_1$	$X_2X_2$	$X_1X_2$
Y	Coefficient	6.200	-0.586	0.487	0.044	0.019	-0.550
	P-value	0.001	0.001	0.002	0.669	0.853	0.005

Y, Overall acceptance (points).

Table 4. Response surface model equations for optimizing extrusion cooking conditions of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum* as a function of barrel temperature ( $X_1$ , °C) and screw speed ( $X_2$ , rpm)

Quadratic polynomial model equations	$R^2$	P-value
$Y = 6.2 - 0.586 X_1 + 0.487 X_2 + 0.044 X_1^2 + 0.019 X_2^2 - 0.550 X_1X_2$	0.957	0.002

Y, Overall acceptance (points).



향(savory flavor)이 생성된다(Manley, 1995). Extrusion cooking을 통해 제조된 바지락 조미베이스의 종합적 기호도(Y, points)는 배럴 온도( $X_1$ , °C)가 낮을수록 스크류 속도( $X_2$ , rpm)가 빠를수록 증가하는 특성을 보였다. 압출성형기 작동시에는 내부 스크류의 기계적 움직임에 의하여 자가발열(heat dissipation)현상이 일어나기 때문에 모터의 기계적인 회전에너지만 공급될지라도 그 일부가 열에너지로 변환이 되어 결국 식품 원료는 열에너지를 추가로 받게 된다(Chung and Lee, 1997). 또한, extrusion cooking시 스크류 회전에 의한 온도 상승에 배럴의 높은 온도가 더해져 재료가 과잉으로 탄화되며 향미 성분의 발현 정도에 차이가 발생하여 종합적 기호도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 즉 실험구간 중 낮은 온도 조건인 140°C의 경우는 스크류 회전에 의한 추가적인 열 상승이 Maillard 반응을 촉진시켜 고기향, 세이버리향 등 제품의 향미물질을 증가시키는 역할을 한 것으로 보이나, 가장 높은 온도 조건인 160°C에서는 스크류의 회전에 의한 열 상승은 배럴 내부에서 과도한 반응으로 오히려 내용물이 탄화를 일으킬 수 있는 조건이 되어 탄 냄새나 이취 발생으로 인하여 종합 기호도가 낮아진 것으로 사료된다(Kim et al., 2006).

한편, 본 연구에서는 종속변수인 종합적 기호도에 영향을 미치는 세부적인 맛 특성을 알아보기 위하여 관능평가시 짠맛(salty taste), 감칠맛(umami taste) 및 바지락맛(Manila clam taste)에 대한 선호도도 함께 알아보았다(Fig. 2). 짠맛은 바지락 키베이스의 종합적 기호도와는 상관성이 없는 것으로 나타났으며, 이는 관능평가를 위한 시료 제조시 일괄적으로 식염을 0.3% (w/v) 첨가하였기 때문으로 사료된다. 반면, 바지락 조미소재에서 중요하게 작용할 것으로 예상되었던 감칠맛( $R^2=0.7249$ )과 바지락맛( $R^2=0.7301$ )은 높은 결정계수 값을 나타내지는 못했지만 종합적 기호도와 상관성이 있는 것으로 판단되었다. Maillard reaction은 감칠맛 또는 감칠맛을 증가시키는 펩타이드를 생성시켜 감칠맛을 느끼는 강도를 증가시키는데, 이러한 결과는 Maillard reaction에 의한 조개(Normah and Noorasma,

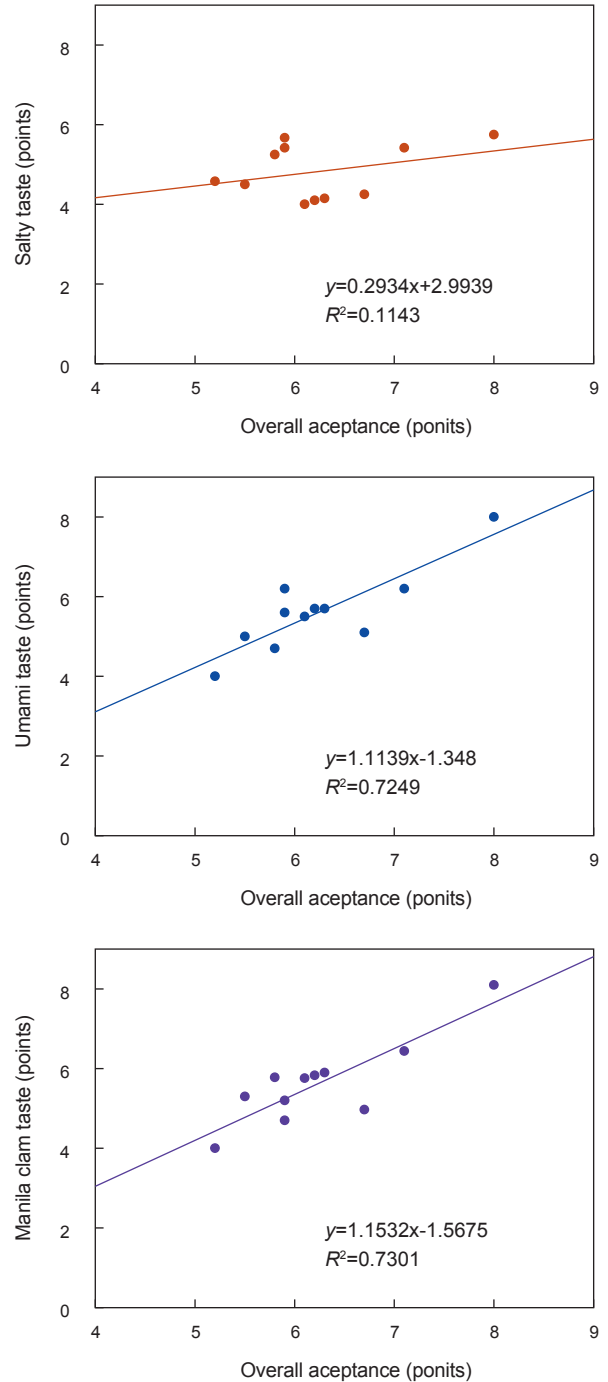


Fig. 2. Correlations between overall acceptance and salty, umami and Manila clam tastes of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum*.

Table 5. Analysis of variance for dependent variable

Dependent variables	Sources	DF	SS	MS	F-value	P-value
Y	Regression					
	Linear	2	4.644	2.322	44.34	0.001
	Square	2	0.011	0.006	0.11	0.902
	Interaction	1	1.210	1.210	23.10	0.005
	Residual					
	Lack of fit	3	0.242	0.081	8.06	0.112
	Pure error	2	0.020	0.010		
Total		10				

DF, Degrees of freedom; SS, Sum of square; MS, Mean square; Y, Overall acceptance (points).

2018) 및 대두단백(Ogasawara et al., 2006), 땅콩단백(Zhang et al., 2019), 우골(Xu et al., 2018)의 맛 성분 변화에 대한 연구에서도 보고되었다.

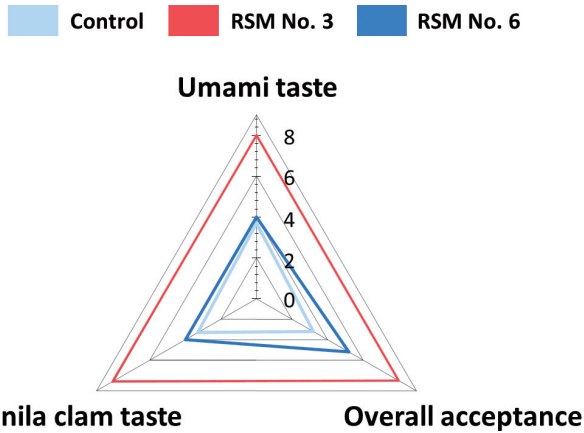


Fig. 3. Sensory characteristics of control, RSM No. 3 and RSM No. 6 samples. Control sample means products not to be treated by extrusion cooking. RSM, response surface methodology.

Extrusion cooking 조건의 최적화 및 검증

본 연구에서는 종속변수인 종합적 기호도(Y)를 최대화시킬 수 있는 최적의 extrusion cooking 조건을 MINTAB 프로그램의 response optimizer를 이용하여 통계적으로 도출하였다 (Table 6). 그 결과, 종합적 기호도(Y)가 최대값(Max)을 나타내는 독립변수 배럴 온도( $X_1$ , °C) 및 스크류 속도( $X_2$ , rpm)의 코드 값(coded value) 및 실제값(uncoded value)은 다음과 같이 추정되었다: 배럴 온도( $X_1$ ) -1.414, 140°C; 스크류 속도( $X_2$ ) 1.414, 560 rpm. 이렇게 통계적으로 추정된 독립변수의 최적조건 하에서 예상되는 종속변수 종합적 기호도(Y)의 최대값은 8.94으로 나타났다. 최적화된 독립변수의 조건에 통계적으로 예상된 종속변수 종합적 기호도의 값은 최적조건하에서 실제 실험된 값과의 비교를 통해 검증되어야 한다(Cho et al., 2005; Yoon

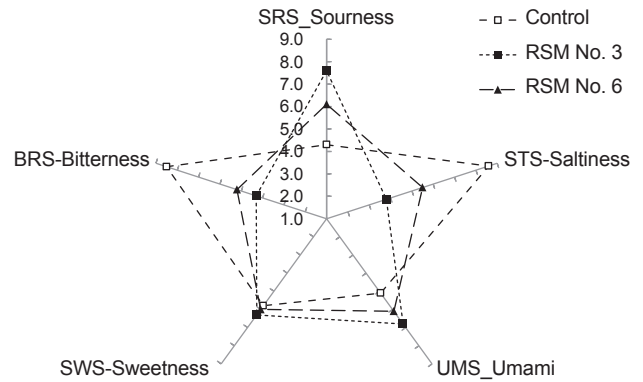


Fig. 4. Taste intensity of samples using electronic tongue. Control sample means products not to be treated by extrusion cooking. RSM, response surface methodology.

et al., 2017). 실제 최적조건에 실험된 종합적 기호도가 8.82로 나타나 통계적인 예측값과 거의 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

미처리군과의 관능특성 비교

RSM 디자인에서 설계된 실험군 종합적 기호도가 가장 높은 No. 3 샘플과 가장 낮은 No. 6 샘플을 대상으로 extrusion cooking이 되지 않은 미처리군(control)과 관능특성을 비교하였다(Fig. 3). 미처리군(control)은 가장 낮은 종합적 기호도를 나타내었으며, 감칠맛(umami taste) 및 바지락맛(Manila clam taste)에서도 가장 낮은 선호도를 보였다. RSM 실험군 중 종합적 기호도가 가장 낮은 No. 6 샘플의 경우 미처리군에 가까운 관능적 특성을 보였다. 이러한 결과를 종합해볼 때, extrusion cooking 조건의 최적화는 바지락 키베이스를 제조하는데 있어 적용 필요성이 매우 높은 것을 알 수 있었다.

Table 6. Response optimization for extrusion cooking conditions for the preparation of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum*

Optimal conditions	$X_1$ (Barrel temperature, °C)		$X_2$ (Screw speed, rpm)	
	Coded value	Actual value	Coded value	Actual value
	-1.414	140	1.414	560
Y (Overall acceptance, points)				
	Max	8.94		
Predicted values	8.94			
Experimental values	8.82±0.5			

## 전자혀 및 전자코 분석

RSM 실험군들 중 가장 우수한 종합적 기호도를 가진 No. 3 샘플 그리고 가장 낮은 종합적 기호도가 No. 6 샘플의 기본 5가지 맛성분에 대한 상대적 강도를 비교하여 Fig. 4에 나타내었

다. 종합적 기호도가 가장 우수한 No. 3 샘플의 경우 미처리군과의 비교에서 높은 sourness, umami 및 sweetness가 확인되었다. 또한 가장 낮은 종합적 기호도를 가지는 No. 6 샘플과의 비교에서도 sourness, umami 및 sweetness에서 높은 값을 나타내었다. 미처리군의 경우 높은 saltiness와 bitterness를 나타내었

Table 7. Volatile compounds in seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum* using electronic nose

Compounds	RT <sup>a</sup> (RI <sup>b</sup> )	Sensory description	(Peak area×10 <sup>3</sup> )		
			Control	Sample No. 3	Sample No. 6
Butane	17.63 (380)	Faint	11.99	14.09	41.33
Trimethylamine	20.39 (424)	Amine, Ammoniacal, Fishy, Pungent	15.22	44.15	246.38
Ethanol	22.63 (460)	Alcoholic, Ethanol, Pungent, Strong	10.91	12.11	32.21
2-Methylbutane	23.77 (478)	Gasoline, Pleasant	0.25	0.90	3.81
Dimethyl sulfide	25.03 (498)	Cabbage, Corn, Green, Onion, Sulfurous	0.43	0.39	1.50
2-Methylpropanal	27.31 (534)	Burnt, Fresh, Pungent, Spicy	16.82	85.72	477.12
Acetonitrile	28.23 (549)	Aromatic	13.02	89.43	514.74
Butanal	29.89 (575)	Green, Malty, Pungent, Chocolate	3.01	2.28	6.11
3-Methylfuran	33.17 (615)	-	0.09	0.27	1.25
3-Methylbutanal	37.91 (654)	Aldehydic, Almond, Cheese, Fruity, Fatty	0.71	6.65	65.38
Benzene	40.43 (676)	Aromatic, Gasoline, Pleasant	8.15	2.46	3.40
Pentan-2-one	42.39 (692)	Acetone, Banana, Fruity, Sweet, Thinner	0.09	0.30	0.63
Heptane	43.59 (703)	Alkane, Fruity, Sweet	6.25	3.72	5.00
Butanethiol	44.67 (713)	Coffee, Garlic, Onion, Sulfurous	0.36	0.44	1.50
3-Methyl-1-butanol	45.97 (725)	Alcoholic, Balsamic, Cheese, Onion	0.02	0.07	0.28
2-Pentenal	47.47 (740)	Apple, Fruity, Green, Oily, Pungent	0.27	0.36	2.72
2-Methyl-1-butanol	49.69 (761)	Fresh, Fruity, Malty	0.10	0.21	1.01
1,1,2-Trichloro-ethane	50.95 (773)	Pleasant, Sweet	0.32	0.21	0.54
p1-Ethyl-3-methyl-cyclopentane	51.73 (781)	Pungent, Synthetic	0.19	0.57	3.61
4-Methylheptane	53.09 (794)	-	0.50	0.87	2.25
Dimethyl sulfoxide	54.89 (813)	Alliaceus, Fatty, Garlic, Sulfurous	1.11	1.95	4.86
2,4-Octadiene	55.71 (823)	Glue, Warm	0.29	0.62	5.96
4-Ethylheptane	57.95 (850)	-	0.10	0.16	2.09
Cyclohexanol	60.25 (877)	Camphor	1.68	1.53	2.44
1,4-Dichloro-butane	61.93 (897)	-	1.01	3.12	6.39
1,2,3-Trichloro-propane	63.45 (940)	Chloroform	0.54	1.14	5.53
Amyl propanoate	64.41 (972)	Apricot, Fruity, Pineapple, Sweet	0.14	0.48	1.56
5-Methyl-4-nonene	65.33 (1,001)	-	11.45	9.28	8.36
1,2-Dichloro-benzene	67.31 (1,052)	Aromatic, Pleasant	1.16	1.03	1.08
Undecane	69.51 (1,106)	Alkane, Faint, Fusel	1.50	1.86	6.44
Tridecane	78.97 (1,270)	Alkane, Citrus, Fruity, Fusel	0.10	0.12	0.16
2-Methyltridecane	83.65 (1,362)	-	1.63	1.85	2.89
3-Tridecanol	90.07 (1,499)	-	1.35	1.06	1.28
Lindane	100.25 (1,729)	-	0.30	0.17	0.21
Ronnel	107.99 (1,903)	Mercaptan	0.36	0.26	0.25

<sup>a</sup>RT, retention time(min). <sup>b</sup>RI, retention indices.

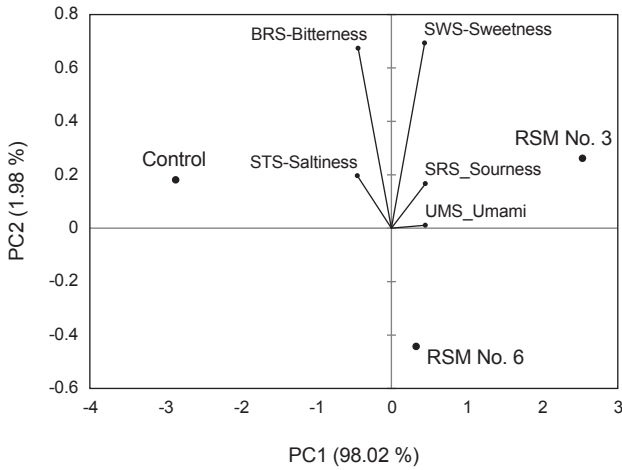


Fig. 5. Principal component analysis of taste intensity of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum*. RSM, response surface methodology.

다. 전자혀 분석을 통해서 맛 성분의 스코어가 가장 높은 샘플에서 가장 기호성이 높은 sensor의 값이 나타남을 확인할 수 있었다. 일반적으로 전자센서의 경우 패널을 통해 진행되는 관능검사보다 더욱 객관적인 실험값을 제공한다(Boo et al., 2020). 또한 패널간에 차이를 보이는 역치값(threshold value)에 대한 보완성을 가지고 있고, 기본 맛 성분에 대한 상대적 강도를 나타내는 특징을 가진다. 전자혀 분석은 짧은 시간에 다량의 식품 및 식품소재의 맛 성분의 상대적인 강도를 제공할 뿐만 아니라 종합적인 맛 성분의 패턴을 제공하여 식품의 품질평가에 널리 활용되고 있다(Peris et al., 2016). 소비자의 오감에 의해 식품 및 식품소재의 선호도를 확인하는 관능검사는 충분히 훈련과 교육이 되었다고 해도 참여하는 panel의 당일의 건강상태 혹은 검사 환경에 따라 달라지는 주관적인 방법이므로, 최근 재현성과 객관적인 결과를 제공하는 전자센서(electronic sensor) 형태를 지닌 전자코 및 전자혀를 이용한 식품 및 식품소재의 비교 분석법이 널리 활용되고 있다. 전자코 및 전자혀 분석은 시료의 품질차이 정도를 확인하는 방법으로, 참여하는 패널의 가진 후각이나 미각의 감도를 따라가진 못하지만 서로 다른 민감도를 가진 센서를 배열하여 상대적인 패턴분석은 가능한 연구시스템이다(Jo et al., 2016). 이러한 패턴 분석을 통해 실제 panel에 의한 답변과 센서에서 확인되는 값을 비교하는 연구는 매우 중요한 연구로 판단된다. 각각의 맛 성분이 상이한 샘플의 discriminant pattern을 확인하기 위해 다변량분석법 중 하나인 principal component analysis를 이용하여 샘플과 개별 맛 성분과의 상관성을 확인하였고 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 미처리군(control), 종합적 기호도가 가장 우수한 No. 3 샘플 그리고 종합적 기호도가 가장 낮은 No. 6 샘플의 경우 뚜렷한 구분이 확인되었다. 이러한 구분은 미처리군의 bitterness와 saltiness

와의 높은 상관성이 작용하였고, 우수한 종합적 기호도를 가진 No. 3 샘플의 경우 sweetness, sourness, 그리고 umami 맛 성분과의 높은 상관성이 확인되었다. 그리고 가장 낮은 종합적 기호도를 가진 No. 6 샘플의 경우 모든 맛 성분 지표에서 다른 샘플보다 상대적으로 낮은 상관성으로 인해 다른 샘플들과 높은 분리도가 확인되었다. 패널을 통한 관능검사결과에서는 감칠맛과 바지락조미에서 느끼는 맛에 대한 평가를 평가항목으로 제시하였다. 이에 대한 설명은 No. 3의 샘플에서 더욱 바지락 조미의 원래의 맛을 보존하고 있다는 설명이 될 것이며, 전자혀 분석에서는 바지락 조미의 맛을 평가하기 보다는 다양한 맛에 영향을 미치는 인자에 대한 감응도를 비교하였다. 이러한 다변량분석 결과를 통해서도 맛성분의 차이를 보이는 샘플들 간의 discriminant pattern이 확인되었다. 다양한 가공조건에 따른 식품소재의 향미 pattern 분석에서 이러한 전자센서를 통한 다변량분석법과 소비자 패널을 통한 관능검사 결과와의 비교 연구는 식품산업에서 널리 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

미처리군, No. 3 및 No. 6 샘플들이 가지는 휘발성 향기성분의 pattern을 전자코 시스템을 이용하여 분석하였고, 그 결과를 Table 7에 나타내었다. 향기성분의 경우 총 35가지 성분이 확인되었고, 가장 높은 함량을 보이는 향기성분은 trimethylamine, 2-methylpropanal, acetonitrile, butane, 그리고 3-methylbutanal 등이 확인되었다. 주요 향기성분의 sensory description을 보면 대부분 amine, pungent, aromatic, alcoholic, 그리고 aldehyde 계열이 특성을 가지는 성분으로 일반적으로 기호성이 낮은 물질로 나타났다. 이에 앞서 설명한 전자혀를 이용한 맛 성분의 비교에서 가장 낮은 종합적 기호도를 가진 No. 6 샘플에서 가장 낮은 taste intensity를 가지는 특징과는 대조적인 결과로 판단된다. 전체적으로 향기성분의 상대적인 함량은 No. 6 샘플에서 가장 많은 것으로 확인되지만, 이러한 향기성분의 강도가 맛에 대한 소비자의 응답이나 전자혀 분석을 통한 맛 성분의 차이에는 영향을 미치지 않았다. 향기성분은 높은 휘발도를 가진 지용성 물질인데 반해 맛성분은 수용액에 용해되는 수용성 물질이라는 차이로 인해 이러한 결과가 나타나는 것으로 확인된다. 향기성분의 강도가 가장 낮은 샘플은 미처리군에서 확인되었으며, 이는 다른 식품소재의 첨가가 없었다는 부분에서 충분히 설명이 되는 상황이다. 우수한 종합적 기호도를 가진 No. 3 샘플의 경우 No. 6 샘플과의 상대적인 비교에서 비릿내와 연관된 trimethylamine, 채소류에서 특색 있는 강한 향취인 황화합물(dimethyl sulfide, dimethyl sulfoxide)과 같이 관능평가에서 일반적으로 부정적으로 평가하는 향기성분의 함량이 낮은 결과를 보였다. 이러한 결과를 토대로 맛과 향기성분은 항상 일치하는 결과가 아닌 점을 고려할 때, 전자혀 분석시스템을 통한 taste intensity 측정과 전자코 분석시스템을 통한 volatile compounds profiles를 함께 분석이 진행되어야 할 것으로 판단된다. 전자코 분석을 통한 향기성분의 discriminant pattern을 확인하기 위해 앞서 사용된 다변량분석법 중 하나인 principal



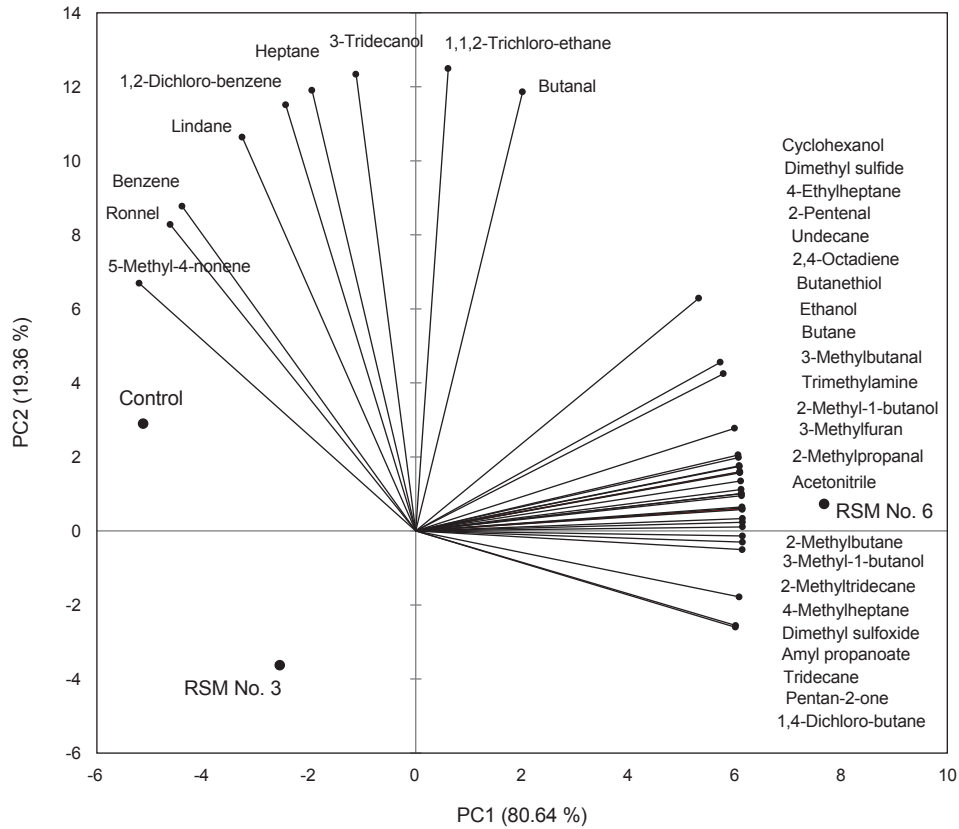


Fig. 6. Principal component analysis of volatile compounds of seasoning from Manila clam *Ruditapes philippinarum*. RSM, response surface methodology.

component analysis를 이용하여 샘플과 개별 휘발성 향기 성분과의 상관성을 확인하였고, Fig. 6에 나타내었다. 다변량분석을 통한 결과에서 앞서 Table 7에서 나타내었듯이 가장 낮은 종합적 기호도를 가진 No. 6 샘플에서 모든 휘발성 향기성분 지표에 대해 다른 샘플보다 상대적으로 높은 상관성으로 인해 다른 샘플들과 높은 분리도가 확인되었다. 또한, 미처리군은 일부 향기성분의 상관성으로 No. 3 및 No. 6 샘플들과의 discriminant pattern이 명확하게 분리되었다. 이러한 결과는 맛 성분의 비교를 통한 전자혀 분석시스템에서 제시되는 discriminant와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 현재 식품 및 식품소재가 가지는 향기성분의 평가는 숙련된 패널을 통한 소비자 평가가 주를 이루고 있다. 하지만 이러한 연구는 패널들의 건강 상태에 따른 오차와 감각기관의 피로도로 인해 다양한 샘플에 대한 평가가 동일한 평가가 이루어지기가 어려운 상황으로 알려져 있다(Majchrzak et al., 2018). 이러한 패널이 가지는 한계점을 보완한 대안이 전자센서를 활용한 휘발성 향기성분 분석법이다. 전자코라고 부르는 향기성분의 분석 시스템이 다양한 연구에 활용되고 있으며, 전자코 분석은 짧은 시간에 다량의 식품 및 식품소재의 향기성분을 분석하여 결과값을 제공하는 비파괴적인 분석방법으로 이용되고 있다(Kim et al., 2016). 본 결과를 통해 전자센

서를 통한 맛과 향기성분의 분석결과와 다변량분석법 중 하나인 principal component analysis를 통한 discriminant pattern을 분석하는 시스템은 향후 다양한 식품소재의 향미분석에 대한 기초적인 tool로서 활용이 가능할 것으로 확신한다.

## 사 사

이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(대일 검사강화조치 대응 수출시장 다변화 수산식품개발).

## References

Bas D and Boyacı IH. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *J Food Eng* 78, 836-845. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024>.  
 Bezerra MA, Santelli RE, Oliveira EP, Villar LS and Escalera 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>.  
 Boo CG, Hong SJ, Cho JJ and Shin EC. 2020. Electronic sen-

- sors and multivariate approaches for taste and odor in Korean soups and stews. *J Food Hyg Saf* 35, 430-437. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2020.35.5.430>.
- Cho S, Gu YS and Kim SB. 2005. Extracting optimization and physical properties of yellowfin tuna *Thunnus albacares* skin gelatin compared to mammalian gelatins. *Food Hydrocoll* 19, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.05.005>.
- Chung MY and Lee SJ. 1997. Analysis of the thermal/mechanical energy in food extrusion process. *Korean J Food Sci Technol* 29, 65-71.
- Guha M, Ali SZ and Bhattacharya S. 1997. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *J Food Eng* 32, 251-267.
- Isa KM, Daud S, Hamidin N, Ismail K, Saad SA and Kasim FH. 2011. Thermogravimetric analysis and the optimisation of bio-oil yield from fixed-bed pyrolysis of rice husk using response surface methodology (RSM). *Ind Crop Prod* 33, 481-487. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.024>.
- Jo YH, Gu SY, Chung NH, Gao YP, Kim HJ, Jeong MH, Jeong YJ and Kwon JH. 2016. Comparative analysis of sensory profiles of commercial cider vinegars from Korea, China, Japan, and US by SPME/GC-MS, e-nose, and e-tongue. *Korean J Food Sci Technol* 48, 430-436. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2016.48.5.430>.
- Kim KW, Seo WH and Baek HH. 2006. Identification of characteristic aroma-active compounds from burnt beef reaction flavor manufactured by extrusion. *Korean J Food Sci Technol* 38, 621-627.
- Kim JS, Jung HY, Park EY and Noh BS. 2016. Flavor analysis of commercial Korean distilled spirits using an electronic nose and electronic tongue. *Korean J Food Sci Technol* 48, 117-121. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2016.48.2.117>.
- Lee C. 2003. Optimization for extrusion-cooking of rice-ISP-file fish mixture by response surface methodology. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33, 1742-1747. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.10.1742>.
- Lee J, Cho JJ, Hong SJ, Kim DS, Boo CG and Shin EC. 2020. *Platycodon grandiflorum* roots: A comprehensive study on odor/aroma and chemical properties during roasting. *J Food Biochem* 44, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13344>.
- Majchrzak T, Wojnowski W, Dymerski T, Gębicki J and Namieśnik J. 2018. Electronic noses in classification and quality control of edible oils: A review. *Food Chem* 246, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.013>.
- Manley C. 1995. Process flavors. In: *Source book of flavors*. Reineccius GR, ed. Springer, Boston, MA, U.S.A., 139-140. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7889-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-7889-5_5).
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2019. Statistics by type of fishery and species. Statistical yearbook of oceans fisheries. MOF, Sejong, Korea, 199-209.
- Moon JH, Kim JT, Kang ST, Hur JH and Oh KS. 2003. Processings and quality characteristics of flavoring substance from the short-neck clam, *Tapes philippinarum*. *Korean J Fish Aquat Sic* 36, 210-219. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.3.210>.
- Normah I and Noorasma M. 2018. Flavor improvement of mud clam *Polymesoda erosa* hydrolysate by using Maillard reaction. *Int Food Res J* 25, 1146-1152.
- Ogasawara M, Katsumata T and Egi M. 2006. Taste properties of Maillard-reaction products prepared from 1000 to 5000 Da peptide. *Food Chem* 99, 600-604. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.040>.
- Osman MG, Sahai D and Jackson DS. 2000. Oil absorption characteristics of a multigrain extrudate during frying: Effect of extrusion temperature and screw speed. *Cereal Chem* 77, 101-104. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.2.101>.
- Peris M and Escuder-Gilabert L. 2016. Electronic noses and tongues to assess food authenticity and adulteration. *Trend Food Sci Technol* 58, 40-54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.014>.
- Plunkett A and Ainsworth P. 2007. The influence of barrel temperature and screw speed on the retention of L-ascorbic acid in an extruded rice based snack product. *J Food Eng* 78, 1127-1133. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.023>.
- Riha WE and Ho CT. 1998. Flavor generation during extrusion cooking. In: *Process-induced chemical changes in food*. Shahidi F, Ho CT and van Chuyen N, eds. Springer, Boston, MA, U.S.A., 297-298.
- Ilo S, Schoenlechner R and Berghofe E. 2000. Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas y Aceites* 51, 97-110. <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i1-2.410>.
- Shishir MRI, Taip FS, Aziz NA, Talib RA and Sarker MSH. 2016. Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Food Sci Biotechnol* 25, 461-468. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0064-0>.
- Xu X, You M, Song H, Gong L and Pan W. 2018. Investigation of umami and kokumi taste-active components in bovine marrow extract produced during enzymatic hydrolysis and Maillard reaction. *J Food Sci Technol* 53, 2465-2481. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13893>.
- Yaylayan VA, Fichtali J and van de Voort FR. 1992. Production of Maillard reaction flavour precursors by extrusion processing. *Food Res Int* 25, 175-180. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(92\)90134-Q](https://doi.org/10.1016/0963-9969(92)90134-Q).
- Yoon HS, An YK, Choi SD and Kim J. 2007. Amino acid composition and relationship of the five venerid clams (Mollusca, Bivalvia) in Korea. *J Aquaculture* 20, 75-80.
- Yoon M, Kim JS, Um MY, Yang H, Kim J, Kim YT, Lee C, Kim SB, Kwon S and Cho S. 2017. Extraction optimization for phlorotannin recovery from the edible brown seaweed *Ecklonia cava*. *J Aquat Food Prod Technol* 26, 801-810. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1313348>.

Zhang J, Sun-Waterhouse D, Feng Y, Su G, Zhao M and Lin L. 2019. The Umami intensity enhancement of peanut protein isolate hydrolysate and its derived factions and peptides by Maillard reaction and the analysis of peptide (EP) Maillard products. *Food Res Int* 120, 895-903. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.055>.