pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 35, No. 6, pp. 552~560 (2020)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2020.35.6.552

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

위해평가를 통한 치즈에서의 *Listeria monocytogenes* 식중독 발생 가능성 분석

하지명[1] · 이지연[2]*
[1]숙명여자대학교 위해분석연구센터, [2]동의대학교 식품영양학과

Quantitative Risk Assessment of *Listeria monocytogenes* Foodborne Illness Caused by Consumption of Cheese

Jimyeong Ha[1], Jeeyeon Lee[2]*
[1]*Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea*
[2]*Department of Food & Nutrition, Dong-eui University, Busan, Korea*

(Received November 25, 2020/Revised December 5, 2020/Accepted , December 5, 2020)

ABSTRACT-*Listeria monocytogenes* is a highly pathogenic gram-positive bacterium that is easily isolated from cheese, meat, processed meat products, and smoked salmon. A zero-tolerance (n=5, c=0, m=0/25 g) criteria has been applied for *L. monocytogenes* in cheese meaning that *L. monocytogenes* must not be detected in any 25 g of samples. However, there was a lack of scientific information behind this criteria. Therefore, in this study, we conducted a risk assessment based on literature reviews to provide scientific information supporting the baseline and to raise public awareness of *L. monocytogenes* foodborne illness. Quantitative risk assessment of *L. monocytogenes* for cheese was conducted using the following steps: exposure assessment, hazard characterization, and risk characterization. As a result, the initial contamination level of *L. monocytogenes* was -4.0 Log CFU/g in cheese. The consumption frequency of cheese was 11.8%, and the appropriate probability distribution for amount of cheese consumed was a Lognormal distribution with an average of 32.5 g. In conclusion, the mean of probabilities of foodborne illness caused by the consumption of cheese was 5.09×10^{-7} in the healthy population and 4.32×10^{-6} in the susceptible population. Consumption frequency has the biggest effect on the probability of foodborne illness, but storage and transportation times have also been found to affect the probability of foodborne illness; thus, management of the distribution environment should be considered important. Through this risk assessment, scientific data to support the criteria for *L. monocytogenes* in cheese could be obtained. In addition, we recommend that further risk assessment studies of *L. monocytogenes* in various foods be conducted in the future.

Key words: Quantitative risk assessment, *Listeria monocytogenes*, Cheese, @RISK

*Listeria monocytogenes*는 그람 양성의 통성혐기성 간균이며 저온성 세균으로 알려져 있다[1-3]. *L. monocytogenes*는 소량의 세균(1,000 cells 이하)으로도 질병을 발생시킬 수 있는데, 노약자, 어린아이, AIDS 환자 등 면역력이 저하된 사람이 *L. monocytogenes*에 감염되었을 경우에는 패혈증과 사망에 이르게 될 수 있고, 임산부에게는 유산, 사산, 기형아 출산 등의 고통을 초래할 수 있다[4]. *L. monocytogenes*는 감염되었을 경우 치사율(case fatality rate)이 높으며[5], 다양한 스트레스(저온, 산, 염 등)에서 생존 및 증식이 가능한 세균이다[6,7]. *L. monocytogenes*는 식육과 식육가공품, 훈제연어, 우유, 치즈, 아이스크림 등의 축·수산식품에 주로 존재하며, 이들이 *L. monocytogenes* 식중독의 주요 원인식품으로 알려져 있다[5].

최근 목장형 유가공 산업의 확대, 비살균 원유치즈에 대한 관심 증가 등으로 인하여 유가공품의 형태가 다양화되고 배달·택배 등의 유통수단을 통해 유가공품에 대한 접근성이 용이해짐에 따라 다양한 유가공품이 소비되고 있으며, 특히 치즈의 경우 소비량이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다[8,9]. 과거에는 치즈가 주로 간식으로써 소비되었

*Correspondence to: Jeeyeon Lee, Department of Food & Nutrition, Dong-eui University, Busan 47340, Korea
Tel: +82-51-890-1596, Fax: +82-505-182-6873
E-mail: jylee@deu.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.

다면, 현재에는 각종 요리에 활용되며 술안주 등으로 다양하게 소비되면서 치즈 소매시장의 규모는 2013년 3,113억 원에서 2017년 3,568억 원으로 대략 15%의 증가율을 보였고, 수입치즈는 품질 대비 가격경쟁력이 우수하여 수입량의 증가도 나타났다[8].

현재 국내 유가공품의 *L. monocytogenes* 관리기준은 모든 유가공품(13종; 우유류, 가공유류, 버터류, 치즈류 등)에 대하여 불검출 기준(n=5, c=0, m=0/25 g)을 적용하고 있다[10]. 그럼에도 불구하고, 국내에서 유통 및 판매되는 치즈에서 *L. monocytogenes*가 검출되어 부적합 판정을 받은 바 있다[11,12]. 다행스럽게도 국내에서 치즈로 인한 *L. monocytogenes* 식중독 발생 사례는 아직 보고되지 않았으나, 국외에서는 몇몇 사고가 보고되었으며 사망도 발생하였다. 2014년 미국에서는 치즈를 섭취하고 5명이 식중독 증세를 보였으며, 그 중 1명이 사망하였고[13], 2017년에는 살균하지 않은 우유(비살균 원유)로 만든 소프트 치즈를 섭취하고 8명의 식중독 환자가 발생하였으며, 2명이 사망하는 사건도 있었다[14]. 수입치즈는 품질 대비 가격경쟁력이 우수하여 국내에 지속적으로 수입되고 있는데, 식중독 사고가 발생한 수입치즈를 수입하게 된다면 국내에서의 *L. monocytogenes* 식중독 사고도 결코 안심할 수 없다. 또한 유가공품에 대한 *L. monocytogenes*는 불검출 기준으로 관리하고 있으나 이에 대한 과학적 근거가 부족하고, 국내에서 식중독 사고가 보고된 바 없기 때문에 *L. monocytogenes*에 대한 경각심이 다소 낮은 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 기존에 수행된 다양한 연구들의 자료를 수집하고 분석하여 치즈에서의 *L. monocytogenes* 위해성을 검토해보고자 한다.

Materials and Methods

노출평가(Exposure assessment)

국내에서 수행된 치즈에서의 *L. monocytogenes* 오염실태 연구 데이터를 수집하였으며, 이를 Vose[15]의 Beta distribution 및 Sanaa 등[16]의 방정식에 적용시켜 치즈에서의 *L. monocytogenes* 초기오염수준을 산출하였다. Beta distribution은 α와 β를 parameter로 갖는 확률분포로, α는 '병원성 세균이 검출된 시료의 수(양성시료수)+1'이고, β는 '전체 시료수-양성 시료수+1'을 의미한다. 국내·외 연구논문들을 조사하여 치즈에서의 *L. monocytogenes* 생장 예측모델을 수집하고 이를 위해평가 시뮬레이션 모델에 적용하였다. 국내에서 치즈가 유통되는 채널(대형마트, 편의점 등)에 대한 문헌조사를 실시하였으며, 그 중 대표되는 유통채널에 대한 유통환경(온도, 시간) 조사 자료를 수집하여 유통 중 치즈가 노출된 환경에 대한 *L. monocytogenes* 생장 정도를 예측하는데 활용하였다. 치즈의 섭취자 비율과 섭취량을 도출하기 위하여 질병관리본부에서 실시한 2018년 국민건강영양조사의 원시자료 중 24시간 회상법 자료를 활용하였다[17]. 24시간 회상법 자료에서 치즈를 섭취했다고 응답한 인원과 섭취량 데이터를 SAS® version 9.3(SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 추출하고, 추출한 자료에 대해 응답자 중복성 검사를 실시하였다. 섭취자 비율은 '하루 한 번 해당 식품을 섭취했다고 응답한 사람의 비율(%)'을 의미하며, 2018년 국민건강영양조사 대상자 전체의 인원 대비 치즈를 섭취했다고 응답한 사람의 수를 통해 계산하였다. 섭취량은 '한 사람이 하루에 해당 식품을 섭취한 양'을 의미하며, 치즈를 섭취했다고 응답한 사람들의 섭취량을 @RISK (Palisade Corporation, Ithaca, NY, USA)의 fitting 기능으로 분석하여 최적의 확률분포모델 결정 및 평균 섭취량을 추산하였다.

위험성 결정(Hazard characterization)

병원성 세균의 노출량(dose)에 따른 질병의 정도(response)를 수학적으로 예측할 수 있도록 만든 모델이 용량-반응 모델이다. 용량-반응 모델은 대게 동물모델을 통해 개발할 수 있으며, 기 개발된 용량-반응 모델을 위해평가에 적용할 수 있다. 치즈에서의 *L. monocytogenes* 식중독 위해평가를 수행하기 위해 *L. monocytogenes*를 대상으로 개발된 용량-반응 모델에 대한 문헌조사를 실시하였으며, 이를 치즈 섭취(dose)로 인한 *L. monocytogenes* 식중독 발생 가능성(response) 분석에 활용하였다.

위해도 결정(Risk characterization)

노출평가와 위험성 결정에서 수집한 치즈에서의 *L. monocytogenes* 오염실태, 치즈의 유통채널 및 유통환경과 섭취자 비율 및 섭취량, *L. monocytogenes*의 용량-반응 모델을 활용하여 치즈에서의 *L. monocytogenes* 위해평가 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 위해평가 시뮬레이션 모델은 Excel spreadsheet에 디자인하였으며 @RISK를 이용하여 분석하였다. 10,000번의 시뮬레이션을 진행하여 치즈 섭취로 인한 *L. monocytogenes* 식중독 발생 가능성을 도출하였다. 또한 위해평가 시뮬레이션 모델에 대입된 변수들을 대상으로 *L. monocytogenes* 위해도와의 상관성을 분석하였으며, 이를 토대로 위해도에 가장 큰 영향을 미치는 변수를 확인하였다.

Results and Discussion

치즈에서의 *Listeria monocytogenes* 초기오염수준

치즈에서의 *L. monocytogenes* 오염실태 데이터를 수집한 결과, 총 242건의 치즈 시료 모두에서 *L. monocytogenes*가 불검출되었다[18-22]. 이러한 불검출 데이터를 Beta distribution에 대입하였다. 본 연구에서 수집된 오염실태 데이터를 대입하면 α=1, β=243이다. Sanaa 등[16]은 자연로그를 이용하여 초기오염수준을 추정하는 식(-ln(1-Beta

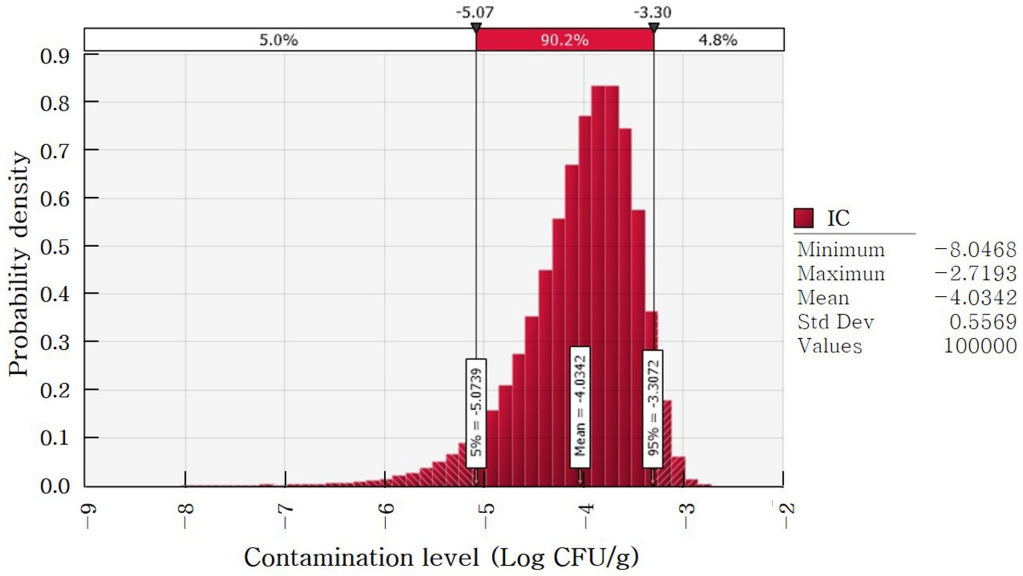

Fig. 1. Initial contamination level of *Listeria monocytogenes* in cheese.

distribution)/시료무게)을 개발하였으며, 그 결과, 치즈에서의 *L. monocytogenes* 초기오염수준은 -4.0 Log CFU/g인 것으로 추정되었다(Fig. 1). 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)의 경우, 위해평가의 초기오염도 추정 결과 -2.4 Log CFU/g에서 -2.7 Log CFU/g으로 나타났으며, 이와 비교하였을 때 *L. monocytogenes*의 초기오염도가 다소 낮은 것으로 판단된다[23].

Listeria monocytogenes 예측모델

치즈에서 *L. monocytogenes*의 생장을 예측하기 위해 Lobacz 등[24]의 논문을 참고하였다. 해당 논문에서는 까망베르 치즈에서 *L. monocytogenes* 생장을 예측하기 위해 Baranyi 모델과 polynomial model을 이용하였다. 그 결과, 치즈에서의 *L. monocytogenes* 생장율에 대한 2차 모델은 아래와 같이 도출되었다.

$$\text{LN(growth rate)} = 0.0089 - 0.0011 \times \text{Temperature} + 0.0003 \times \text{Temperature}^2$$

치즈의 유통채널 및 유통환경

치즈는 B2B(기업 간 거래)와 B2C(기업과 소비자 간 거래)의 비율이 3:7인 유통구조를 가지고 있다[8]. 또한 치즈를 판매하는 유통채널은 대형할인점(대형할인마트), 백화점, 체인슈퍼(기업형 슈퍼마켓인 SSM이나 체인점을 보유한 슈퍼), 독립슈퍼(80평 이상의 중대형 규모의 개인 슈퍼마켓), 편의점, 일반식품점(80평 미만의 중소형 규모의 슈퍼마켓이나 식품판매점)이 있으며, 2019년의 치즈 판매액 기준으로 치즈가 가장 많이 판매되는 유통채널은 대형할인점으로 확인되었다. 2019년 치즈 판매액은 약 3,504억원이며, 이 중 51.0%에 해당하는 1,785억원이 대형할인점을 통해 유통되었다[25](Table 1).

Table 1. Distribution channel analysis of cheese based on cheese sales in 2019

Channel	Sales (million, ₩)	Percentage (%)
Large discount mart	178,535	51.0
Mart in department store	9,378	2.7
Chain mart	68,537	19.6
Non-chain mart	46,427	13.3
Convenience store	31,241	8.9
General food store	16,258	4.6
Total	350,377	100.0

치즈의 절반 이상이 대형할인점을 통해 유통·판매되고 있음을 확인하였으며, 이에 따라 치즈의 유통단계는 Lee 등[23]의 논문을 참고하여 (1) 치즈 가공장에서 대형할인점까지, (2) 대형할인점에서의 보관, (3) 대형할인점에서의 진열, (4) 대형할인점에서 가정까지, (5) 가정에서의 보관으로 구분하였다. 단계 별 치즈가 노출되는 온도와 시간은 Lee 등[23], Latorre 등[26]과 Jung[27]의 연구를 통해 확인하였다. 치즈 가공장의 관리자에 의하면 4°C(최소 0°C, 최대 10°C)의 온도 내에서 3시간(최소 1시간, 최대 6시간) 만에 치즈 가공장에서 대형할인점까지 치즈가 유통된다고 하였다[23,26]. 대형할인점으로 유통된 치즈는 판매 전까지 창고에 보관되는데, 대형할인점 관계자에 따르면 치즈가 2-4°C 내외에서 대략 2시간(최소 0시간, 최대 48시간) 동안 보관

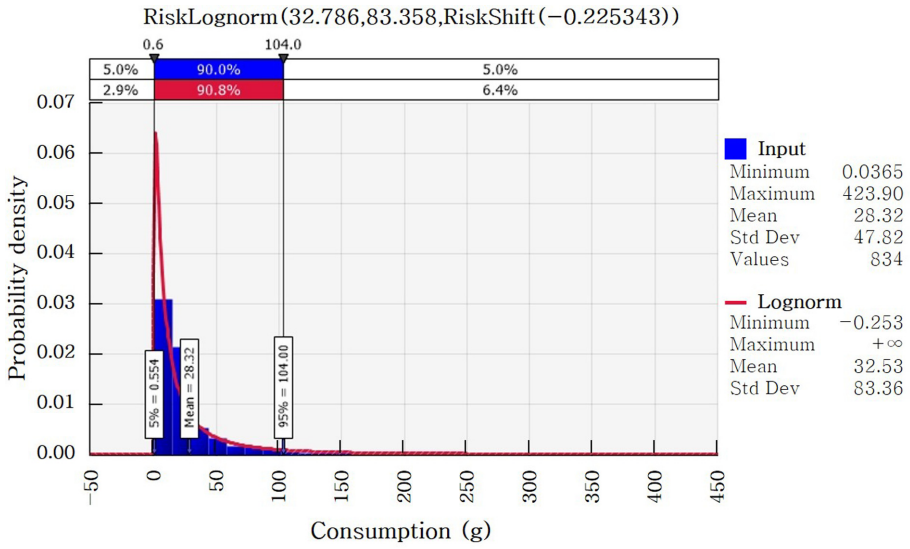

Fig. 2. Probabilistic distribution of consumption amount of cheese in 2018.

된다고 하였다[23]. 창고에 보관 중이던 치즈를 판매하기 위해 진열대에 진열해두는데, 진열대의 온도는 평균 6.6°C(최소 0.6°C, 최대 15.2°C)이며, 진열시간은 48시간(최소 0시간, 최대 168시간)으로 나타났다[23]. 소비자가 구매한 치즈를 가정으로 운반할 때는 보통 18°C(최소 10°C, 최대 25°C)의 온도에서 59.0분(최소 19.5분, 최대 98.6분) 동안의 운반시간을 거친다고 하였다[27]. 마지막으로 가정에서 치즈를 섭취하기 전까지 치즈를 보관하는 온도는 가정냉장고의 온도를 측정하여 도출되었는데, 평균 4.0°C에서 대략 250.2시간 정도 보관되는 것으로 확인되었다[23]. 치즈의 유통환경에 대한 데이터는 @RISK의 확률분포 기능을 적용시켜 시뮬레이션 모델 개발 시 이용하였으며, 이 때 활용된 확률분포는 Pert distribution, Uniform distribution, Normal distribution, Triangular distribution, Log-Logistic distribution이다(Table 2).

치즈의 섭취자 비율 및 섭취량

2018년에 수행된 국민건강영양조사의 전체 응답자는 7,069명이며, 이 중 '치즈' 함유식품을 섭취했다고 응답한 인원은 834명으로 추출되었다. 따라서 전체 인원 중 하루에 한번 치즈를 섭취하는 섭취자의 비율은 11.8%로 나타났으며, 이를 Discrete distribution에 입력 변수로 사용하였다. 또한 치즈를 섭취했다고 응답한 응답자의 섭취량을 분석한 결과 치즈의 1일 평균 섭취량은 28.3 g으로 나타났다. 섭취자의 섭취량을 @RISK의 fitting 기능을 활용하여 최적확률분포 모델을 추정하였으며, 그 결과 치즈 섭취량에 대한 최적확률분포 모델은 Lognormal distribution [32.786, 83.358, Shift(-0.25343)]으로 나타났고, 이를 통해 계산된 치즈를 섭취하는 사람들의 1일 평균 섭취량은 32.5 g으로 확인되었다(Fig. 2).

*Listeria monocytogenes*의 용량-반응 모델

용량-반응 모델에는 크게 세 가지 형태가 있으며, Beta-Poisson model, Exponential model, Weibull-Gamma model이다[28]. Park 등[28]의 연구에 따라 *L. monocytogenes*의 용량-반응 모델은 Exponential model이 적합한 것으로 확인되었으며, 따라서 *L. monocytogenes*의 용량-반응 모델은 WHO/FAO[29]가 제시한 것을 활용하였다. Exponential model은 r 값을 parameter로 하는 용량-반응 모델로 FAO/WHO[29]는 일반군(건강한 집단; Healthy population)과 임산부, 노약자 등의 취약군(Susceptible population)을 구분하여 r 값을 제시하였으며, 이 때 일반군의 경우 $r=2.37\times10^{-14}$, 취약군의 경우 $r=1.06\times10^{-12}$으로 확인되었다.

치즈에서의 *Listeria monocytogenes* 위해평가

치즈에서의 *L. momocytogenes* 초기오염수준, 치즈의 유통환경과 섭취자 비율 및 섭취량에 대한 확률분포, 치즈에서의 *L. monocytogenes* 생장예측모델, *L. monocytogenes* 용량-반응 모델을 바탕으로 위해평가 시뮬레이션 모델을 개발하였다(Table 2). @RISK로 위해평가 시뮬레이션을 수행한 결과, 치즈를 섭취함으로써 *L. monocytogenes* 식중독이 발생하게 될 가능성(위해도, Risk)은 일반군에서 평균 5.09×10^{-7}으로 나타났다. 민감군에서는 평균 4.32×10^{-6}의 위해도가 확인되어 일반군보다 식중독 발생 가능성이 다소 높은 것으로 확인되었다. 입력 변수 중 위해도에 영향을 미치는 요인을 분석한 결과, 치즈의 섭취자 비율이 위해도에 가장 큰 영향을 미치며, 가정에서의 치즈 보관 시간, 대형할인점에서 가정으로 치즈를 운반하는 시간 순으로 나타났다(Fig. 3). 이는 치즈의 섭취를 자주 할수록, 치즈의 보관 및 운반시간이 길수록 *L. monocytogenes* 식중독 발생 위험성이 높아진다는 것을 시사한다.

Table 2. Risk assessment simulation model for calculating the probability of foodborne illness caused by consumption of *Listeria monocytogenes* contaminated-cheese with @RISK

Input model	Unit	Variable	Formula	Reference
PRODUCT				
Pathogens contamination level				
L. monocytogenes prevalence		PR	=RiskBeta(1,243)	15, 18-22
Initial contamination level	CFU/g	C	=-LN(1-PR)/25	16
	Log CFU/g	IC	=Log(C)	
TRANSPOTATION-1				
Transportation time	$time_{trans1}$	h	=RiskPert(1,3,6)	23,26
Transportation temperature	$Temp_{trans1}$	°C	=RiskPert(0,4,10)	23
Growth				
h_0		h_0	=average(growth rate×lag phase duration), Fixed 4.19	24
Y_0	Log CFU/g	Y_0	Fixed 3	24
Y_{end}	Log CFU/g	Y_{end}	Fixed 8	24
LN(q)		LN(q)	=LN(1/EXP(h_0)-1)	24
Growth rate	Log CFU/g/h	GR_{trans1}	=EXP(0.0089-0.0011×$Temp_{trans1}$+0.0003×$Temp_{trans1}^2$)	24
L. monocytogenes growth	Log CFU/g	C1	=IC+1/(1+EXP(-LN(q)))×(1-$10^{-\|Y0-Yend\|}$/LN(10))×GR_{trans1}×$time_{trans1}$	24,30
MARKET				
Storage				
Storage time	$time_{mark-st}$	h	=RiskPert(0,2,48)	23
Storage temperature	$Temp_{mark-st}$	°C	=RiskUniform(2,4)	23
Growth				
h_0		h_0	=average(growth rate×lag phase duration), Fixed 4.19	24
Y_0	Log CFU/g	Y_0	Fixed 3	24
Y_{end}	Log CFU/g	Y_{end}	Fixed 8	24
LN(q)		LN(q)	=LN(1/EXP(h_0)-1)	24
Growth rate	Log CFU/g/h	$GR_{mark-st}$	=EXP(0.0089-0.0011×$Temp_{mark-st}$+0.0003×$Temp_{mark-st}^2$)	24
L. monocytogenes growth	Log CFU/g	C2	=C1+1/(1+EXP(-LN(q)))×(1-$10^{-\|Y0-Yend\|}$/LN(10))×$GR_{mark-st}$×$time_{mark-st}$	24,30
Display				
Display time	$time_{mark-dis}$	h	=RiskPert(0,48,168)	23
Display temperature	$Temp_{mark-dis}$	°C	=RiskTriang(0.60703,4.1000,15.18)	23
Growth				
h_0		h_0	=average(growth rate×lag phase duration), Fixed 4.19	24
Y_0	Log CFU/g	Y_0	Fixed 3	24
Y_{end}	Log CFU/g	Y_{end}	Fixed 8	24
LN(q)		LN(q)	=LN(1/EXP(h_0)-1)	24
Growth rate	Log CFU/g/h	$GR_{mark-dis}$	=EXP(0.0089-0.0011×$Temp_{mark-dis}$+0.0003×$Temp_{mark-dis}^2$)	24
L. monocytogenes growth	Log CFU/g	C3	=C2+1/(1+EXP(-LN(q)))×(1-$10^{-\|Y0-Yend\|}$/LN(10))×$GR_{mark-dis}$×$time_{mark-dis}$	24,30
TRANSPORTATION-2				
Transportation time	$time_{trans2}$	h	=RiskPert(0.325,0.984,1.643)	23,27
Transportation temperature	$Temp_{trans2}$	°C	=RiskPert(10,18,25)	23,27
Growth				
h_0		h_0	=average(growth rate×lag phase duration), Fixed 4.19	24
Y_0	Log CFU/g	Y_0	Fixed 3	24
Y_{end}	Log CFU/g	Y_{end}	Fixed 8	24
LN(q)		LN(q)	=LN(1/EXP(h_0)-1)	24

Table 2. (Continued) Risk assessment simulation model for calculating the probability of foodborne illness caused by consumption of *Listeria monocytogenes* contaminated-cheese with @RISK

Input model	Unit	Variable	Formula	Reference
Growth rate	Log CFU/g/h	GR_{trans2}	$=EXP(0.0089-0.0011\times Temp_{trans2}+0.0003\times Temp_{trans2}^{2})$	24
L. monocytogenes growth	Log CFU/g	C4	$=C3+1/(1+EXP(-LN(q)))\times(1-10^{-\lvert Y0-Yend\rvert}/LN(10))\times GR_{trans2}\times time_{trans2}$	24,30
HOME				
Storage time	$time_{home-st}$	h	=RiskNormal(250.1742,176.0175, RiskTruncate(0,4320))	23
Storage temperature	$Temp_{home-st}$	°C	=RiskLogLogistic(-29.283,33.227,26.666, RiskTruncate(-5,20))	23
Growth				
h_0		h_0	=average(growth rate×lag phase duration), Fixed 4.19	24
Y_0	Log CFU/g	Y_0	Fixed 3	24
Y_{end}	Log CFU/g	Y_{end}	Fixed 8	24
LN(q)		LN(q)	$=LN(1/EXP(h_0)-1)$	24
Growth rate	Log CFU/g/h	$GR_{home-st}$	$=EXP(0.0089-0.0011\times Temp_{home-st}+0.0003\times Temp_{home-st}^{2})$	24
L. monocytogenes growth	Log CFU/g	C5	$=C4+1/(1+EXP(-LN(q)))\times(1-10^{-\lvert Y0-Yend\rvert}/LN(10))\times GR_{home-st}\times time_{home-st}$	24,30
CONSUMPTION				
Daily consumption frequency	%	ConFre	Fixed 11.8	17
		CF(0)	1-11.8/100	17
		CF(1)	11.8/100	17
		CF	=RiskDiscrete({0,1},{CF(0),CF(1)})	17
Daily consumption amount	g	Consump	=RiskLognorm(32.786,83.358,Riskshift(-0.25343), RiskTruncate(0.03,425))	17
Final consumption amount	g	Amount	=IF(CF=0,0,Consump)	
DOSE-RESPONSE				
L. monocytogenes dose	CFU	D	$=10^{C5}\times$Amount	
Exponential parameter of *L. monocytogenes*		r_{health}	Fixed 2.37×10^{-14}	29
		$r_{susceptible}$	Fixed 1.06×10^{-12}	29
RISK				
Probability of illness/person/day		$Risk_{health}$	$=1-EXP(-r_{health}\times D)$	29
		$Risk_{susceptible}$	$=1-EXP(-r_{susceptible}\times D)$	29

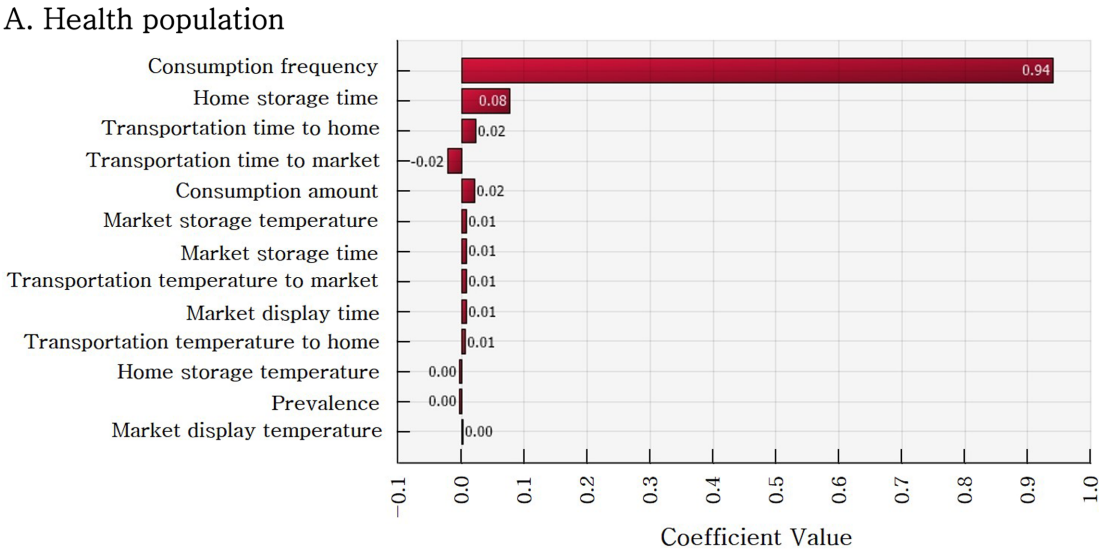

Fig. 3. Correlation coefficient values of input factors, affecting the probability of *L. monocytogenes* foodborne illness per person per day caused by cheese consumption.

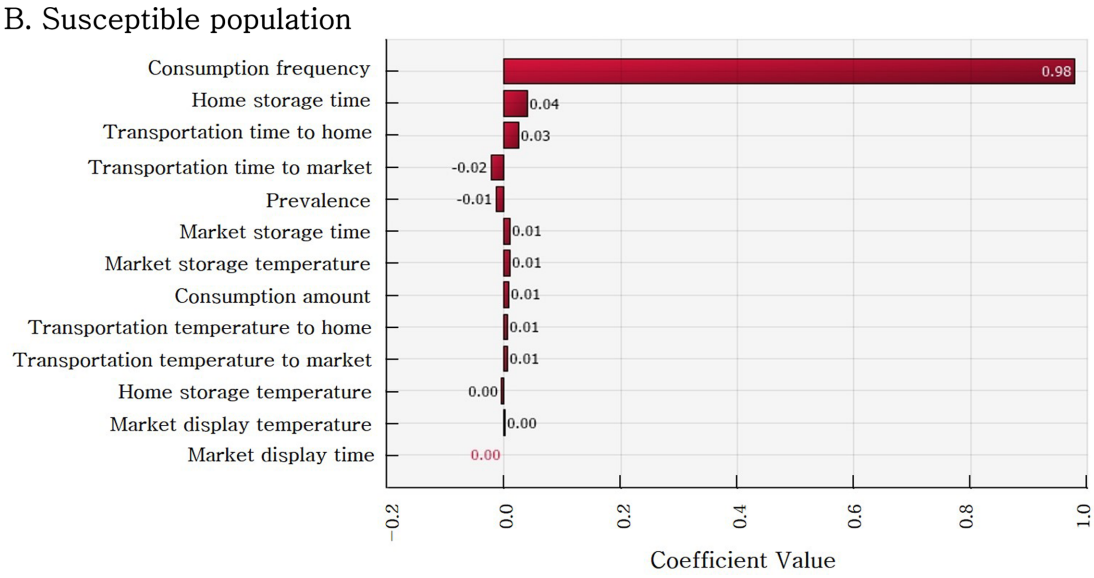

Fig. 3. (Continued) Correlation coefficient values of input factors, affecting the probability of *L. monocytogenes* foodborne illness per person per day caused by cheese consumption.

Conclusion

*L. monocytogenes*는 고병원성 식중독 세균으로 치즈, 식육 및 식육가공품, 아이스크림 등을 섭취함으로써 감염될 수 있다. 본 연구 결과, 치즈의 섭취 뿐만 아니라 유통환경(보관 및 운송시간 등)의 관리가 치즈로 인한 *L. monocytogenes* 식중독의 발생 가능성에 영향을 미치는 것을 확인하였고, 유통환경의 관리가 식중독 발생 가능성을 낮출 수 있는 중요한 요인이 될 수 있다는 것을 상기시켰다. *L. monocytogenes*는 고병원성 식중독 세균임에도 불구하고 국내에서는 식중독 사고 사례가 보고된 바 없기 때문에 이에 대한 경각심이 낮았다. 본 연구에서 수행된 치즈에서의 *L. monocytogenes*에 대한 위해평가를 통해 *L. monocytogenes*에 대한 국내의 연구자료(오염실태, 예측모델 등)가 부족하다는 것을 확인하였으며, 향후 다양한 식품에서 *L. monocytogenes*로 인한 식중독 발생 가능성을 평가하기 위해서는 위해평가의 연구가 수행될 필요가 있다고 사료된다.

Acknowledgement

This work was supported by Dong-eui University Grant (202003350001).

국문요약

*L. monocytogenes*는 고병원성 식중독 세균으로 치즈, 식육 및 식육가공품, 훈제연어 등을 통해 식중독을 일으킨다. 현재 국내 식품공전 상 치즈에서는 *L. monocytogenes*에 대하여 불검출 기준을 적용하고 있으나, 이에 대한 과학적 근거가 확실하지 않고 *L. monocytogenes* 식중독에 대한 국민의 경각심을 일깨우기 위하여 기존에 수행된 연구들을 토대로 위해평가를 실시하였다. 그 결과, 치즈에 *L. monocytogenes*의 초기오염수준은 -4.0 Log CFU/g으로 확인되었다. 2018년 국민건강영양조사 결과 치즈의 섭취자 비율은 11.8%이고, 치즈 섭취량에 대한 최적확률분포는 Lognormal distribution이며 평균 32.5 g의 치즈를 섭취하는 것으로 확인되었다. 치즈 섭취로 인한 *L. monocytogenes* 식중독 발생 가능성은 일반군에서 평균 5.09×10^{-7}, 민감군에서 평균 4.32×10^{-6}로 분석되어, 민감군에서의 식중독 발생 가능성이 다소 높은 것으로 확인되었다. 식중독 발생 가능성에는 섭취자 비율이 가장 큰 영향을 미치지만 보관 및 운송 시간 또한 영향을 미치는 것으로 확인되어 유통환경에 대한 철저한 관리가 중요한 것으로 사료된다. 본 위해평가를 통하여 치즈에서의 *L. monocytogenes*의 기준규격을 뒷받침 할 수 있는 과학적인 데이터를 확보할 수 있었다. 향후 다양한 식품에서의 *L. monocytogenes* 위해평가 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Jimyeong Ha https://orcid.org/0000-0001-7973-7926

Jeeyeon Lee https://orcid.org/0000-0002-5885-6835

References

1. Farber, J.M., Peterkin, P.I., *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. *Microbiol. Rev.*, **55**, 476-511 (1991).
2. Lee, J., Seo, Y., Ha, J., Kim, S., Choi, Y., Oh, H., Lee, Y., Kim, Y., Kang, J., Park, E., Yoon, Y., Influence of milk microbiota on *Listeria monocytogenes* survival during cheese ripening. *Food Sci. Nutr.*, **8**, 5071-5076 (2020).
3. Nho, S.W., Abdelhamed, H., Reddy, S., Karsi, A., Lawrence, M.L., Identification of high-risk *Listeria monocytogenes* serotypes in lineage I (serotype 1/2a, 1/2c, 3a and 3c) using multiplex PCR. *J. Appl. Microbiol.*, **119**, 845–852 (2015).
4. Food and Drug Administration (FDA), 2012. Bad Bug Book, Foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins, second ed. pp.99-103.
5. Buchanan, R.L., Gorris, L.G., Hayman, M.M., Jackson, T.C., Whiting, R.C., A review of *Listeria monocytogenes*: an update on outbreaks, virulence, dose-response, ecology, and risk assessments. *Food Control*, **75**, 1-13 (2017).
6. Bucur, F.I., Grigore-Gurgu, L., Crauwels, P., Riedel, C.U., Nicolau, A.I., Resistance of *Listeria monocytogenes* to stress conditions encountered in food and food processing environments. *Front. Microbiol.*, **9**, 2700 (2018).
7. Gahan, C.G., Hill, C., *Listeria monocytogenes*: survival and adaptation in the gastrointestinal tract. *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, **4**, 9 (2014).
8. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation (aT), 2018. Status of processed food segment market: butter/cheese/fermented milk. pp. 72-85.
9. Lee, J., Yoon, Y., Microbiological safety concerns with dairy products from farmstead plants. *J. Milk Sci. Biotech.*, **35**, 215-220 (2017).
10. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2020, November 23). Food code. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/03_02.jsp?idx=39
11. Food Safety Korea, (2020, November 23). Cases of non-suitable for domestic food, Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/fooddanger/testUnfitDom.do?menu_grp=MENU_NEW02&menu_no=2710&menu_no=2710&menu_grp=MENU_NEW02
12. Imported Food Information Maru, (2020, November 23). Cases of non-suitable for imported food, Retrieved from https://impfood.mfds.go.kr/CFCEE01F01/getList?page=2&limit=10&cntntsSn=&srchClassCd=&searchCondition=itemClass&searchInpText=%EC%B9%98%EC%A6%88
13. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), (2020, November 23). Oasis Brands, Inc. cheese recalls and investigation of human listeriosis cases. Retrieved from https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/cheese-10-14/index.html
14. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), (2020, November 23). Multistate outbreak of listeriosis linked to soft raw milk cheese made by Vulto Creamery. Retrieved from https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/soft-cheese-03-17/index.html
15. Vose, D., 1996. Quantitative Risk Analysis. A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling. John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, NJ, USA.
16. 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).
17. Korea Center for Disease Control and Prevention (KCDC), (2020, November 24). National Health Statistics in 2018. Retrieved from https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/sub03/sub03_02_02.do
18. Cho, S.H., Kim, Y.R., Antimicrobial effects of *Scutellariae Radix* extract against *Listeria monocytogenes*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **30**, 959-963 (2001).
19. Go, E.K., Park, H.J., Wee, S.H., Heo, E.J., Kim, Y.J., Moon, J.S., Prevalence of *Listeria monocytogenes* isolated from livestock processed products in Korea. *Kor. J. Vet. Publ. Hlth.*, **35**, 214-219 (2011).
20. Lee, J., Jang, K., Lee, S., Ha, J., Lee, H., Kim, S., Choi, Y., Oh, H., Yoon, Y., Prevalence of foodborne pathogens on cheeses made from farmstead milk processing plants in Korea. *Food Eng. Prog.*, **22**, 203-207 (2018).
21. Lim, H., Kim, S., Chon, J., Bae, D., Song, K., Jeong, D., Seo, K., Comparison of the sanitary conditions of raw milk cheese and pasteurized milk cheese sold in the market: A preliminary study. *J. Dairy Sci. Biotechnol.*, **37**, 33-39 (2019).
22. Korea Meat Industries Association, 2001. The results of sausage, ham and cheese safety survey. p.27.
23. Lee, H., Kim, K., Choi, K.H., Yoon, Y., Quantitative microbial risk assessment for *Staphylococcus aureus* in natural and processed cheese in Korea. *J. Dairy Sci.*, **98**, 5931-5945 (2015).
24. Lobacz, A., Kowalik, J., Tarczynska, A., Modeling the growth of *Listeria monocytogenes* in mold-ripened cheeses. *J. Dairy Sci.*, **96**, 3449-3460 (2012).
25. Food Information Statistics System (FIS), (2020, November 23). Retail store sales by item. Retrieved from https://www.atfis.or.kr/salesNew/M002021000/search.do?searchItem=CD00001508&searchDivision=CD00000601&searchCompany=2&searchYear=2019&searchQuarter=T&x=70&y=16
26. Latorre, A.A., Pradhan, A.K., Van Kessel, J.A.S., Karns, J.S., Boor, K.J., Rice, D.H., Mangione, K.J., Gröhn, Y.H., Schukken, Y.H., Quantitative risk assessment of listeriosis due to consumption of raw milk. *J. Food Prot.*, **74**, 1268-1281 (2011).
27. Jung, H., Consumer survey and hazard analysis for the improvement of food hygiene and safety in purchase. Degree of Master Dissertation. Korea University, Seoul, South Korea (2011).
28. Park, M.S., Cho, J.I., Lee, S.H., Bahk, G.J., A study on dose-response models for foodborne disease pathogens. *J. Food Hyg. Saf.*, **29**, 299-304 (2014).

29. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization (FAO/WHO), (2020, November 24). Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods: technical report. Microbiological Risk Assessment Series 5, Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42875/9241562625.pdf;jsessionid=2B28ED0B6EAFFED0F0C37D3BAD3605D3?sequence=1. pp. 55-60
30. Baranyi, J., Roberts, T.A., A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *Int. J. Food Microbiol.*, **23**, 277-294 (1994).