pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 36, No. 2, pp. 124~134 (2021)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2021.36.2.124

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

훈제 및 생연어에서 *Listeria monocytogenes*의 정량적 미생물 위해성 평가

송기영[1] · 양소영[1] · 이은우[2] · 윤기선[1]*
[1]경희대학교 식품영양학과, [2]동의대학교 생명응용학과

Quantitative Risk Assessment of *Listeria monocytogenes* in Smoked and Raw Salmon

Ki Young Song[1], So Young Yang[1], Eun Woo Lee[2], Ki Sun Yoon[1]*
[1]*Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul, Korea*
[2]*Department of Life Science and Biotechnology, Dong Eui University, Busan, Korea*

(Received January 26, 2021/Revised February 21, 2021/Accepted March 3, 2021)

ABSTRACT - Salmon is recognized as a health-promoting functional food due to its high content of unsaturated fatty acids such as eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), and thus demand has increased globally. This study compared the risk of *Listeria monocytogenes* between smoked and raw salmon samples from online and offline markets. *L. monocytogenes* was in two out of 375 smoked salmon samples, while no *L. monocytogenes* was detected in 350 samples of raw salmons. *L. monocytogenes* began to grow after 3 and 6 d storage at 4°C in both raw and smoked salmon, respectively. The contamination level of *L. monocytogenes* increased in both smoked and raw salmon from the market to home. The lag time of *L. monocytogenes* growing in smoked salmons was longer than that in raw salmons, but no significant difference in the growth rates was observed between the two products. Although the growth potential of *L. monocytogenes* was higher in raw than smoked salmon, the longer shelf life of smoked salmon at refrigerated temperature increased the risk of consuming smoked salmon. The probability risk of listeriosis due to smoked salmon consumption (2.27×10^{-9}) was higher than that of raw salmon (1.55×10^{-14}) for the general population. However, the risk of foodborne illness for the susceptible population increased 10 and 100 times with both smoked and raw salmon consumption.

Key words: *L. monocytogenes,* Risk assessment, Smoked salmon, Raw salmon

연어는 eicosapentaenoic acid (EPA) 및 docosahexaenoic acid (DHA)와 같은 오메가 3 지방산이 다량 함유된 수산물로서 아스타잔틴과 같은 색소를 함유하고 있어 육색이 축육과 비슷한 선홍색을 띤다[1]. 연어는 지방 함량이 2.37%에서 18.55%로 부위에 따라 다양하며[2], 연어류 제품의 60.6%가 생연어(횟감용), 초밥, 샐러드, 훈제연어 등으로 주로 냉장으로 유통소비 되고 있으나 훈제연어의 경우 냉동으로도 유통판매 되고 있다[3].

*Correspondence to: Ki Sun Yoon, Department of Food and Nutrition, College of Human Ecology, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea
Tel: +82-2-961-0264, Fax: +82-2-961-0261
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.

생연어는 비가열 즉석섭취식품으로 진공 또는 호기 포장으로 냉장에서 3-5일의 유통기한을 가지고 있다. 생연어는 원재료의 해동, 세척, 필렛, 정형의 과정을 거쳐 완제품으로 출하되는데 생연어의 세척 공정단계에서 100 ppm의 차아염소산나트륨이 세척·소독제로 이용되고 있다[4]. 훈제연어는 열처리 공정을 거치지 않는 비가열 즉석섭취식품으로 냉동으로 유통될 때는 약 1-2년, 냉장으로 유통될 때는 제조일로부터 평균 2주의 유통기한을 가진다. 훈제연어의 가공공정은 냉동된 원재료의 해동, 세척, 필렛, 정형, 염지, 훈연과정을 통해 완제품으로 생산된다. 이 과정에서 염지는 연어의 수분활성도(Aw)를 0.9 이하로 낮춤으로써 미생물과 곰팡이를 억제할 수 있고, 훈연과정에서 형성되는 페놀화합물 등의 성분 때문에 훈제연어에서 미생물의 성장을 억제하는 효과가 있다[5]. 현재 국내에서는 두 제품 모두 온·오프라인을 통해 유통 판매되고 있다.

생연어와 훈제연어에서 가장 문제시되고 있는 병원성 식

중독균은 *Listeria monocytogenes*로 국내·외에서 생산되는 연어 제품에서 꾸준히 검출되고 있다. 국내에서 유통되는 훈제연어의 경우 18개의 제품 중 2개 제품에서 *L. monocytogenes* 균이 검출(11.1%) 되었다[6]. 국외에서는 아일랜드 및 유럽에서 판매되는 훈제연어 제품들에서 *L. monocytogenes*가 20% 이상의 높은 검출률을 보였다[7-9]. 미국 뉴욕시에서 유통되는 생연어 제품에 대해서는 8.8%의 검출률이 보고되었다[10,11]. 2016년에 연구에서는 Ready To Eat (RTE) meat 185건 검사 결과 11건(3.86%), RTE fish 185건 검사 결과 31건(6.76%)에서 *L. monocytogenes*가 검출되었다[12]. 또한 폴랜드의 신선한 생선과 훈제생선에서 *L. monocytogenes* 모니터링 결과 각각 21.5%와 17.0%의 높은 검출률이 보고되었다[13].

*L. monocytogenes*에 의한 리스테리아 감염증(listeriosis)은 특히 면역력이 저하된 만성질환 환자나 노인, 어린이와 같은 고위험군에 속한 취약계층에게는 패혈증이나 뇌수막염으로 진행되는 침습성 감염증을 일으켜 치사율이 25-30%에 이른다. 특히 임산부에게는 혈액을 통해 뱃속의 태아에 감염되어 유산이나 조산을 일으킨다[14]. 미국 질병관리본부에 따르면 *L. monocytogenes* 감염에 의한 질병 발생으로 매년 약 1,600명으로 추정되고, 약 260명이 미국에서 사망하고 있으며 *L. monocytogenes*의 최소 감염량은 10^2-10^3 cells로 매우 낮은 것으로 보고되었다[15]. 또한 리스테리아 감염증은 독일의 경우 2006-2007년에 즉석섭취식품인 소시지가 포함된 샐러드[16], 체코에서는 치즈[17], 오스트리아에서는 jellied pork[18]가 식중독의 원인 식품으로 보고되었다. 최근 남아프리카공화국에서 돼지고기 훈제 소시지로 리스테리아 감염증 사례가 보고되었는데, 감염환자의 27%가 사망하였으며 대부분의 사망사례는 취약계층인 신생아, 임산부, 노인 등이었다[19]. 국외에서는 식품에서 *L. monocytogenes*의 생장가능성 및 영유아나 의학적 목적으로 사용여부에 따라 관리기준을 적용하고 있다[20-22].

특정 병원성 미생물에 의해 오염된 식품을 섭취했을 때 그 병원성 미생물에 의해 감염이 일어날 확률을 과학적으로 분석하는 방법으로 정량적 미생물 위해성평가(quantitative microbial risk assessment, QMRA)가 활용된다. QMRA는 위험성 확인, 노출평가, 위험성 결정, 위해도 결정 절차를 통해 수행되어 진다[23]. Rocourt 등[24]은 즉석섭취식품에 대한 *L. monocytogenes*의 정량적 위해성평가를 수행하여 식품 매개성 식중독 발병과 위험성에 대한 가이드라인을 제시하였다. Pérez-Rodriguez 등[25]은 deli meat에서 *L. monocytogenes*의 위해성평가연구에서 리스크를 더 명확하고 구체적으로 관리할 수 있는 방향을 제시하였다. 또한 축산 식품과 샐러드 등 채소류에서 *L. monocytogenes*의 정량적 위해성평가 결과가 보고되었으며[26-28], 국외에서도 훈제연어 등에서 *L. monocytogenes*에 대해 정량적 위해성평가 연구가 보고되었다[29-31].

현재 국내에서도 훈제연어와 생연어가 온라인으로 유통되면서 소비가 증가하고 있어 이들 제품에서 *L. monocytogenes* 정량적 위해성평가가 필요한 시점이다. 따라서 본 연구에서는 국내 온·오프라인 마트에서 유통되고 있는 즉석섭취 연어류 제품에서 *L. monocytogenes*에 대한 정량적 위해성평가를 통해 훈제연어와 생연어 섭취에 따른 *L. monocytogenes*에 의한 식중독 발생가능성을 비교 평가하였다.

Materials and Methods

훈제 및 생연어에서 *L. monocytogenes* 오염현황 조사

훈제 및 생연어에서 *L. monocytogenes*의 오염수준(initial contamination level)을 분석하기 위하여 계절 및 지역별로 훈제연어(375개)와 생연어(350)개 제품을 구입하여 분석하였다. 제품의 오염수준은 식품공전상 *L. monocytogenes* 정성시험법을 이용하였고, 확인시험은 multiplex PCR을 통해 진행하였다[4]. 위 연구 결과로부터 초기 prevalence data (PR)의 분포도는 beta distribution (α, β) 식을 활용하여 α: 양성 시료수+1, β:전체시료수-(양성시료수+1)를 적용하였다[32]. 훈제연어와 생연어 제품에서의 유통초기단계 *L. monocytogenes* 오염수준은 [Log(-ln(1-PR)/weight)]식을 이용하여 추정하였다[33].

L. monocytogenes 행동 예측 모델 개발

한국미생물보존센터(KCCM, Seoul, Korea)에서 *L. monocytogenes* 행동 예측모델 개발을 위한 두 가지 균주(KCCM 40307, 43155)를 분양받았으며, 본 연구에서 진행한 모니터링 연구에서 분리한 *L. monocytogenes* 균주(serotype 1/2a) 하나를 혼합하여 모델개발에 사용하였다. 모델개발에 사용한 균주는 각각 모두 20% glycerol이 포함된 Tryptic soy broth (MB Cell, Seoul, Korea)에 배양하여 -80°C에서 냉동보관 하였다. 보관한 균주를 상온에서 해동한 뒤, 0.6% yeast extract가 포함된 TSB 10 mL에 *L. monocytogenes* 10 μL 접종하여 24 h 동안 36°C와 140 rpm에서 전배양(VS-8480, Vision, Daejeon, Korea)하였다. 전배양한 균은 멸균된 0.1% 펩톤수를 이용하여 10진 희석하여 모델개발에 사용하였다.

성장 예측 모델개발 및 검증

모델 시료는 대형마트(롯데마트몰, 네이버쇼핑몰, 서울)에서 구입한 훈제연어와 생연어를 무균 작업대 안에서 각각 10 g씩 멸균한 핀셋으로 채취하여 멸균된 petri dish에 옮긴 후, 세 가지 균주를 혼합한 *L. monocytogenes* 칵테일 균주 100 μL를 각각의 시료에 접종하여 초기 균수가 약 3.0-3.5 log CFU/g이 되도록 하였다. *L. monocytogenes*가 접종된 샘플은 폴리에틸렌 멸균 포장지(Freshield, Siheung, Korea)로 진공포장하여 4, 10, 17, 25, 36°C에 온

도에 각각 저장해 *L. monocytogenes*의 시간변화에 따른 행동 변화를 관찰하였다. 각각의 시료 10 g은 멸균된 0.1% 펩톤수 90 mL로 균질화시킨 시료를 단계별로 희석하여 희석 배수 당 100 μL씩 취한 후 0.6% yeast extract가 포함된 Tryptic soy agar (Kisanbio, Seoul, Korea)에 분주하여 37°C에서 48 h 배양하여 저장온도 및 시간변화에 따른 *L. monocytogenes* 집락을 계수하였다.

각 온도에서 1차 생장예측모델은 GraphPad Prism V 7.03 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) 프로그램을 사용하여 Modified Gompertz model[34]공식에 적용하였으며, 1차 생장예측모델 변수인 유도기(lag time, LT), 최대증식속도(maximum specific growth rate, SGR), 최대개체군밀도(maximum population density, MPD)를 각각 구하였다.

$$Y=N+C\times\exp(-\exp((2.718\times SGR/C)\times(LT-T)+1)) \quad (1)$$

Y: 시간에 따른 균수의 최대 log값

N: 초기균수의 log 값, C: 최대증식농도에서 초기농도를 뺀 값으로 시간변화에 따라 증식한 log 값, LT: 유도기(그래프의 X값과 단위 동일), SGR: 최대증식속도(log CFU/h), T: 보관시간(h)

1차 성장예측모델 변수인 LT, SGR, MPD값은 각각 Davey model[35], Square root model[36]과 Polynomial second order model[37]공식에 적용하여 온도변화에 따른 각 변수 값을 예측할 수 있는 2차 모델을 개발하였다.

Davey model

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

Y: 유도기(시간), a, b, c: 상수, T: 온도

Square root model

$$Y=\{b(T-Tmin)\}^2 \quad (3)$$

Y: 최대증식속도(log CFU/h), b: 상수, T: 온도, Tmin: theoretical minimum temperature (the temperature below which growth ceases)

Polynomial second order model

$$Y=a+(b\times T)+(c\times T) \quad (4)$$

Y: 최대개체군밀도(log CFU/g), a, b, c: 상수, T: 온도

이화학적 특성

pH 측정을 위하여 훈제연어와 생연어 각각의 시료 10 g을 채취한 뒤 멸균백에 넣고 멸균증류수 90 mL를 첨가하여 균질화한 후, pH meter Testo206-pH2 (Testo AG, Lenzkirch, Germany)를 이용하여 측정하였다. 수분활성도는 시료 5 g을 수분활성도 측정기(AwTherm-PS40, Rotronic AG, Bassersdorf, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

판매단계에서 가정까지의 단계별 노출 평가 시나리오

마켓부터 가정까지 연어제품에서의 *L. monocytogenes*의 생장 추정

오프라인 마켓에서의 훈제연어 보관시간은 훈제연어를 유통하는 64개 제조업체에서 제공한 보관시간을 입력변수로 @RISK 소프트웨어(Palisade Corporation, Ithaca, NY, USA)에 입력한 결과 가장 적합한 확률분포 모델식은 RiskTriang로 확인되었다. 오프라인 마켓에서 보관시간은 최소 5.71 day, 최빈 720 day, 최대 720 day인 것으로 확인되었다.

생연어의 보관시간은 판매자와의 구두 면접의견에 따라 최소 0 h, 최대 72 h으로 입력하였다. 유통마켓에서의 보관온도는 훈제연어는 냉동은 평균온도 -15.9°C, 냉장은 최대 냉장온도 7°C, 생연어의 냉장 평균온도로 10.7±3°C의 값을 각각 입력하였다[38]. 소비자가 판매장에서 식품 구매 후 가정으로 운송하는 시간은 최소 0.325 h, 최빈 0.984 h, 최대 1.643 h로 설정하였다[39]. 유통온도는 국내 연평균기온 결과[40]를 입력하여 가장 적합한 확률분포 모델식으로 RiskTriang을 선정하였다. 가정에서 보관 시 제품의 보관시간은 훈제연어는 최소 0 h, 최빈 48 h, 최대 72 h의 값을, 생연어의 경우 최소 0 h, 최대 48 h의 값을 입력하였으며, 보관온도의 경우 두 제품 모두 냉장온도로 최소 0°C, 최대 10°C의 값을 입력하였다[41].

훈제 및 생연어의 섭취량 및 섭취자 비율 조사

훈제연어와 생연어의 섭취량 및 섭취자 비율 조사는 전국단위 1,000명을 대상으로 수행한 미생물 위해평가를 위한 50대 주요 식품의 섭취량 및 섭취패턴 조사 결과[41]를 활용하였다. 생연어 섭취실태는 생선회의 자료로 대체하여 @Risk를 통해 가장 적합한 확률분포 모델식을 선정하여 각각의 섭취량 및 섭취자 비율을 추정하였다.

위험성 결정

*L. monocytogenes*의 용량반응 모델은 exponential model로 취약계층과 일반계층으로 나누어 각각의 용량반응 모델을 적용하였다[42].

$$P=1-\exp(rxN)$$

P: *L. monocytogenes* 의 질병 발생가능성, N: *L. monocytogenes*의 섭취로 노출된 세포 수, r: 하나의 세포에 의해 질병이 발생할 수 있는 확률(취약계층: $r=1.06\times10^{-12}$, 일반계층: $r=2.37\times10^{-14}$).

위해도 결정

훈제연어와 생연어 섭취로 *L. monocytogenes*에 의한 식중

Table 1. Simulation model and formulas in the Excel spreadsheet used to calculate the risk of *L. monocytogenes* in smoked salmon and raw salmon with @RISK

Symbol	Unit	Definition	Formula	
Product			Smoked salmon	Raw salmon
Pathogens contamination level				
PR		Prevalence of *L. monocytogenes* in smoked salmon	RiskBeta (3, 374)	RiskBeta (1, 351)
CL	CFU/g	Contamination level of *L. monocytogenes*	-LN(1-PR)/25	
IC	Log CFU/g	Initial contamination level	Log(CL)	
Market				
M_{Time}	H	Storage time in market	RiskTriang (137.13, 17280, 17280)	RiskUniform (0, 72)
M_{Temp}	°C	Storage temperature in market	RiskUniform (-15.9, 7)	RiskNormal (10.7, 3)
Growth				
SGR_1	Log CFU/h	Specific growth rate	$\{0.01908*(M_{Temp}-0.0123)\}^2$	$\{0.01858*(M_{Temp}-0.6524)\}^2$
LT_1	H	Lag time	$-27.02+(1070/M_{Temp})+(-1390/M_{Temp}^2)$	$-3.607+(176.7/M_{Temp})+(578.4/M_{Temp}^2)$
C	Fixed	Difference between initial and final cell numbers	5.711	4.793
G_1	Log CFU/g	Growth model	$IC+C*EXP[-EXP\{(2.718*SGR_1/C)*(LT_1-M_{Time})+1\}]$	
Transportation to home				
T_{Time}	H	Storage time during transportation	RiskPert (0.325, 0.984, 1.643)	
T_{Temp}	°C	Storage temperature during transportation	RiskTriang (-12.76, 27, 40.70)	
Growth				
SGR_2	Log CFU/h	Specific growth rate	$\{0.01908*(T_{Temp}-0.0123)\}^2$	$\{0.01858*(T_{Temp}-0.6524)\}^2$
LT_2	H	Lag time	$-27.02+(1070/T_{Temp})+(-1390/T_{Temp}^2)$	$-3.607+(176.7/T_{Temp})+(578.4/T_{Temp}^2)$
C	Fixed	Difference between initial and final cell numbers	5.711	4.793
G_2	Log CFU/g	Growth model	$G_1+C*EXP[-EXP\{(2.718*SGR_2/C)*(LT_2-T_{Time})+1\}]$	
Home				
H_{Time}	H	Storage time until consumption	RiskPert (0, 48, 72)	RiskUniform (0, 48)
H_{Temp}	°C	Storage temperature until consumption	RiskUniform (0, 10)	
Growth				
SGR_3	Log CFU/h	Specific growth rate	$\{0.01908*(H_{Temp}-0.0123)\}^2$	$\{0.01858*(H_{Temp}-0.6524)\}^2$
LT_3	H	Lag time	$-27.02+(1070/H_{Temp})+(-1390/H_{Temp}^2)$	$-3.607+(176.7/H_{Temp})+(578.4/H_{Temp}^2)$
C	Fixed	Difference between initial and final cell numbers	5.711	4.793
G_3	Log CFU/g	Growth model	$G_2+C*EXP[-EXP\{(2.718*SGR_3/C)*(LT_3-H_{Time})+1\}]$	
Consumption				
Consum		Daily consumption amount	RiskPearson5 (5.090, 246.96, RiskShift (-15.039))	RiskGamma (2.567, 53.499, RiskShift (2.656))
IntakeRate	Fixed	Intake rate	0.012	0.044
Amount		Daily consumption amount considered intake rate	Consum×Intake Rate	
Dose-Response model				
Dose (D)		*L.monocytogenes* amount	10^{G3}×Amount	
R		Parameter of r	1.06×10^{-12} (Susceptible population), 2.37×10^{-14} (General population)	
Model			1-EXP(-R×D)	
Risk characterization				
Risk		Probability of illness/person/day	General/susceptible populations	

독 발생 확률을 추정하기 위해 Excel spreadsheet (Microsoft Excel 2013, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA)에 작성한 시나리오에 따라 관련정보와 수식을 입력하였다(Table 1). 시나리오는 @RISK 소프트웨어(Palisade Corporation, Ithaca, NY, USA)를 사용하였고, 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 활용한 Sampling type은 median latin hypercube를, generator seed는 random으로 10,000번 이상의 iteration을 통해 최종 위해도를 산출하였다. 최종적으로 *L. monocytogenes*에 의한 식중독 발생 확률에 미치는 영향요인을 분석하기 위해 @RISK에 있는 민감도 분석(sensitivity analysis)을 이용하여 상관계수를 산출하였다[43].

통계처리

본 연구 결과는 SAS Software, version 9.4 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)를 활용하였으며, 각각의 온도에서 훈제연어와 생연어 1차 모델 변수인 LT, SGR, MPD 값은 t-test를 이용하여 분석한 후, $P<0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

Results and Discussion

훈제 및 생연어에서 *L. monocytogenes* 초기오염도 추정

노출평가의 첫 단계로 온·오프라인에서 유통 판매되고 있는 훈제 및 생연어에서 *L. monocytogenes*의 초기오염수준을 계절 및 지역별로 분석한 결과 375개의 훈제연어에서 2건의 *L. monocytogenes* (0.53%)가 검출된 반면, 분석한 350개 생연어에서는 *L. monocytogenes*는 검출되지 않았다. 또한 각각의 공정과정단계의 시료와 환경에서 *L. monocytogenes*는 검출되지 않았다[4]. 그러나 7-8월에 분석한 오프라인에서 유통되고 있는 훈제연어에서는 *L. ivanovii, L. seeligeri*가 각각 2건씩 검출되어 *L. monocytogenes*는 아니었으나 *Listeria* 균주에 의한 오염 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 분석한 훈제연어는 냉동으로 유통되는 샘플 340개, 냉장으로 유통되는 샘플 35개를 분석하였으며, 생연어는 냉동으로 유통되는 샘플 55개, 냉장으로 유통되는 샘플 295개를 분석한 결과이다. 현재 국내에서는 훈제연어의 냉장유통 온도를 5°C 이하로 규정하고 있는데[47], 관리기준 강화 및 생산업체의 위생관리에 대한 경각심 증가 등도 본 연구에서 *L. monocytogenes*의 낮은 검출률 결과와 관련이 있을 것으로 사료된다.

각 제품에서 *L. monocytogenes*의 오염수준인 prevalence data (PR)는 훈제연어와 생연어에서 *L. monocytogenes* 모니터링 결과를 반영해 Beta distribution을 이용하여 분석한 결과, 훈제연어 –3.57±0.27 log CFU/g, 생연어 –4.19±0.56 log CFU/g으로 확인되었다.

노출평가에서 훈제 및 생연어에서 *L. monocytogenes* 행동 예측 모델 적용

훈제연어와 생연어에서 *L. monocytogenes*의 1차 생장예측모델 변수 값은 Fig. 1과 같다. 훈제연어를 4, 10, 17, 25, 36°C 저장온도에 보관 시 *L. monocytogenes*의 LT는 각각 153.5, 65.97, 32.71, 10.12, 3.52시간이었으며, SGR

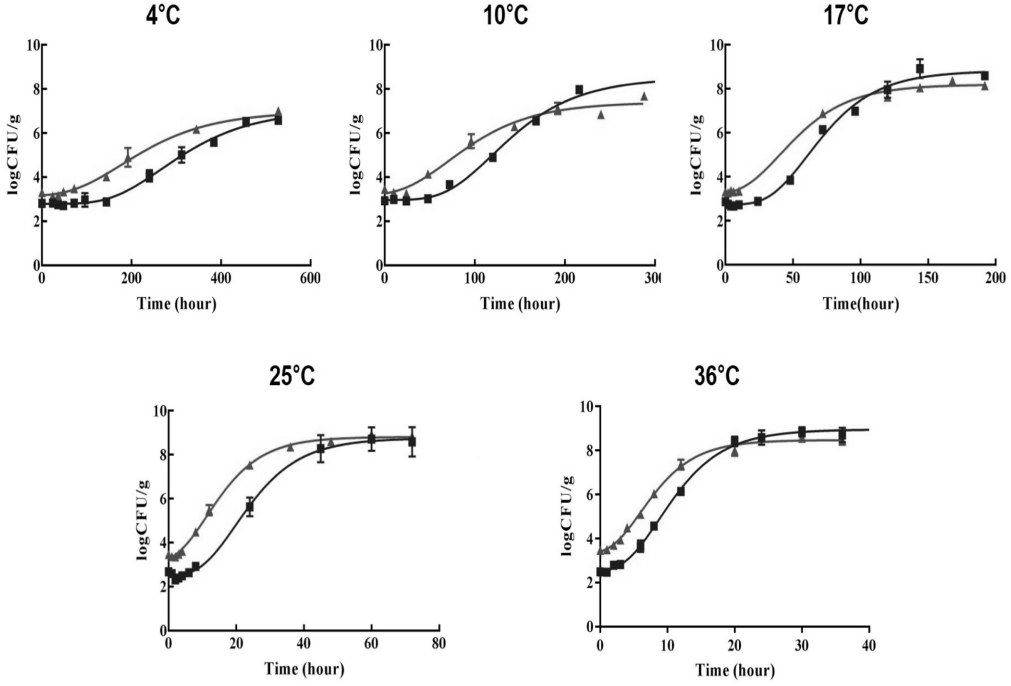

Fig. 1. Primary models of *L. monocytogenes* in salmon products (smoked salmon (■) and raw salmon (▲)) at 4, 10, 17, 25, and 36°C.

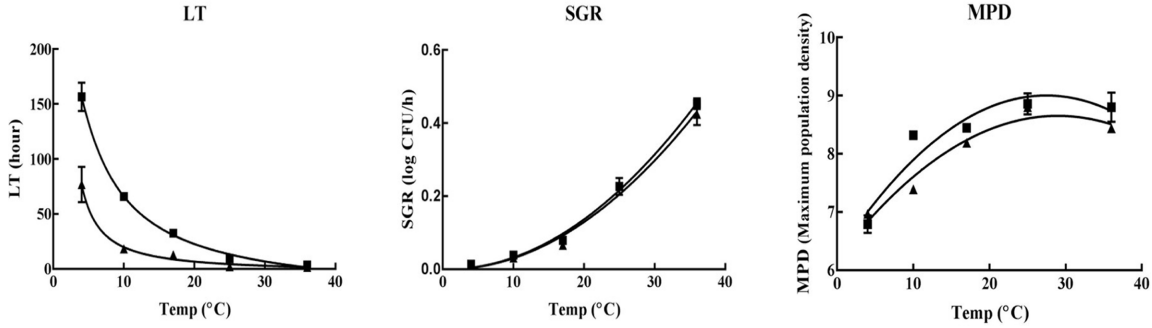

Fig. 2. Secondary models for LT, SGR and MPD of *L. monocytogenes* in salmon products (smoked salmon(■) and raw salmon (▲)) as a function of temperature.

은 0.01, 0.04, 0.08, 0.23, 0.45 log CFU/h로 확인되었다. 훈제연어의 저장온도가 4°C에서 10°C로 증가함에 따라 *L. monocytogenes* 유도기는 약 57% 감소하였고, 최대증식속도는 4배 증가하였다. 본 연구에서 4°C보다 10°C 냉장온도에 보관한 훈제연어에서 *L. monocytogenes*가 매우 빠르게 성장함이 확인되었는데, Cho 등[44]의 국내 연구에서도 훈제연어에서 *L. monocytogenes*의 LT는 4°C보다 10°C에서 약 57% 감소함이 보고되어 본 연구결과와 일치하였다. 또한 Gimenez 등[45]의 연구에서도 훈제연어에서 *L. monocytogenes*의 최대증식속도는 5°C에서 10°C로 증가함에 따라 약 5배 증가하여 본 연구의 결과와 비슷한 경향을 보였다.

생연어의 경우 *L. monocytogenes*의 유도기는 각각 76.81, 18.17, 12.81, 2.16, 1.52시간, 최대증식속도는 0.01, 0.03, 0.07, 0.23, 0.42 log CFU/h로 저장온도가 4°C에서 10°C로 증가함에 따라 유도기는 약 76% 감소하였고, 최대증식속도는 3배 증가하였다. 냉장온도 범위(4-10°C)에서는 훈제연어보다 생연어에서의 유도기가 짧고 더 빨리 성장함을 알 수 있었는데, 이는 훈제연어의 훈연 공정단계에서 생성되는 페놀화합물 등의 성분 때문에 미생물의 성장이 저지되었다는 선행연구[5,46]의 결과와 일치하였다.

훈제연어와 생연어 각각에서 1차 모델변수에 대한 온도의 영향을 나타낸 2차 모델은 다음 Fig. 2와 같다. 두 식품의 유도기는 4°C에서 약 2배 차이(훈제연어: 153.50 h, 생연어: 76.81 h)를 보였으나, 온도가 10, 17, 25°C로 증가할수록 유의적이었으며 두 제품 간 유도기의 차이는 줄어들었다. 전체적으로 생연어에서 *L. monocytogenes*의 유도기는 훈제연어보다 더 짧고 생연어에서 증식이 더 빠르게 일어나는 것으로 나타났지만 두 식품의 최대증식속도값은 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않아(P<0.05) 훈연공정이 최대성장속도에는 크게 영향을 주지 못한 것으로 확인되었다. 최대개체군밀도값은 두 제품에서 모두 온도가 증가함에 따라 증가하였으며 25°C에서 훈제연어와 생연어 각각에서 8.86 log CFU/g, 8.80 log CFU/g으로 최댓값을 보였다.

훈제 및 생연어에서 유통단계별 *L. monocytogenes* 오염도 변화

마트에서 보관 유통되는 단계부터 가정으로 운송, 소비되는 단계까지, 단계별 시나리오에 따라 @RISK를 활용하여 오염도 변화를 추정한 결과는 다음 Fig. 3a 및 3b와 같다. 온·오프라인 마켓에서 훈제연어와 생연어 제품의 *L. monocytogenes* 초기오염도 결과는 각각 평균 -3.57, -4.19 log CFU/g이었다. 마켓에서 판매되는 기간 중 오염도는 각각 1.75, -3.26 log CFU/g으로 증가하여 훈제연어의 경우 마켓에서의 오랜 유통기한이 오염도 변화에 큰 영향을 주는 것으로 확인되었다. 또한 마켓에서 가정으로 운송되는 과정에서 훈제연어와 생연어의 오염도는 각각 1.98, -3.12 log CFU/g으로 증가하였으며, 최종적으로 가정에서 섭취하기 전 최종 오염도는 각각 2.17, -2.86 log CFU/g으로 증가하였다.

훈제연어의 경우 마켓 판매단계에서 오염도가 증가하는 이유는 냉장에서 2주, 또는 냉동으로 약 1-2년으로 장시간 유통되고 있기 때문인 것으로 사료된다. 반면 생연어의 경우 유통기한은 짧으나 판매대에서 냉장식품의 표면온도가 평균 10.7±3°C로[38] *L. monocytogenes* 증식이 계속 일어날 수 있는 온도이기 때문인 것으로 보인다. 소비자들은 가정에서 두 제품 모두 냉장 보관(0-10°C)하지만, 훈제연어의 경우 최대 3일, 생연어와 같은 생선회의 경우 최대 2일까지 보관한다고 응답하였다[41]. 가정에서 냉장 보관하는 동안에도 훈제연어 및 생연어에서 *L. monocytogenes*는 계속적으로 증가할 수 있기 때문에 오염도의 변화가 있게 된 것으로 사료된다.

훈제연어는 현재 온·오프라인 마켓에서 냉장 및 냉동으로 유통되고 있으며, 냉장으로 유통되는 경우 *L. monocytogenes*가 생장할 수 있는 충분한 시간이 있다. 훈제연어 섭취패턴에 대한 설문조사 결과, 훈제연어를 구입한 83.4%의 응답자가 훈제연어를 냉장보관 상태로 구입하였으며, 16.6%만이 냉동보관 상태로 구입하였다고 응답하였다. 또한 보관 후 섭취한 경우는 응답자의 50%가 냉

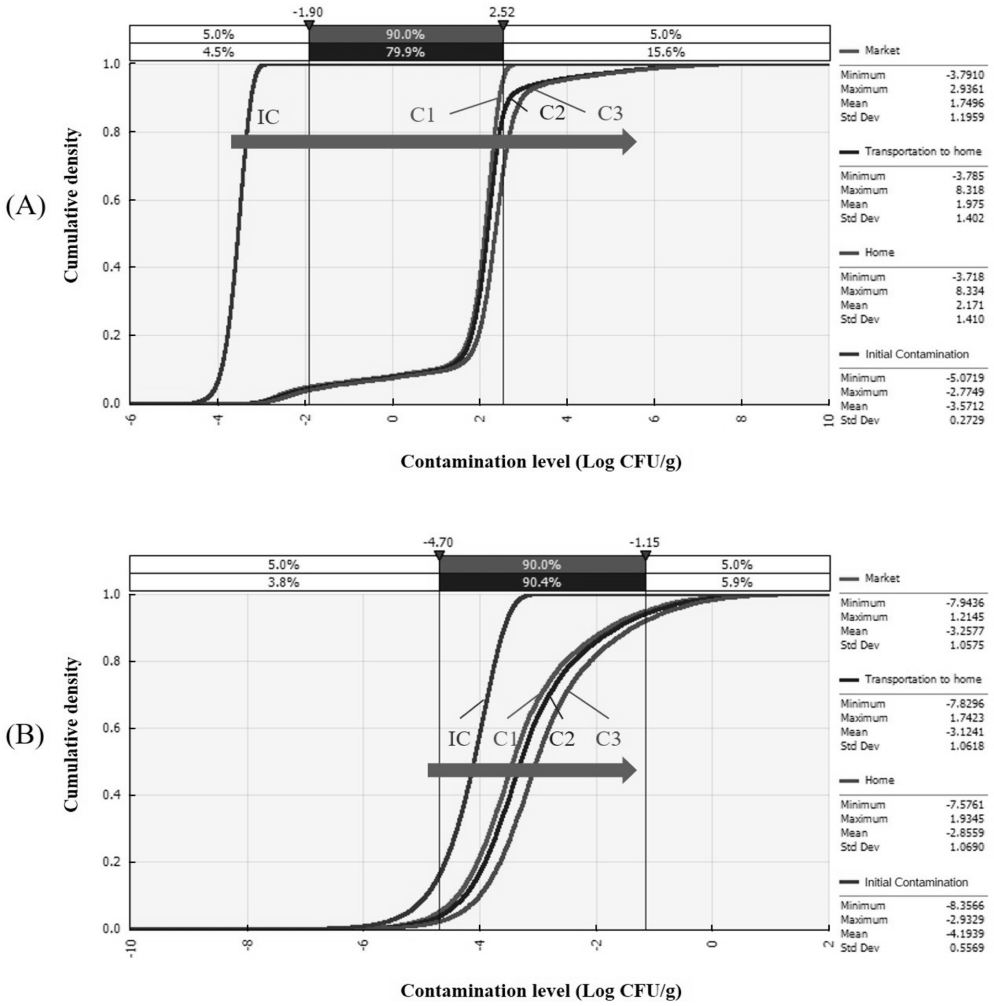

Fig. 3. Cumulative distribution for the contamination level of *L. monocytogenes* in smoked salmon (A) and raw salmon (B) from market to home. IC : Initial Contamination, C1 : Market, C2 : Transportation to home, C3 : Home.

장보관, 나머지 50%는 냉동보관을 하였다고 응답하여[41] 소비자들에게 안전한 보관방법에 대한 소통이 필요할 것으로 사료된다.

훈제 및 생선회의 섭취량 및 섭취자 비율 조사

훈제연어와 생연어의 하루 1회 평균 섭취량 및 섭취자 비율은 MFDS[41]의 자료를 활용하였다. 설문조사 응답자의 섭취량을 입력변수(input)로 하여 Excel spreadsheet를 통해 가장 적합한 확률분포모델식을 선정하였다. 섭취자 비율은 섭취빈도자료를 활용하여 고정값으로 입력하였다. 본 연구에서는 최근 소비가 증가하고 있는 생연어의 경우 섭취량 자료가 부재하여 생연어가 주로 연어회로 섭취되는 점을 고려하여 생선회의 섭취량 자료를 활용하였다. 그 결과 훈제연어와 생선회의 섭취량은 각각 RiskPearson5 distribution과 RiskGamma distribution이 가장 적절한 확률분포 모델식으로 확인되었다. 훈제연어와 생선회의 하루 1회 평균 섭취량은 각각 45.34 g, 139.98 g이었고, 각 식품의 섭취자 비율은 1.2%, 4.4%로 조사되어 국내에서는 훈제연어보다 생선회를 먹는 비율이 높은 것으로 확인되었다.

위험성 결정과 위해도 결정

노출평가에서 확인된 *L. monocytogenes*의 오염수준을 바탕으로 훈제연어와 생연어의 섭취량과 *L. monocytogenes*의 Exponential 용량반응모델을 활용하여 취약계층과 일반계층으로 구분하여 리스크를 분석하였다(Table 2). 그 결과 *L. monocytogenes*에 오염된 훈제연어와 생연어를 하루에 1회 섭취하여 식중독에 걸릴 가능성은 취약계층의 경우 1.02×10^{-7}, 6.99×10^{-13}이며, 일반계층에서는 2.27×10^{-9}, 1.55×10^{-14}으로 나타났다. 고위험군이 연어제품을 섭취하는 경우 일반군에 비해 *L. monocytogenes*에 의한 식중독 발생 가능성이 10-100배까지 증가하는 것을 확인하였다. 스

Table 2. Probability of *L. monocytogenes* foodborne illness per day per serving of salmon product

Probability of illness/person/day	Group (population)	Min	25%	Mean	95%	Max
Smoked salmon	Susceptible	-1.12×10^{-11}	4.16×10^{-11}	1.02×10^{-7}	3.32×10^{-9}	1.07×10^{-4}
	General	-2.51×10^{-13}	9.31×10^{-13}	2.27×10^{-9}	7.41×10^{-11}	2.39×10^{-6}
Raw salmon	Susceptible	0	0	6.99×10^{-13}	9.90×10^{-13}	4.65×10^{-10}
	General	0	0	1.55×10^{-14}	2.21×10^{-14}	1.04×10^{-11}

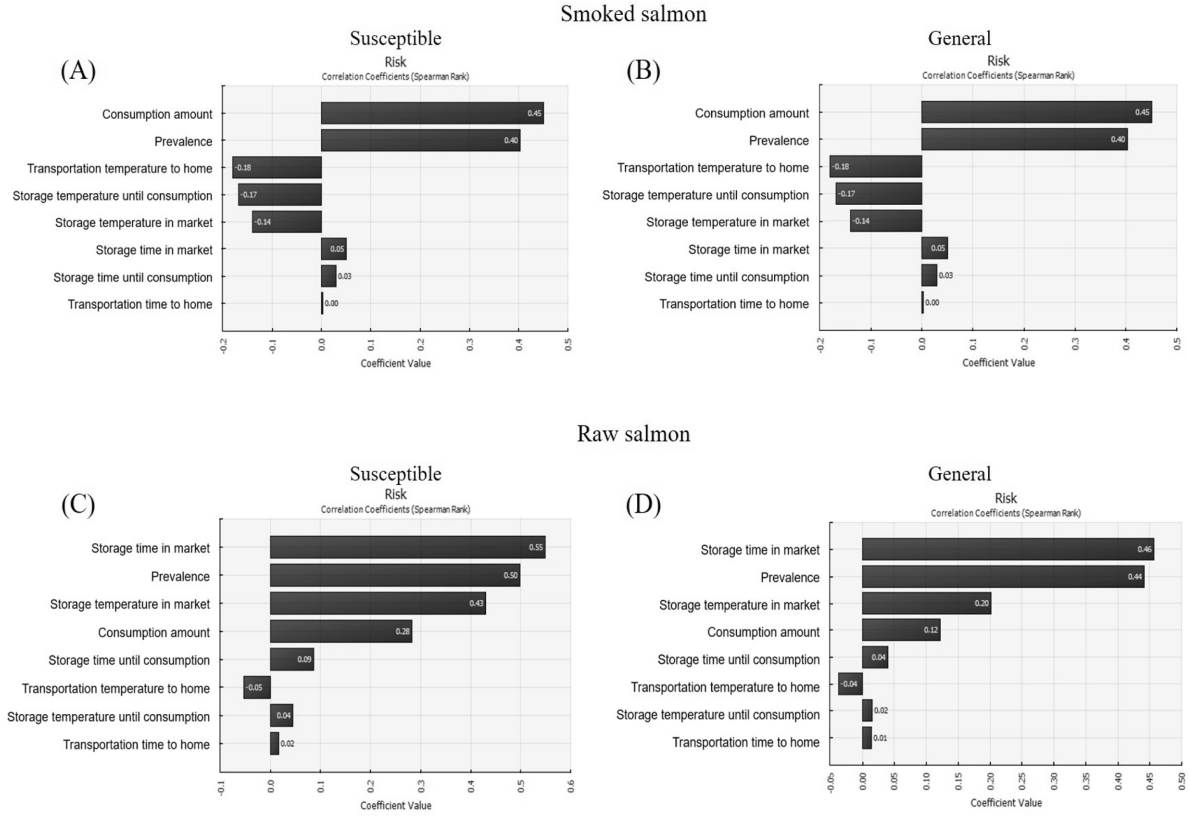

Fig. 4. The correlation coefficient for sensitivity analysis affecting illness by *L. monocytogenes* with the consumption of smoked salmon in susceptible (A) and general population (B), and raw salmon in susceptible (C) and general population (D).

웨덴에서 훈제/그라바드 연어와 무지개 송어섭취에 따른 *L. monocytogenes* 위해성 평가결과에 따르면 한주에 1회 섭취할 경우 고위험군이 식중독에 걸릴 가능성은 평균 1.5×10^{-3}으로 보고되었는데, 본 연구에 비해 리스크가 훨씬 높은 것으로 나타났다[29]. 프랑스에서 진행된 위해성평가 결과에서는 훈제연어에서 *L. monocytogenes*의 오염률을 낮추거나 소비자가 냉장보관온도를 더 낮게 기간을 더 짧게 하는 것이 *L. monocytogenes* 리스크를 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법으로 제시하였다[30].

핀란드에서 최근에 진행된 위해성평가 연구에서도 노인층에서 listeriosis를 얻을 리스크가 증가하였으며 연어제품을 0-3°C온도에 보관하여도 리스크가 완전히 제거되지 않는 것으로 확인되었다. 또한 연어제품을 구매 후 소비자나 전문요리사가 안전하게 연어제품을 다루고 보관하는 것이 listeriosis 예방에 필수요소로 결론 지었다[31].

본 연구에서는 식중독에 걸릴 가능성이 훈제연어가 생연어보다 더 높은 것으로 확인되었는데, 이는 훈제연어의 유통기한이 생연어보다 더 길기 때문인 것으로 사료된다. 10°C에서 *L. monocytogenes*의 생장을 비교한 결과, 5일 동안 생연어에서는 약 3.0 log CFU/g 성장한 반면, 훈제연어에서는 약 1.9 log CFU/g 정도 성장하였다. 훈제연어를 만드는 과정에 염지, 훈연공정이 포함되어 10°C 냉장보관 초기에는 *L. monocytogenes*의 성장이 다소 저해되었으나, 훈제연어의 경우 냉장보관 기간이 연장되면서 리스크가 증가됨이 확인되었다. 선행연구에서도 4-10°C의 냉장범위 내에서 25일 동안 보관 시 최고 농도로 성장함이 보고되

었다[5]. 반면 회 또는 샐러드 등에 사용되는 생연어의 유통기한은 냉장온도에서 평균 3-5일로 매우 짧아 최고 농도로 증가할 수 있는 가능성이 매우 낮아 본 위해성평가 결과에서는 훈제연어보다는 생연어에서 위해도가 낮은 것으로 확인되었다. 그러나 생연어의 보관온도가 4°C에서 10°C로 증가함에 따라 *L. monocytogenes*의 유도기가 급격히 감소하여 유통과정 및 가정에서 보관시에도 철저한 온도관리가 필요한 것으로 사료된다.

훈제연어와 생연어의 이화학적인 특성으로 pH는 각각 5.43±0.01, 5.29±0.01, 수분활성도는 0.89±0.02, 0.90±0.01, 염도는 0.21%, 0.06%로 모두 *L. monocytogenes* 성장에는 크게 영향을 주지 않은 것으로 확인되었다. 훈제연어의 염지 및 훈연단계가 보관 초기에는 미생물의 증식을 억제하는데 기여[5,46]하였으나, 훈제연어는 마켓에서 냉동 평균온도 –15.9±5.2°C 최대 2년(720 days), 냉장(최대 7°C) 온도로 2주 유통되는 상황을 고려하였을 때, 식중독 발생 가능성은 생연어보다는 증가하는 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 리스크에 미치는 주요한 요인들을 파악하기 위하여 민감도분석을 진행하였다(Fig. 4). 훈제연어 섭취에 따른 *L. monocytogenes*에 의한 식중독 발생 가능성에 대한 표준화 회귀계수(regression coefficients)를 분석한 결과, 취약계층과 일반계층에서 모두 섭취량과 초기 오염수준이 가장 큰 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 반면 운송 중 보관온도, 섭취 전 보관온도, 판매장 보관온도와는 음의 상관관계를 보여 훈제연어가 냉장으로 유통되는 경우 *L. monocytogenes*가 충분히 생장할 수 있는 시간이 있음을 고려할 때 훈제연어의 경우 냉동유통으로 관리하는 것이 위해도를 낮추는 데 기여할 것으로 사료된다. 훈제연어 섭취패턴에 대한 설문조사 결과에 따르면 훈제연어를 구입한 83.4%의 응답자가 훈제연어를 냉장보관 상태로 구입하였으며, 16.6%만이 냉동보관 상태로 구입하였다고 응답하였다[41]. 생연어의 경우 취약계층과 일반계층에서 모두 판매장 보관온도가, 그 다음으로 판매장 보관시간이 가장 큰 양의 상관관계가 있는 것으로 나타나 보관온도 및 시간관리가 매우 중요한 것으로 확인되었다.

본 위해성평가 연구에서는 생연어의 수요가 최근 5년간 매우 급증하였으나 연어회로 사용되는 생연어 섭취 패턴에 대한 자료가 부족하여 전체 생선회의 섭취패턴 자료를 이용하였다. 최근 생연어의 소비는 증가하는 추세이나, 횟감류의 종류가 다양한 만큼 확실한 대표성을 나타내기에 한계가 있을 수 있다. 또한 본 연구에서 사용한 국내 온·오프라인 마켓에서 유통되는 연어제품에서 *L. monocytogenes* 오염도(훈제연어: 0.5%, 연어회: 0%)는 국외에서 유통되는 연어제품들의 초기 오염도 자료들과 비교했을 때[7-11] 매우 낮았다. 국내에서도 생연어의 소비가 증가하는 점을 고려할 때 지속적으로 연어류 제품에 대해 *L. monocytogenes*를 포함한 병원성 식중독균에 대한 모니터링 조사가 필요할 것으로 사료된다. 또한 최근 온라인으로 생연어 제품이 유통되고 있는 점을 고려할 때 안전한 제품이 생산되고 유통될 수 있는 선제적인 조치가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgments

본 연구는 2019년도 식품의약품안전처 용역연구개발과제 연구개발비(18162축산선524) 지원에 의해 수행되었으며 감사드립니다.

국문요약

본 연구에서는 훈제연어와 연어회 및 샐러드 등에 많이 활용되는 생연어 섭취에 따른 *L. monocytogenes* 에 의한 식중독 발생 리스크를 비교하기 위해 정량적 미생물 위해성 평가를 수행하였다. 연구 결과 하루에 1회 훈제연어와 생연어 섭취로 *L. monocytogenes*로 인한 식중독 발생 가능성은 취약계층의 경우 1.02×10^{-7}, 6.99×10^{-13}이며, 일반계층에서는 2.27×10^{-9}, 1.55×10^{-14}으로 나타나 취약계층에서 식중독 발생 가능성은 훈제연어의 경우 100배, 생연어의 경우 10배로 증가하는 것으로 확인되었다. 또한 생연어가 훈제연어보다 식중독 발생 가능성이 낮은 것으로 확인되었는데, 이는 생연어는 짧은 유통기한 때문에 냉장온도에서 최고농도로 증가할 수 있는 가능성이 매우 낮기 때문인 것으로 나타났다. 그러나 *L. monocytogenes* 최소 감염량이 10^2-10^3 cells로 매우 낮은 것을 고려할 때 임신부, 고령층과 같은 취약계층에 대한 식품안전 교육이 더욱 필요할 것으로 사료된다. 훈제연어에서는 염지, 훈연공정 때문에 4°C, 10°C 냉장보관 초기에는 *L. monocytogenes*의 성장이 다소 저해되었으나 각각 6.4일, 2.7일 후 다시 증식하는 것으로 확인되었다. 결론적으로 훈제연어에서 *L. monocytogenes* 오염수준이 높고 냉장보관온도가 남용(10°C) 되었을 때 냉장유통 기간인 2주 동안에도 최고 농도로 성장해 식중독 발생 리스크가 높아질 수 있다. 따라서 훈제연어의 공정과정에서 *L. monocytogenes*가 오염되지 않도록 철저한 위생관리가 필요하며 온·오프라인 유통환경관리에 대한 재점검이 필요할 것으로 사료된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Ki Young Song https://orcid.org/0000-0002-9598-1811
So Young Yang https://orcid.org/0000-0002-5984-2275
Eun Woo Lee https://orcid.org/0000-0003-4091-6606
Ki Sun Yoon https://orcid.org/0000-0002-7492-4076

References

1. Bastias, J.M., Balladares, P., Acuña, S., Quevedo, R., Muñoz, O., Determining the effect of different cooking methods on the nutritional composition of salmon (*Salmo salar*) and chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) fillets. *PloS ONE,* **12**, e0180993 (2017).
2. Katikou, P., Hughes, S.I., Robb, D.H.F., Lipid distribution within Atlantic salmon (Salmo salar) fillets. *Aquaculture,* **202**, 89-99 (2001).
3. Korea Maritime Institute, (2019, August 20). 2017 Weekly report (Vol.51). Retrieved from https://www.kmi.re.kr/web/trebook/view.do?rbsIdx=273&page=26&idx=63
4. Ministry of Food and Drug Safety, (2021, March 3). 2019 Risk assessment and reduction of *Listeria monocytogenes* in agriculture, livestock and fishery products. Report of MFDS, Seoul, Korea. Retrieved from https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO202000029896&dbt=TRKO
5. Lovdal, T., The microbiology of cold smoked salmon. *Food Control,* **54**, 360-373 (2015).
6. Jeong, H.W., Park, S.H., Lee, J.H., Kim, S.J., Ryu, S.H., Song, M.O., Park, S.H., Jo, J.Y., Park, G.Y., Choi, S.M., Prevalence and antibiotic resistance patterns in *Listeria monocytogenes* isolated from food. *J. Food Hyg. Saf.,* **29**, 26-30 (2014).
7. González, D., Vitas, A. I., Díez-Leturia, M., García-Jalón, I.. *Listeria monocytogenes* and ready-to-eat seafood in Spain: Study of prevalence and temperatures at retail. *Food Microbiol.,* **36**, 374-378 (2013).
8. Doménech, E., Jimenez-Belenguer, A., Amoros, J.A., Ferrus, M.A., Escriche, I., Prevalence and antimicrobial resistance of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* strains isolated in ready-to-eat foods in Eastern Spain. *Food Control,* **47**, 120-125 (2015).
9. Abdollahzadeh, E., Ojagh, S.M., Hosseini, H., Irajian, G., Ghaemi, E.A., Prevalence and molecular characterization of Listeria spp. and *Listeria monocytogenes* isolated from fish, shrimp, and cooked ready-to-eat(RTE) aquatic products in Iran. *LWT-Food Sci. Technol.,* **73**, 205-211 (2016).
10. Norton, D.M., McCamey, M.A., Gall, K.L., Scarlett, J.M., Boor, K.J., Wiedmann, M.. Molecular studies on the ecology of *Listeria monocytogenes* in the smoked fish processing industry. *Appl. Environ. Microbiol.,* **67**, 198-205 (2001).
11. Busani, L., Cigliano, A., Taioli, E., Caligiuri, V., Chiavacci, L., Di Bella, C., Battisti, A., Duranti, A., Gianfranceschi, M., Nardella, M.C., Ricci, A., Rolesu, S., Tamba, M., Marabelli, R., Caprioli, A., Prevalence of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* contamination in foods of animal origin in Italy. *J. Food Prot.,* **68**, 1729-1733 (2015).
12. Kramarenko, T., Roasto, M., Keto-Timonen, R., Mäesaar, M., Meremäe, K., Kuningas, M., Horman, A., Korkeala, H., *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat vacuum and modified atmosphere packaged meat and fish products of Estonian origin at retail level. *Food Control,* **67**, 48-52 (2016).
13. Wieczorek, K., Osek, J., Prevalence, genetic diversity and antimicrobial resistance of *Listeria monocytogenes* isolated from fresh and smoked fish in Poland. *Food Microbiol.,* **64**, 164-171 (2017).
14. Food and Drug Administration, (2021, March 26). Foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins handbook. Retrieved from https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnado152.pdf
15. Ministry of Food and Drug Safety, (2019, August 16). The study of minimum infective dose and dose-response models for foodborne pathogens. Retrieved from https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO201300028880&dbt=TRKO&rn=
16. Allerberger, F., Wagner, M., Listeriosis: A resurgent foodborne infection. *Clin. Microbiol. Infect.,* **16**, 16-23 (2010).
17. Vít, M., Olejník, R., Dlhý, J., Karpíšková, R., Cástková, J., Príkazský, V., Príkazská, M., Beneš, C., Petráš, P., Outbreak of listeriosis in the Czech Republic, late 2006-preliminary report. *Euro Sureill*., **12**, E070208.1 (2007).
18. Pichler, J., Much, P., Kasper, S., Fretz, R., Auer, B., Kathan, J., Mann, M., Huhulescu, S., Ruppitsch, W., Pietzka, A., Silberbauer, K., Neumann, C., Gschiel, E., Martin, A.D., Schuetz, A., Gindl, J., Neugschwandtner, E., Allerberger, F., An outbreak of febrile gastroenteritis associated with jellied pork contaminated with *Listeria monocytogenes*. *Wien. Klin. Wochenschr.,* **121**, 149-156 (2009).
19. World Health Organization, (2019, August 14). 2019 Listeriosis-South Africa. Retrieved from https://www.who.int/csr/don/28-march-2018-listeriosis-south-africa/en/
20. European Food Safety Authority, (2019, August 20). 2005 Commission Regulation (EC) No 2073/2005 on microbiological criteria for foods. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32005R2073
21. Health Canada, (2019, August 14). 2011 Policy on *Listeria monocytogenes* inready to eat foods. Retrieved from https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/fn-an/alt_formats/pdf/legislation/pol/policy_listeria_monocytogenes_2011-eng.pdf
22. Food and Drug Administration, (2021, March 18). Draft guidance for industry: Control of listeria monocytogenes in ready-to-eat foods. Retrieved from https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/draft-guidance-industry-control-listeria-monocytogenes-ready-eat-foods
23. Codex Alimentarius, (2019, August 15). Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment. Retrieved from http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B30-1999%252FCXG_030e_2014.pdf
24. Rocourt, J., BenEmbarek, P., Toyofuku, H., Schlundt, J., Quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods: the FAO/WHO approach. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.,* **35**, 263-267 (2003).
25. Pérez-Rodríguez, F., van Asselt, E.D., García-Gimeno, R.M., Zurera, G., Zwietering, M.H., Extracting additional

risk managers information from a risk assessment of *Listeria monocytogenes* in deli meats. *J. Food Prot.,* **70**, 1137-1152 (2007).
26. Carrasco, E., Pérez-Rodríguez, F., Valero, A., García-Gimeno, R.M., Zurera, G., Risk assessment and management of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat lettuce salads. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.,* **9**, 498-512 (2010).
27. Franz, E., Tromp, S.O., Rijgersberg, H., van der Fels-Klerx, H.J., Quantitative microbial risk assessment for *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in leafy green vegetables consumed at salad bars. *J. Food Prot.,* **73**, 274-285 (2010).
28. Foerster, C., Figueroa, G., Evers, E., Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in poultry and beef. *Br. Food J.,* **117**, 779-792 (2015).
29. Lindqvist, R., Westöö, A., Quantitative risk assessment for *Listeria monocytogenes* in smoked or gravad salmon and rainbow trout in Sweden. *Int. J. Food Microbiol.,* **58**, 181-196 (2000).
30. Pouillot, R., Goulet, V., Delignette-Muller, M.L., Mahé, A., Cornu, M., Quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in French cold-smoked salmon: II. Risk characterization. *Risk Anal.,* **29**, 806-819 (2009).
31. Pasonen, P., Ranta, J., Tapanainen, H., Valsta, L., Tuominen, P., *Listeria monocytogenes* risk assessment on cold smoked and salt-cured fishery products in Finland-A repeated exposure model. *Int. J. Food Microbiol.,* **304**, 97-105 (2019).
32. Vose, D.J., The application of quantitative risk assessment to microbial food safety. *J. Food Prot.,* **61**, 640-648 (1998).
33. Sanaa, M., Coroller, L., Cerf, O., Risk assessment of listeriosis linked to the consumption of two soft cheeses made from raw milk: Camembert of Normandy and Brie of Meaux. *Risk Anal.,* **24**, 389-399 (2004).
34. Gibson, A.M., Bratchell, N., Roberts, T., The effect of sodium chloride and temperature on the rate and extent of growth of *Clostridium botulinum* type A in pasteurized pork slurry. *J. Appl. Bacteriol.,* **62**, 479-490 (1987).
35. Davey, K.R., Applicability of the davey (linear arrhenius) predictive model to the lag phase of microbial growth. *J. Appl. Bacteriol.,* **70**, 253-257 (1991).
36. 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).
37. McMeekin, T.A., Olley, J.N., Ross, T., Ratkowsky D.A., Predictive microbiology: Theory and application. *Biotechnologia*, **2**, 94 (1993).
38. Choi, E.J., Kim, M.H., Bahk, G.J., Sanitary conditions for cold and frozen food storage warehouses in Korea. *J. Food Hyg. Saf.,* **26**, 283-288 (2011).
39. Jung, H., Consumer survey and hazard analysis for the improvement of food hygiene and safety in purchase. Master's thesis, Korea University, Seoul, Korea (2011).
40. Korea Meteorological Administration, (2019, August 15). 2018 Weather information. Retrieved from https://web.kma.go.kr/eng/index.jsp
41. Ministry of Food and Drug Safety, (2019, August 5). Food intake for microbial risk assessment. Retrieved from https://policy.nl.go.kr/search/searchDetail.do?rec_key=SH1_U-MO20140092676&kwd=#dummy
42. Golden, N.J., Crouch, E.A., Latmer, H., Kadrt, A.R., Kause, J., Risk assessment for *Clostridium perfringens* in ready-to-eat and partially cooked meat and poultry products. *J. Food Prot.,* **72**, 1376-1384 (2009).
43. Palisade, (2019 August 14). 2016 @RISK User's Guide. Retrieved from http://www.palisade.com/downloads/documentation/75/EN/RISK7_EN.pdf
44. Cho, J.I., Lee, S.H., Lim, J.S., Kwak, H.S., Hwang, I.G., Predictive mathematical model for the growth kinetics of *Listeria monocytogenes* on smoked salmon. *J. Food Hyg. Saf.,* **26**, 120-124 (2011).
45. Gimenez, B., Dalgaard, P.. Modelling and predicting the simultaneous growth of *Listeria monocytogenes* and spoilage micro-organisms in cold-smoked salmon. *J. Appl. Microbiol.,* **96**, 96-109 (2004).
46. Sperber, W.H., Influence of water activity on foodborne bacteria—a review. *J. Food Prot.,* **46**, 142-150 (1983).
47. Ministry of Food and Drug Safety, (2021, February 23). Food Code. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=13