pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 40, No. 4, pp. 332~340 (2025)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2025.40.4.332

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

Research note

수비드 고등어 유통온도에 따른 케이퍼의 *Morganella morganii*에 대한 항균 효과

백슬빈 · 윤기선*
경희대학교 식품영양학과

Antimicrobial Effects of Capers on *Morganella morganii* in Sous-Vide Mackerel as a Function of Temperature

Seul-Bin Baik, Ki Sun Yoon*
Department of Food and Nutrition, Kyunghee University, Seoul, Korea

(Received June 1, 2025/Revised June 23, 2025/Accepted June 28, 2025)

ABSTRACT - Capers (*Capparis spinosa*) are commonly used in fish dishes to mask undesirable odors, enhance flavor, and provide antimicrobial properties. This study aimed to evaluate the antimicrobial effects of capers and salt against *Morganella morganii* (KCCM 11497), a major histidine-decarboxylating bacterium, in broth and sous vide mackerel under various storage temperatures. Additionally, a predictive growth model for *M. morganii* in broth was developed using a modified Gompertz equation as a function of temperature, and its performance was validated in sous vide mackerel. Whole or ground capers (8-11%) were added to broth and mackerel samples. Furthermore, 2% salt, 10% ground capers, or a combination of both were applied to mackerels, which were then vacuum-sealed, sous vide treated at 70°C for 35 min, inoculated with *M. morganii*, and stored at 9 or 25°C. Secondary growth models in broth were well-suited to predict the growth of *M. morganii* in sous vide mackerel, except for the specific growth rate at 9°C. Ground capers demonstrated stronger antimicrobial effects than whole capers across all concentrations and temperatures. In broth, *M. morganii* did not grow at 8°C; the minimum inhibitory concentration of ground capers was 7% at 9°C, 8% at 15°C, and 11% at 25°C. In sous vide mackerel, 10% ground capers significantly (P<0.05) delayed microbial growth at 9°C but not at 25°C. The combination of 2% salt and 10% ground capers completely inhibited *M. morganii* growth for 360 hours at 9°C and significantly delayed growth at 25°C. Although capers alone did not fully inhibit *M. morganii* growth in sous vide mackerel at 25°C, their demonstrated antimicrobial activity suggests that capers may serve as a natural preservative to help prolong the shelf life of seafood products while adding desirable flavor characteristics.

Key words: *Morganella morganii,* Sous-vide, Mackerel, Capers, Antimicrobial activity

한국군의 전투식량은 전투상황에서 충분한 영양 공급을 위해 한 개의 식단에 약 1,000 kcal를 제공하여야 하고 무게와 부피를 엄격히 제한하고 있으며, 소비기한은 통상 3년으로 설정하고 있다[1]. 전투식량은 장병의 생존을 보장하기 위한 필수 요소로[2], 전투식량의 영양학적 우수성, 간편성, 저장안전성을 높이고 고품질 제품을 개발하려는 연구가 지속적으로 이루어졌다[3]. 그러나 현재 국내 전투식량은 제한된 메뉴와 제조법으로 인해 스마트세대 장병들의 다양한 기호를 충족하지 못하고, 다양한 전장 환경에 적합하지 않다는 한계가 있다[4]. 미군의 전투식량으로는 280개의 메뉴를 통해 개인 및 집단급식용, 특수 목적용 전투식량을 제공하며, 호주군 또한 18개의 메뉴로 다양한 환경에 적합한 전투식량을 제공하고 있다[5]. 이에 반해, 1990년 이후 품질 개선이 거의 이루어지지 않은 한국군 전투식량은 품질 향상 및 메뉴 다양성 확보가 시급하다. 특히 전투식량 1형 메뉴인 양념 꽁치와 같은 어육류군에 대해 만족도가 가장 낮아 새로운 레시피와 선호도가 높은 재료의 활용이 요구되었다[1].

*Correspondence to: Ki-Sun Yoon, Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea
Tel: +82-2-961-0264, Fax: +82-2-951-0261
E-mail: ksyoon@khu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal 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.

수비드(sous-vide) 조리법은 열에 안정한 식품 등급의 진공 밀봉 봉지 내에서 원재료 또는 반가공 식품을 정확히 제어된 온도와 시간 조건하에 조리하는 방법이다[6]. 이 방법은 물이나 증기에서 식품으로의 열 전달 효율을 높이고, 저장 중 재오염을 방지하여 식품의 소비기한을 연장하고, 산화에 의한 맛의 변질과 조리 시 발생하는 풍미 및 수분 손실을 최소화한다[7]. 또한, 진공 상태는 호기성 미생물의 증식을 억제하여 식품의 안전성과 영양가를 높이는 조리법으로[8-10], 최근에는 고급 외식산업 및 가정에서도 널리 활용되고 있다. 이와 같은 수비드 조리법의 특징은 영양과 맛, 안전성이 동시에 요구되는 군용식품 제조에 부합하며, 미세한 온도 조절을 통한 균일한 가열로 일관성 있는 조리식품에 적합하다.

2024년 한국해양수산개발원이 실시한 국민인식도 조사에 따르면 한국인이 가장 좋아하는 수산물은 고등어(14.0%)로 나타났다[11]. 고등어는 근육 내에 높은 수준의 free histidine을 함유하고 있어 부패가 진행되면서 히스타민 농도가 급격히 증가한다[12,13]. 히스타민 생성의 주요 미생물인 *Morganella morganii*는 그람음성 통성혐기성 간균이고 운동성이 있으며 비 젖당 발효균으로 자연계에 널리 존재한다[14]. 고등어가 부패함에 따른 미생물들의 증식은 스콤브로이드 식중독(scombroid food poisoning, SFP)의 주요 원인이 된다[15]. SFP의 주요 증상으로 홍조, 발진, 두드러기, 두통, 구토 및 설사 등이 있다[16,17]. 특히 상온에서 보관될 수밖에 없는 전투식량용 고등어를 안전하게 섭취하기 위해서는 *M. morganii*와 같은 미생물의 증식을 방지하는 것이 매우 중요하다.

고등어에서 미생물의 증식을 방지하고 고등어의 향미를 높일 수 있는 방법으로 천연 향신료를 사용할 수 있다. 케이퍼(*Capparis spinosa*)는 주로 지중해 지역에서 식품의 풍미를 더하는 재료로 사용되며, 생리활성 화합물을 다량 함유한 식품이다[18]. 케이퍼의 주요 화합물인 루틴, 퀴세틴, 캠페롤, 카로티노이드 등의 생리활성 물질들은 항산화, 항염증, 항균 효과가 있다[19,20]. 특히 케이퍼 추출물에 포함된 루테올린과 다른 페놀 화합물이 세균 세포막을 손상시켜 미생물의 성장을 억제하는 항균 효과를 나타낸다[21,22]. Khadem 등[23]은 무지개 송어의 날 근육조직에 0.2% 케이퍼 뿌리 추출물을 처리하여 4℃에서 보관하였을 때 저온균의 성장이 억제된 것을 확인하였다. 그러나 케이퍼를 조리과정에서 향신료로서 사용하며 온도에 따른 항균효과를 확인한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 선호도가 높은 고등어에 케이퍼 첨가와 수비드 조리법을 활용하여 전투식량으로서 개발 가능성을 확인하고자 하였다.

본 연구에서는 첫째, broth에서 온도에 따른 *M. morganii*의 생장 예측 모델 개발을 통해 *M. morganii*의 행동특성을 분석하였다. 둘째, 온도에 따라 *M. morganii*의 행동에 미치는 케이퍼 형태 및 농도, 소금과의 시너지 효과를 수비드 조리법을 사용한 고등어에서 분석하였다.

Materials and Methods

시료 및 전처리

고등어는 수산시장(Seoul, Korea)에서 구입한 국내산 생물 고등어를 사용하였다. 내장, 가시 등을 제거하고 흐르는 수돗물로 세척 후 고등어의 껍질과 근육조직의 가식부위만을 150 g씩 소분하였다. 보존수에 담긴 케이퍼는 온라인몰(Coupang, Seoul, Korea)에서 구입하여 보존수를 제거하고 흐르는 3차 증류수로 1분간 세척 후 비커에 넓게 펼쳐 무균작업대(VS-1400LVN, Vision Bionex, Bucheon, Korea)에서 24시간 동안 상온 건조하였다. 건조한 케이퍼는 무균작업대에서 막자사발(Samhwa Ceramic, Seoul, Korea)로 곱게 갈아 가루 형태로 준비하였다. 소금은 국내산 굵은 입자의 천일염(Sajo Haepyo Co. Ltd., Seoul, Korea)을 사용하였다.

사용 균주

M. morganii (KCCM 11497)는 한국 미생물 보존센터(KCCM, Seoul, Korea)에서 구입하여 20% glycerol이 포함된 멸균 tryptic soy broth (TSB, MB cell, Seoul, Korea)에 배양 후 -80°C에 냉동 보관(TSX, Thermo Scientific™, Waltham, MA, U.S.)하였다. 실험 시 보관한 균주를 상온 해동 후 10 μL를 멸균된 TSB 10 mL에 접종하여 rotary shaker (VS-8480, Vision, Daejeon, Korea)에 140 rpm으로 36°C, 24시간 전배양 하였다. 전배양한 균은 멸균된 0.1% peptone water (Difco™ peptone water, Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA)에 10진 희석하여 사용하였다.

균 접종 및 균수 측정

Broth에서의 균 성장 특성을 확인하기 위해 9 mL의 0.1% peptone water에 전배양액을 1 mL씩 분주하여 10진 희석을 하여 초기 농도가 2.5-2.8 Log CFU/mL가 되도록 하였다. 균이 접종된 TSB는 4, 8, 9, 10, 15, 25, 35°C에 보관하였으며 온도에 따라 일정시간 후 TSB 1 mL를 취해 멸균한 0.1% peptone water에 단계별로 희석하여 희석배수당 50 μL씩 취해 nutrient agar (NA, MB cell)배지에 무균적으로 분주하였다. 또한, 조리된 고등어 5 g에 희석액 50 μL를 균일하게 접종하여 초기 농도가 3.6-4.1 Log CFU/g이 되도록 한 후 9, 25°C에 저장하여 균의 성장특성을 확인하였다. 온도에 따라 일정 시간 후 고등어 5 g에 멸균된 45 mL peptone water 로 희석한 후 stomacher (Interscience, Paris, France)로 2분간 균질화 하였다. 균질화한 시험원액 1 mL를 peptone water에 단계별로 희석하여 50 μL씩 NA 배지에 무균적으로 분주하였다. 각각의 배지를 36°C에서 24시간 배양한 후 균체수를 Log CFU/mL 또는 g으로 집계하였다.

행동 예측 모델 개발

본 실험에서는 각 온도에 저장된 broth에서 *M. morganii*의 1차 생장 예측모델 개발을 위해서 GraphPad Prism V4.0 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) 프로그램의 modified Gompertz model 공식을 이용해[24] 유도기(Lag time, LT), 최대 증식 속도(maximum specific growth rate, SGR), 최대 개체군 밀도(maximum population density, MPD)를 산출하였다.

Modified Gomperz model

$Y=N_0+C\times\exp[-\exp\{(2.718\times SGR/C)\times(\text{Lag time}-X)+1\}]$

N_0: initial number of cells (Log CFU/mL)
C: difference between initial and final cell numbers
Lag time: delay before growth, same units as X
SGR: specific growth rate (Log CFU/h)
X: sampling time
Y: cell number (Log CFU/mL)

각각의 온도에서 개발된 1차 모델에서의 유도기(LT)와 최대 증식 속도(SGR), 최대 개체군 밀도(MPD)는 Davey model[25], Square-root model[26], Third order polynomial (cubic) model[27] 공식을 이용하여 온도 변화에 따른 2차 예측 모델(Secondary growth model)을 각각 개발하였다.

Davey model

$Y=a+(b/T)+(c/T^2)$

Y: lag time (h)
a, b, c: constant
T: temperature

Square-root model

$Y=\{b(T-Tmin)\}^2$

Y: specific growth rate (Log CFU/h)
b: constant
T: temperature

Third order polynomial (cubic) model

$Y=a+(b\times T)+(c\times T^2)+(d\times T^3)$

Y: maximum population density (Log CFU/g)
a, b, c, d: constant
T: temperature

예측 모델의 적합성 평가

Broth에서 실험값을 통해 얻어진 예측모델이 고등어에서도 적용 가능한지에 대한 모델 적합성 검증실험(extrapolation)을 진행하였다. 실험값을 통해 얻어진 모델의 생장 예측 모델로서의 적합성을 평가하기 위해 Bias factors (B_f), Accuracy factors (A_f) 값을 유도기(LT), 최대 증식 속도(SGR), 최대 개체군 밀도(MPD) 각각에 대해 모델 개발 실험에 사용하지 않은 독립적인 변수에서 얻어진 실험값으로 다음의 식을 이용하여 구하였다[28,29].

B_f for LT $= 10^{\sum\log(\text{predicted value/observed value})/n}$
A_f for LT $= 10^{\sum|\log(\text{predicted value/observed value})|/n}$
B_f for SGR $= 10^{\sum\log(\text{observed value/predicted value})/n}$
A_f for SGR $= 10^{\sum|\log(\text{observed value/predicted value})|/n}$
B_f for MPD $= 10^{\sum\log(\text{observed value/predicted value})/n}$
A_f for MPD $= 10^{\sum|\log(\text{observed value/predicted value})|/n}$

위의 식에서 n은 실험값(독립된 변수에서 각각 얻어진 값) 또는 예측값(개발된 성장 모델에서 얻어진 값)의 총수를 나타낸다. B_f는 실험값과 모델에 의해 예측된 값 사이의 상대적 편차를 측정한 척도로 실험값과 예측값이 동일할 경우 1을 기준으로 일반적으로 0.70-1.15의 값 범위일 때 개발된 모델은 적합한 것으로 평가한다. 또한 B_f는 성장 모델이 사용하기에 안전한 모델(fail-safe, B_f<1)인가, 위험한 모델(fail-dangerous, B_f>1)인가를 평가하는 척도가 된다. 반면 A_f는 예측된 값이 얼마만큼 실험값과 가까운가를 측정하는 척도로 일치했을 때 1을 기준으로 A_f값이 1에서 멀어질수록 개발된 모델의 부정확성을 나타낸다[24].

온도에 따라 broth와 고등어에서 *M. morganii*의 성장에 미치는 케이퍼의 항균효과

케이퍼의 항균효과는 가루로 분쇄된 것과 분쇄되지 않은 케이퍼를 각각 TSB에 8, 9, 10, 11% 농도로 첨가하고 *M. morganii*를 접종 후 9, 15, 25°C에서 각각 보관하였다. 이후, 케이퍼의 형태에 따른 항균 효과의 차이를 분석하였다. 고등어에서 케이퍼의 항균효과를 분석하기 위해 고등어는 우선 수비드 조리법으로 준비하였다(Fig. 1). 실험은 고등어에 아무런 처리를 하지 않은 군(Control), 소금 2%만을 첨가한 군(S2), 가루 케이퍼 10%만을 첨가한 군(C10), 소금 2%와 가루 케이퍼 10%를 병용 처리한 군(S2C10)으로 나누어 비교분석 하였다. 수비드 조리를 위해서 케이퍼와 소금을 각각 고등어 살 표면에 고르게 펴 바른 후 진공백에 넣어 진공(FR-B100WB, CSE Co., Ltd, Siheung, Korea) 포장 후 70°C로 예열 된 항온수조(EYELA SB-1300, Tokyo Rikakikai Co., Ltd, Tokyo, Japan)에서 35분간 가열조리 하였다. 수비드 조리된 고등어는 무균작업대 안에서 멸균된 가위와 핀셋을 이용해 무균상태의 petri dish에 5 g씩 소분하여 고등어 표면에 *M. morganii* 희석액 50 μL를 균일하게 접종하여 초기 농도가 3.6-4.1 Log CFU/g이 되도록 한 후 다시 진공 포장하여 *M. morganii* 최소

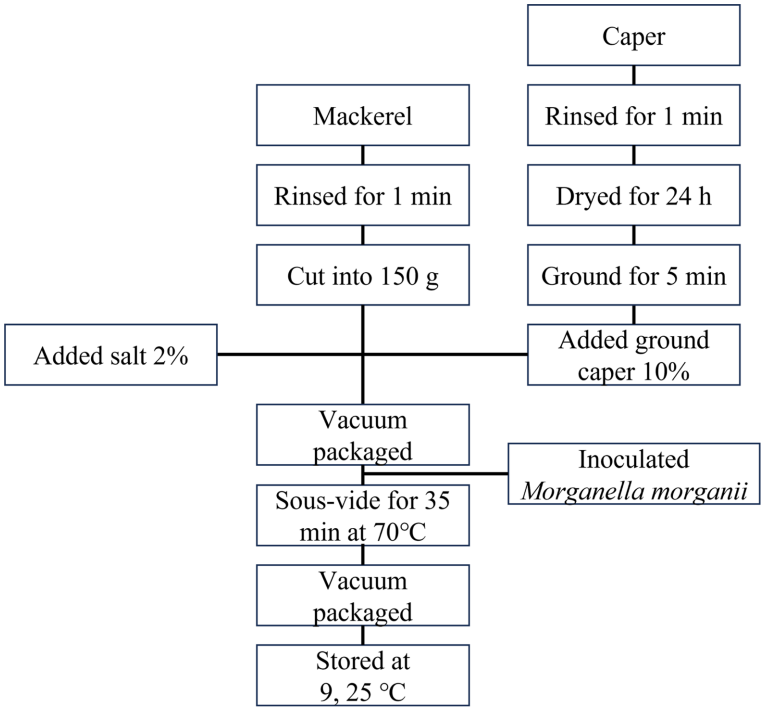

Fig. 1. Flow diagram of sous-vide mackerel study process.

증식 온도인 9°C와 유통온도인 25°C에서 각각 보관하며 *M. morganii* 행동특성을 분석하였다.

pH 측정

케이퍼의 pH는 보존수에 들어있는 상태의 케이퍼 10 g과 보존수 제거 후 3차 증류수로 헹구고 건조 전후의 케이퍼 10 g과 3차 증류수 90 mL를 stomacher로 2분간 균질화한 후 측정하였다(Orion™ Star A211 pH Benchtop meter, Thermo Scientific™, Waltham, MA, USA).

통계분석

모든 실험은 2회 이상 반복 수행되었으며 Statistical Analysis System SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 통계 분석하였다. Independent t-test를 통해 broth와 고등어 그룹 비교를 하였으며, 각 그룹들 평균값 간의 유의적인 차이는 analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 분석하였고, Duncan's multiple range test를 이용하여 사후 검정 후 유의성을 검정하였다(P<0.05).

Results and Discussion

Broth에서 온도에 따른 *M. morganii*의 생장 모델 개발

본 연구에서 *M. morganii*는 8°C 이하에서는 증식하지 않았으며 이는 *M. morganii*가 고등어와 유사한 환경을 만들기 위해 2%의 histidine을 TSB에 넣은 tryptic soy broth histidine (TSBH)에서 10°C 이상의 온도에서 성장한다는 Torres 등[30]의 결과와 유사하였다. 또한, *M. morganii*를 tuna fish infusion broth (TFIB)에서 5일간 배양하였을 때, 4°C에서는 성장이 관찰되지 않고 15, 25, 37°C에서 *M. morganii*가 성장한 Kim 등[31]의 연구와도 유사하였다. 따라서 본 연구에서는 broth에서 *M. morganii*의 온도변화에 따른 1차 생장 모델은 9, 15, 25, 35°C에서 개발하였다. 9°C에서 *M. morganii*는 82.73시간의 유도기(LT) 이후 증가하기 시작하여 336시간 동안 최대 약 8.59 Log CFU/mL까지 성장하였으며 15°C에서는 19.36시간, 25°C에서는 4.98시간, 35°C에서는 2.89시간의 LT 이후 균 수가 증가하기 시작하여 각각 144, 36, 24시간 동안 최대 약 8.72, 9.07, 9.14 Log CFU/mL까지 성장하였다. 또한 최대 증식 속도(SGR)는 9°C에서 0.074 Log CFU/h였으나 15°C에서는 증식 속도가 거의 2배(0.136 Log CFU/h) 이상 증가하였다. 25, 35°C에서 SGR은 각각 0.445, 0.759 Log CFU/h로 온도가 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다(Table 1). 이는 *M. morganii*는 10°C 이하에서는 성장이 급격하게 감소하지만, 15-25°C에서 성장 속도가 빠르게 증가한다는 Klausen 등[32]의 연구와 유사하였다.

Broth에서 *M. morganii*의 LT, SGR, MPD에 대한 온도 변화에 따른 2차 생장 모델은 다음 Fig. 2와 같다. Emborg 등[33]에 따르면 참치의 성분과 농도를 맞추기 위해 Luria Bertani (LB) broth에 아미노산, 젖산, buffer와 NaCl을 첨가한 LB-AA broth에서 배양한 *M. morganii*의 SGR은 온도가 높아짐에 따라 증가하였으며, 37°C에서 최대가 되어

Table 1. Effect of temperature on lag time, specific growth rate and maximum population density of *Morganella morganii* in mackerel and tryptic soy broth

Temp. (°C)	Parameter	Tryptic soy broth	Mackerel
9	LT	82.730	101.4[1)]*
	SGR	0.074	0.038*
	MPD	8.589	8.151**
15	LT	19.360	-
	SGR	0.136	-
	MPD	8.716	-
25	LT	4.978	6.246**
	SGR	0.445	0.493**
	MPD	9.073	9.381**
35	LT	2.886	-
	SGR	0.759	-
	MPD	9.135	-

LT: Lag time (h), SGR: Specific growth rate (Log CFU/h), MPD: Maximum population density (Log CFU/mL, g).
[1)]Significant differences between tryptic soy broth and mackerel were determined by t-test (*P<0.05, **P<0.01).

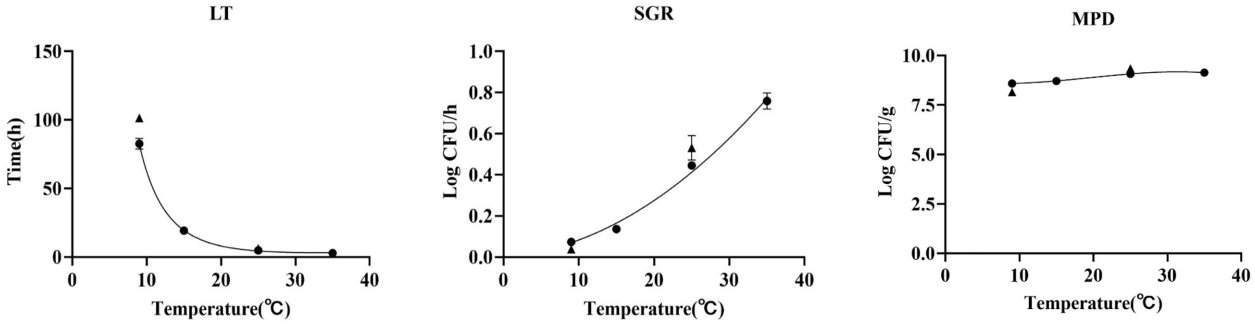

Fig. 2. Secondary growth models of lag time (LT), specific growth rate (SGR), and maximum population density (MPD) of *Morganella morganii* in broth (LT=13.70+(-709.9/T)+(11977/T^2), SGR=0.02358{T-(-2.235)}^{2}, and MPD=8.831+(-0.06801×T)+(0.0054×T^2)+(-9.167 ×10^{-5} ×T^3). ▲: Mackerel.

본 연구와 유사한 경향을 보였다. *M. morganii*의 SGR 2차 모델에 대한 선행 연구는 일부 보고된 바 있으나 보관온도에 따른 LT및 MPD와 관련한 2차 모델 연구는 현재까지 보고된 사례가 없다. 따라서 본 연구는 보관온도에 따라 *M. morganii*에 대한 LT 및 MPD 2차 모델을 제시함으로써, 해당 균주의 성장특성을 보다 종합적으로 이해하는데 기여할 것으로 사료된다.

다음 Table 1은 9, 25°C에서 보관된 고등어에서 *M. morganii*의 LT, SGR, MPD 값을 나타낸다. 9°C에 보관된 고등어에서 *M. morganii*의 성장은 broth와 차이를 보였고, TSB보다 고등어에서 LT가 약 20시간 길고 SGR, MPD가 모두 낮은 것으로 확인되었다. 그러나 25°C에서는 TSB보다 고등어에서 *M. morganii*의 SGR과 MPD 값이 더 큰 것으로 나타났다. FDA에 따르면 온도는 생선에서 히스타민을 생성하는데 가장 중요한 변수이며 히스타민의 양은 *M. morganii*의 성장과 양의 상관 관계가 있다[34)]. 고등어에는 *M. morganii*의 히스타민 생성에 이용할 수 있는 231-14,600 mg/kg의 free histidine이 존재하며, 25°C에서 저장될 때 가장 많은 히스타민이 고등어에 축적되는 것으로 알려져 있다[35,36)]. 본 연구에서도 *M. morganii*가 히스타민을 생성하기에 가장 적절한 온도인 25°C에 보관된 고등어 내에서 TSB보다도 더 활발히 증식한 것을 확인할 수 있었다.

Broth에서 *M. morganii* 모델의 고등어에서 적합성 검증

Broth에서 *M. morganii*를 이용하여 개발된 생장 예측 모델을 고등어에서 *M. morganii* 행동을 예측할 수 있는지에 대해 모델의 적합성 검증을 평가하였다. Broth에서 개발된 예측 모델을 통한 예측값과 고등어에서 *M. morganii* 성장특성 실험에서 얻어진 실험값을 이용하여 B_f와 A_f값을 산출하여 모델의 적합성을 평가하였다(Table 2). B_f값의 경우 9°C에서 저장한 고등어에서 SGR 2차 모델을 제외하고 모두 모델 적합성 허용 범위(0.75-1.15)에 속하는 것으로 나

Table 2. Model performance of broth model to predict the growth of *Morganella morganii* in sous-vide mackerel

Dataset	Parameter[3)]	Model performance index	
		B_f[1)]	A_f[2)]
Mackerel at 9°C	LT	0.815	1.226
	SGR	0.508	1.969
	MPD	0.949	1.054
Mackerel at 25°C	LT	0.797	1.255
	SGR	1.108	1.108
	MPD	1.034	1.034

[1)] B_f: Bias factor.
[2)] A_f: Accuracy factor.
[3)] LT: Lag time (h), SGR: Specific growth rate (Log CFU/h), MPD: Maximum population density (Log CFU/g).

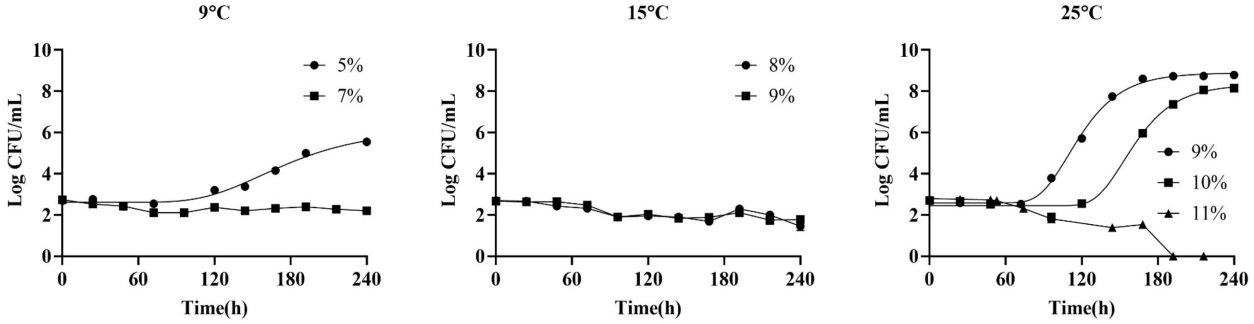

Fig. 3. Effect of the ground caper on *Morganella morganii* in broth as a function of temperature.

타났으며, 모든 B_f값이 1보다 작아 broth 생장 모델을 고등어에 적용하기에도 안전한 모델(fail-safe)임을 확인하였다. 9°C 냉장온도에서 broth SGR 모델의 A_f값은 1.969로 실험값과 예측값이 큰 차이를 보여 broth SGR 2차 모델은 9°C에서 저장된 고등어의 성장을 예측하기에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 반면 25°C에서는 broth 모델을 고등어에 적용하기에 적합한 허용 범위에 모두 있었다. 그러나 SGR, MPD의 B_f값은 1보다 모두 컸는데 이는 고등어에서 *M. morganii*의 SGR은 broth 보다 빠르고 MPD도 더 높은 것으로 확인되어 broth보다 고등어에서 *M. morganii* 성장이 잘 이루어져 broth 모델은 고등어에 적용하기에는 위험한 모델(fail-dangerous)임을 확인하였다.

온도에 따라 *M. morganii* 성장에 미치는 케이퍼의 항균효과

일반적으로 케이퍼는 염장 또는 산성 용액과 같은 보존수에 담긴 형태로 판매되고 있다. 이러한 보존 처리 과정은 케이퍼 자체의 특성과 더불어 보존제의 영향으로 인해 항균 효과를 나타낼 수 있다. 이에 본 연구에서는 케이퍼의 고유한 항균 활성을 보다 명확히 평가하고자, 보존수에서 제거 후 24시간 동안 상온 건조한 케이퍼를 사용하였다. 케이퍼 자체의 pH는 보존수 내에 있을 때, 건조 전, 후로 측정하였으며, 각각 평균 3.36, 3.59, 3.70으로 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다(P<0.001). 또한 본 실험에서 사용되었던 건조 후 케이퍼의 pH는 일반적인 케이퍼의 pH 4.69[37)]보다 낮은 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 우선적으로 broth에 첨가된 케이퍼의 형태(통 케이퍼 vs 가루 케이퍼)가 *M. morganii*의 성장 및 사멸에 대해서 미치는 영향을 확인하였다. 보관온도에 상관없이 가루 케이퍼는 분쇄하지 않은 통 케이퍼에 비해 항균효과가 더 좋은 것을 확인하였다. 이는 분쇄로 인한 케이퍼의 표면적 증가와 내부의 항균성분 추출로 인한 결과로 사료되며 이후 실험에서는 항균효과를 극대화하기 위해 분쇄한 가루 케이퍼를 사용하였다. 다음 Fig. 3은 9, 15, 25°C에서 케이퍼 농도에 따른 broth에서 *M. morganii*의 행동 특성을 나타낸다. 9°C에 보관한 broth에서 *M. morganii*는 7%의 가루 케이퍼 첨가로 성장이 저지되었다. 반면 온도가 올라갈수록 *M. morganii*의 성장 억제를 위해 더 많은 양의 가루 케이퍼가 필요한 것으로 확인되었다. 15°C와 25°C에서는 각각 8%와 11%의 첨가가 *M. morganii*의 성장을 억제하였다. 본 연구를 통해 온도가 낮을수록 더 적은 양의 가루 케이퍼로 항균효과가 있음을 확인하였다. 그러나 고농도의 케이퍼는 pH를 낮추어 수비드 처리한 고등어의 관능적 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 고려해야함을 확인하였다.

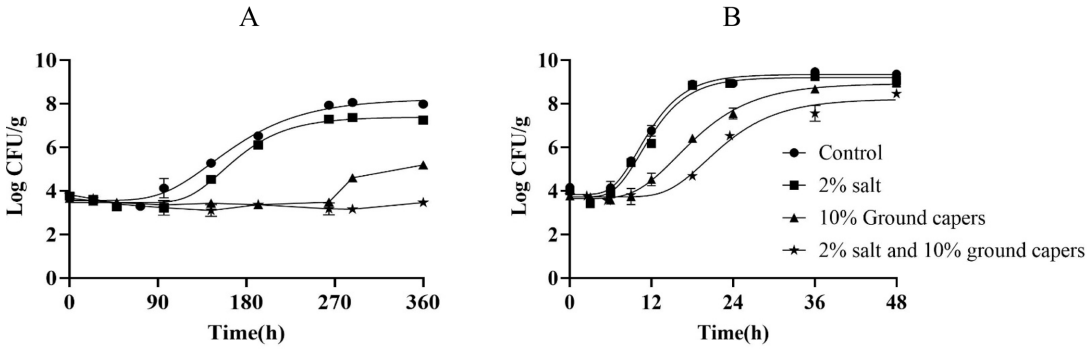

Fig. 4. Effects of salt and ground capers on *Morganella morganii* in sous-vide, vacuum packed mackerel at 9°C (A) and 25°C (B).

케이퍼와 소금을 첨가한 수비드 고등어에서의 *M. morganii* 행동 특성

Jiang 등[38]에 의한 연구에 따르면 3% 소금 농도가 지방 산화와 미생물 증식을 억제하는데 일정한 효과가 있었으나, 지나치게 높은 농도는 관능적 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 고등어에서 *M. morganii*의 성장을 억제하고 관능적 품질을 향상시키기 위해 가루 케이퍼의 농도를 10%로 제한하고, 소금을 추가하여 가루 케이퍼 향신료와 시너지 효과를 *M. morganii*의 최소 성장 온도인 9°C와 상온인 25°C에서 평가하였다(Fig. 4). 수비드 처리된 고등어에 접종된 *M. morganii*를 9°C에서 보관한 결과, Control과 2% 소금만 처리한 고등어(S2)의 LT는 각각 92.8, 119.7시간이었고, SGR은 각각 0.033, 0.040 Log CFU/h, MPD는 각각 8.225, 7.391 Log CFU/g이었다. 9°C에서 Control과 S2의 LT, SGR, MPD는 모두 유의적 (P<0.05) 차이를 보였으며 이는 소금 2%만으로도 *M. morganii*의 유도기와 최대 개체군 밀도에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 반면 10% 케이퍼가 첨가된 고등어(C10)에서 *M. morganii*는 360시간 동안 5.196 Log CFU/g까지만 성장하였으나, 2% 소금과 10% 케이퍼가 추가된 고등어(S2C10)에서는 성장하지 않은 것을 확인하였다(Fig. 4A). 이와 같은 결과는 고등어를 냉장 저장할 경우 2% 소금과 10% 케이퍼 첨가로 성장을 완전히 저해할 수 있을 것으로 사료된다.

25°C에서는 Control, S2, C10, S2C10의 LT는 각각 6.3, 6.6, 9.6, 14.3시간이었고, SGR은 각각 0.531, 0.524, 0.315, 0.287 Log CFU/h, MPD는 9.348, 9.208, 8.925, 8.219 Log CFU/g으로 나타났다(Fig. 4B). 25°C에서 Control과 S2의 LT, SGR, MPD는 유의적인 차이가 없었으나 C10과 S2C10은 LT, SGR, MPD값에서 모두 유의적 차이를 보였다 (P<0.05). 이러한 결과는 냉장 온도인 9°C에서는 2% 소금과 10% 케이퍼의 병용 처리(S2C10)가 *M. morganii*의 성장을 효과적으로 억제하여 소비기한의 연장을 기대할 수 있다. 이는 소금이 세균에 삼투압 스트레스를 유발하여 세포막의 구조적 안정성을 손상시키고, 이로 인해 케이퍼의 항균물질이 세포 내부로 보다 쉽게 침투가 가능하기 때문이다[39]. 25°C에서는 S2C10은 *M. morganii*의 LT가 연장되고, SGR과 MPD 또한 가장 낮게 나타나 소금과 케이퍼의 병용 처리가 각각의 단독 처리보다 우수한 항균 효과가 있음을 확인하였으나 *M. morganii*의 성장을 완전히 억제하지 못하였다. 이는 고등어에서 *M. morganii*의 성장이 25°C에서 더 촉진된 연구 결과와도 관련성이 있을 것으로 사료된다. 또한 보관온도와 상관없이 2%의 소금과 10% 케이퍼의 항균효과만을 비교하였을 때, 10% 케이퍼의 첨가가 *M. morganii* 성장을 억제하는데 더 효과적인 것으로 나타나 케이퍼의 항균효과는 좀더 다양한 식품에서 평가해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

결론적으로 고등어를 활용하여 전투식량으로 개발할 경우 관능적 요소에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 소금과 케이퍼의 농도를 조절하고 항균 효과가 있는 식용 첨가물을 추가적으로 활용한다면, 상온과 고온에서도 맛과 안전성이 보장된 전투식량으로 고등어 메뉴 개발이 가능할 것으로 사료된다. 본 연구를 통해 고등어 조리 후 과정에서도 교차오염 및 또는 잔존할 수 있는 *M. morganii*의 성장을 억제하기 위한 소금과 가루 케이퍼의 병용 처리가 전투식량으로 수비드 고등어 조리법 개발에 활용될 수 있음을 확인하였다.

국문요약

케이퍼는 생선 요리에서 악취를 제거하고 맛을 향상시키거나 균의 성장을 억제하기 위해서 사용된다. 본 연구에서는 대표적인 히스티딘 탈탄산균인 *Morganella morganii*에 대한 케이퍼의 항균 효과를 broth와 수비드 고등어에 적용하여 분석하였다. broth에서 *M. morganii*의 1차 및 2차 생장 예측 모델을 개발하고 수비드 고등어에서 broth 생장 예측모델의 적용가능성을 평가하였다. 케이퍼의 항균 효과를 향상하기 위해 broth에서 건조 케이퍼를 통째

로 사용한 것과 분쇄하여 가루로 사용한 것의 항균 효과를 비교하였다. 또한 고등어에 2% 소금과 10% 가루 케이퍼의 단독 및 병행 처리 후 수비드 조리법으로 조리 후 *M. morganii*를 인위적으로 오염시켜 9°C와 25°C에서 저장하며 2% 소금과 10% 가루 케이퍼의 단독 및 병행 처리에 대한 항균 효과를 비교하였다. 그 결과, broth에서 구축된 9°C에서의 최대 증식 속도를 제외한 2차 생장 모델은 수비드 고등어에서 *M. morganii*의 성장을 예측하기에 적합한 것으로 나타났다. 또한, 가루 케이퍼가 통 케이퍼보다 모든 농도와 온도에서 *M. morganii*에 대한 더 효과적인 항균 활성을 보였다. broth에서 8°C 이하의 온도에서는 *M. morganii*의 성장이 관찰되지 않았으며, 가루 케이퍼의 최소 저해 농도는 9°C에서 7%, 15°C에서 8%, 25°C에서는 11%로 나타났다. 수비드 고등어에 2% 소금과 10% 가루 케이퍼를 단독으로 사용했을 때보다 병용 처리했을 때 항균효과가 우수하였으며 특히 9°C에서는 *M. morganii*의 성장을 완전히 저지하였다. 그러나 25°C에서는 소금 또는 가루 페이퍼를 단독으로 처리한 것보다 병용 처리했을 때 *M. morganii*의 성장을 효과적으로 저해하였으나 9°C에서처럼 완전히 저지하지는 못하였다. 본 연구를 통해 전투식량으로 고등어의 수비드 조리에서 케이퍼의 특성이 맛을 향상시키고 실온 유통 제품의 저장성을 연장할 수 있는 천연 보존료로써의 가능성을 확인하였다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Seul-Bin Baik https://orcid.org/0009-0002-4978-4638
Ki-Sun Yoon https://orcid.org/0000-0002-7492-4076

References

1. Lee, M.K., Cho, S.Y., Seo, J.H., Lee, D.H., Study on the improvement of combat ration type 1 menus by revised IPA. *JKAIS.*, **25**, 746-756 (2024).
2. Seong, N.Y., Special contribution: development directions of combat rations for Korean army. *Military Forum.*, **83**, 273-277 (2015).
3. Chonnam National University, 2013. Improvement of meal, ready-to-eat food for army training and development of outdoor food for demand by increasing the number of tourists and people for leisure (project code: 1545003957, registration number: TRKO201400005739). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Korea Institute of Planning and Evalution for Technology of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Korea.
4. Ku, J.G., Kwon, S.R., Yoo, G.Y., Jeon, C.H., Development of liquid diet combat rations. *Def. Technol.*, **451**, 84-91 (2016).
5. Lee, B.H., Introduction of foreign military combat rations and application plans for our military. *Def. Technol.*, **433**, 54-67 (2015).
6. Schellekens, M., New research issues in sous-vide cooking. *Trends Food Sci. Technol*., **7**, 256-262 (1996).
7. Church, I.J., Parsons, A.L., The sensory quality of chicken and potato products prepared using cook-chill and *sous vide* methods. *Int. J. Food Sci. Technol*., **35**, 155-162 (2000).
8. Douglas, E.B., Sous vide cooking: a review. *Int. J. Gastron Food Sci*., **1**, 1-6 (2012).
9. Mossel, D.A.A., Struijk, C.B., Public health implication of refrigerated pasteurized ('sous-vide') foods. *Int. J. Food Microbiol.*, **13**, 187-206 (1991).
10. Peck, M.W., Goodburn, K.E., Betts, R.P., Stringer, S.C., Clostridium botulinum in vacuum packed (VP) and modified atmosphere packed (MAP) chilled foods. *FSA Proj. Rep.*, **B11006**, 1-266 (2006).
11. Kim, T.H., Baik, J.H., Kim. J.H., More than 80% of the people recognize Korea as a maritime nation: results of the KMI public perception survey on marine and fisheries. *KMI*., **198**, 1-59 (2024).
12. Silla Santos, M.H., Biogenic amines: their importance in foods. *Int. J. Food Microbiol.*, **29**, 213-231 (1996).
13. Prester, L., Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: a review. *Food Addit. Contam. Part A.*, **28**, 1547-1560 (2011).
14. Ong, P., Chang, H.T., Tsai, I.L., Lin, C.H., Chen, S., Chuang, Y.K., Intelligent assessment of the histamine level in mackerel (*Scomber australasicus*) using near-infrared spectroscopy coupled with a hybrid variable selection strategy. **145**, 111524 (2021).
15. Hungerford, J.M., Scombroid poisoning: a review. *Toxicon*, **56**, 231-243 (2010).
16. Stratta, P., Badino, G., Scombroid poisoning. *Can. Med. Assoc. J.*, **184**, 674 (2012).
17. Zhernov, Y.V., Simanduyev, M.Y., Zaostrovtseva, O.K., Semeniako, E.E., Kolykhalova, K.I., Fadeeva, I.A., Maria, I.K., Sonya, O.V., Elena, V.B., Denis, V.S., Vitaly, A.S., Ekaterina, A.S., Oleg, V.M., Molecular mechanisms of scombroid food poisoning. *Int. J. Mol. Sci.*, **24**, 809 (2023).
18. Lo Bosco, F., Guarrasi, V., Moschetti, M., Germanà, M.A., Butera, D., Corana, F., Papetti, A., Nutraceutical value of Pantelleria capers (*Capparis spinosa L.*). *J. Food Sci.*, **84**, 2337-2346 (2019).
19. Tlili, N., Elfalleh, W., Saadaoui, E., Khaldi, A., Triki, S., Nasri, N., The caper (*Capparis L.*): ethnopharmacology, phytochemical and pharmacological properties. *Fitoterapia*, **82**, 93-101 (2011).
20. Wojdyło, A., Nowicka, P., Grimalt, M., Legua, P., Almansa, M.S., Amorós, A., Carbonell-Barrachina, Á.A., Hernández, F., Polyphenol compounds and biological activity of caper (*Capparis spinosa L.*) flower buds. *Plants*, **8**, 539 (2019).
21. Annaz, H., Sane, Y., Bitchagno, G.T.M., Ben Bakrim, W.,

Drissi, B., Mahdi, I., El Bouhssini, M., Sobeh, M., Caper (*Capparis spinosa L.*): an updated review on its phytochemistry, nutritional value, traditional uses, and therapeutic potential. *Front. Pharmacol*., **13**, 878749 (2022).
22. Sousa, A., Ferreira, I.C., Calhelha, R., Andrade, P.B., Valentão, P., Seabra, R., Estevinho, L., Bento, A., Pereira, J.A., Phenolics and antimicrobial activity of traditional stoned table olives "alcaparra". Bioorg. *Med. Chem*., **14**, 8533-8538 (2006).
23. Khadem, P., Motalebi A.A., Rokni, N., Razavilar. V., Effects of *Capparis spinosa* root extract and modified atmosphere packaging on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets by measuring of antioxidant and antimicrobial parameters. *Iran. J. Fish. Sci.*, **19**, 272-285 (2017).
24. Gil, M.M., Brandão, T.R.S., Silva, C.L.M., A modified Gompertz model to predict microbial inactivation under time-varying temperature conditions. *J. Food Eng.*, **76**, 89-94 (2006).
25. Davey, K.R., A predictive model for combined temperature and water activity on microbial growth during the growth phase. *J. Appl. Bacteriol.*, **67**, 483-488 (1989).
26. Ratkowsky, D.A., Olley, J., McMeekin, T.A., Ball, A., Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *J. Bacteriol.*, **149**, 1-5 (1982).
27. Ross, T., Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *J. Appl. Bacteriol.*, **81**, 501-508 (1996).
28. Abou-Zeid, K.A., Oscar, T.P., Schwarz, J.G., Hashem, F.M., Whiting, R.C., Yoon, K.S., Development and validation of a predictive model for *Listeria monocytogenes* Scott A as a function of temperature, pH, and commercial mixture of potassium lactate and sodium diacetate. *J. Microbiol. Biotechnol.*, **19**, 718-726 (2009).
29. McMeekin, T.A., Predictive microbiology: theory and application, Research Studies Press, Taunton, England (1993).
30. Torres, S., Roeckel, M., Marti, M.C., Histamine formation by *Morganella morganii* isolated from *Trachurus murphyii* (Chilean mackerel). *Latin Am. Appl. Res.*, **32**, 209-214 (2002).
31. Kim, S.H., Ben-Gigirey, B., Barros-Velázquez, J., Price, R.J., An, H., Histamine and biogenic amine production by *Morganella morganii* isolated from temperature-abused albacore. *J. Food Prot.*, **63**, 244-251 (2000).
32. Klausen, N.K., Huss, H.H., Growth and histamine production by *Morganella morganii* under various temperature conditions. *Int. J. Food Microbiol.*, **5**, 147-156 (1987).
33. Emborg, J., Dalgaard, P., Growth, inactivation and histamine formation of *Morganella psychrotolerans* and *Morganella morganii* - development and evaluation of predictive models. *Int. J. Food Microbiol.*, **128**, 234-243 (2008).
34. Food and Drug Administration (FDA), 1998. Scombrotoxin (histamine) formation. In: fish and fishery products hazards and controls guide, second ed, U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Washington, D.C., USA, pp. 73-90.
35. Michizo, S., Yukio, Y., Free amino acid composition of the skeletal muscle of migratory fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **39**, 1339-1343 (1973).
36. Venugopal, V., 2008. Marine products for healthcare: functional and bioactive nutraceutical compounds from the ocean, first ed, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 528.
37. Aksay, O., Selli, S., Kelebek, H., LC-DAD-ESI-MS/MS-based assessment of the bioactive compounds in fresh and fermented caper (*Capparis spinosa*) buds and berries. *Food Chem*., **337**, 127959 (2021).
38. Jiang, C., Liu, Y., Jin, W., Zhu, K., Miao, X., Dong, X., Jiang, P., Effects of curing concentration and drying time on flavor and microorganisms in dry salted Spanish mackerel. *Food Chem. X*, **21**, 101126 (2024).
39. Frangos, L., Pyrgotou. N., Giatrakou, V., Ntzimani, A., Savvaidis, I.N., Combined effects of salting, oregano oil and vacuum-packaging on the shelf-life of refrigerated trout fillets. *Food Microbiol*., **27**, 115-121 (2010).