*J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 26, No. 1, pp. 25~30 (2011)

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

# 샐러드용 신선 채소에서의 *Listeria monocytogenes* 성장예측모델 개발

**조준일 · 이순호 · 임지수 · 곽효선 · 황인균***
식품의약품안전청 식품의약품안전평가원 식품위해평가부 미생물과

# Development of a Predictive Model Describing the Growth of *Listeria Monocytogenes* in Fresh Cut Vegetable

Joon-Il Cho, Soon-Ho Lee, Ji-Su Lim, Hyo-Sun Kwak, and In-Gyun Hwang*
*Food Microbiology Division, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Korea Food and Drug Administration 643 Yeonje-ri Gangoe-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do 363-951, Korea*
(Received September 7, 2010/Revised December 20, 2010/Accepted January 10, 2011)

**ABSTRACT** - In this study, predictive mathematical models were developed to predict the kinetics of *Listeria monocytogenes* growth in the mixed fresh-cut vegetables, which is the most popular ready-to-eat food in the world, as a function of temperature (4, 10, 20 and 30°C). At the specified storage temperatures, the primary growth curve fit well ($r^2$ = 0.916~0.981) with a Gompertz and Baranyi equation to determine the specific growth rate (SGR). The Polynomial model for natural logarithm transformation of the SGR as a function of temperature was obtained by nonlinear regression (Prism, version 4.0, GraphPad Software). As the storage temperature decreased from 30°C to 4°C, the SGR decreased, respectively. Polynomial model was identified as appropriate secondary model for SGR on the basis of most statistical indices such as mean square error (MSE = 0.002718 by Gompertz, 0.055186 by Baranyi), bias factor (Bf = 1.050084 by Gompertz, 1.931472 by Baranyi) and accuracy factor (Af = 1.160767 by Gompertz, 2.137181 by Baranyi). Results indicate *L. monocytogenes* growth was affected by temperature mainly, and equation was developed by Gompertz model (–0.1606 + 0.0574*Temp + 0.0009*Temp*Temp) was more effective than equation was developed by Baranyi model (0.3502 – 0.0496*Temp + 0.0022*Temp* Temp) for specific growth rate prediction of *L. monocytogenes* in the mixed fresh-cut vegetables.

**Key words:** *Listeria monocytogenes*, fresh-cut vegetable, predictive model, Gompertz equation model, Baranyi equation model

세계적으로 과학 기술을 기반으로 식품의 위생과 안전성 확보를 위한 체계적인 노력은 계속되고 있지만, 여전히 병원성 미생물에 의한 식중독 발생은 증가 추세로 대량화 및 집단화 특성을 보이고 있다. 최근 우리나라의 사회구조 및 식생활 패턴의 변화, 핵가족화 및 여성의 사회참여 증가로 음식의 소비 형태가 가정에서 보다는 음식점 및 집단급식 등 가정 외로 변화되고 있으며, 편의성 및 경제성 등을 앞세워 완전 조리 상태의 식품과 즉석섭취 · 편의식품 등의 소비가 증가하는 것으로 나타났다[1]. 국민건강영양조사에 따르면 우리나라 국민은 곡류와 채소류를 다른 식품군에 비해 자주 섭취하는 것으로 알려져 있으며, 최근 생활수준의 향상 및 참살이 열풍 등의 이유로 건강에 대한 관심이 날로 증가하면서 육식보다는 채식, 그리고 가공식품보다는 자연식품을 선호하는 추세로 변화되고 있다[2]. 하지만 더 이상 가열처리하지 않고 그대로 섭취하는 신선 채소류(fresh-cut vegetable)는 위생 및 안전 수칙이 철저히 지켜지지 않을 경우 대형 식중독 유발 가능성이 매우 높아 국내에서는 즉석섭취 · 편의식품으로 분류하여 관리하고 있다. 또한 국외에서도 샐러드용 야채 등에서 *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* 등의 다양한 식중독균 검출이 보고되고 있어 잠재적 위해성이 높은 고 위해 식품군으로 분류하여 관리하고 있는 실정이다[3-6].

최근 식품의 미생물학적 안전성 확보를 위해 특정 환경조건하에서 미생물의 성장과 사멸 등을 수학적으로 기술하

*Correspondence to: In Gyun Hwang, Food Microbiology Division, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Korea Food and Drug Administration 643 Yeonje-ri Gangoe-myeon, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do 363-951, Korea
Tel: 82-43-719-4301, Fax: 82-43-719-4300
E-mail : inghwang@korea.kr

여 변동 상태를 예측하려는 예측 미생물학(predictive food microbiology, PFM) 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 중요성이 크게 대두되고 있다[7-9]. 이는, 수분활성도(water activity), pH, 항균적 특성 및 초기 미생물 분포 등의 내부적인 요인(intrinsic factor)과 식품의 생산과 저장기간 동안 식품에 존재하는 미생물의 생장에 미치는 요인인 온도, 포장 방법 및 습도 등의 외부적인 요인(extrinsic factor)을 수식에 포함시켜 미생물의 성장이나 사멸을 수학적 방법을 이용하여 예측하는 것이다[10,11]. 1980년대 이후 수학적 모델을 적용한 미생물 성장예측모델은 이론뿐만 아니라 응용적인 측면에서도 급속한 성장이 있었고, 식품 내 병원성 미생물의 성장과 사멸을 예측 할수 있는 수학적 모델이 도입된 다양한 컴퓨터 프로그램도 활용되고 있다[12-14]. 미생물 성장예측모델은 1차, 2차 및 3차 모델로 나누어지며 1차 모델(Primary models)은 특정 환경 조건하에서 시간적 변화에 따른 균수의 변화를 나타내는 기본적인 모델이며 Gompertz model, Logistic model 및 Baranyi model이 대표적이고, 2차 모델(Secondary models)은 pH, 온도, 수분활성도(Aw) 등 1개 이상의 환경조건에 의해 1차 모델의 매개변수가 어떻게 변화되는지를 나타내는 모델이며 Square-root model, Arrhenius model 및 Polynomial or response surface model이 대표적이다. 3차 모델(Tertiary models)은 1, 2 단계 모델을 통합하여 사용자가 쉽게 이용 가능하게 한 상업화된 모델로 미국 USDA의 Pathogen Modelin Program이 대표적이다[17-19]. 하지만 미생물 성장예측모델은 환경 내 존재하는 요인의 다양성과 변이성을 충분히 설명할 수 있는 확률적 통계 모델과 미생물의 생리적 특성을 완벽히 반영하기에는 현재까지도 미흡한 수준이다. 이러한 한계점에도 불구하고 미생물 성장예측모델은 식품 업계의 위생관리 강화, 정부의 미생물 관리기준의 적합성 평가 등 현장에서의 활용은 점차 확대되는 실정이다[15,16].

샐러드용 신선 채소는 건강상의 이유 등으로 전 세계적으로 널리 섭취되고 있고, 대부분이 냉장으로 유통되어 저온성 세균인 *L. monocytogenes*에 의한 오염 및 잠재적 위해 가능성이 상당히 높을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 근래에 들어 섭취가 급속히 증가하는 샐러드용 신선 채소에서 임산부 등 민감 군에 잠재적 위해성이 큰 *L. monocytogenes* 성장을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하여 식중독 예방 등 식품의 안전성 확보 및 정량적 미생물 위해평가에 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 표준균주

본 연구에 사용된 표준균주는 *L. monocytogenes* ATCC 19113(isolated from human), 19115(isolated from human), 19116(isolated from chicken) 및 19117(isolated from sheep)으로 American Type Culture Collection (ATCC)에서 분양받았으며, tryptic soy broth (TSB, Difco Laboratories, Detroiy, MI, USA)에 전 배양하여 1 ml을 vial tube에 50% glycerol를 첨가하여 −70ºC에 동결 보관하면서 실험에 사용하였다.

### 시험 균액의 제조

표준균주 10 μl를 TSB 10 ml에 접종하여 35ºC에서 24시간동안 배양한 후 각각의 배양액을 혼합하고, 4ºC에서 7,000 rpm으로 5분간 원심 분리하여 cell pellet를 얻고 이를 0.1% peptone water로 2회 세척한 후 0.1% peptone water를 이용해 4 log CFU/ml 수준으로 희석하여 이를 시험 균액으로 하였다.

### Sample 제조 및 균액 접종

샐러드용 신선 채소는 서울 소재의 대형 마트에서 구입하여 *L. monocytogenes*가 오염되어 있지 않음을 식품공전 시험법으로 확인 후 성장예측모델 개발을 위한 시료로 사용하였다. 성장예측모델 개발을 위하여 시험 균액 1 ml을 신선 채소 25 g에 균일하게 접종하여, 신선 채소의 *L. monocytogenes* 최종 농도가 2 log CFU/g 수준이 되게 하였다.

### 균의 성장 측정

*L. monocytogenes*가 접종된 샐러드용 신선 채소를 멸균백에 넣고, 신선 채소의 가공 및 유통 가능 온도를 고려하여 4, 10, 20, 30ºC에서 보관하면서 각 시간대 별(1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 15, 24, 36, 48, 60, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216, 240, 288, 336시간) 균의 변화를 PALCAM agar (Difco Laboratories, Detroiy, MI, USA)를 사용하여 2회 반복 확인하였다.

### 성장예측모델 개발

본 연구에서는 샐러드용 신선 채소에서 *L. monocytogenes*의 sigmoid한 성장 형태를 표현하기 위해 Gompertz model 식과 Baranyi model 식을 사용하였다. 또한 *L. monocytogenes*의 최대증식속도(Maximum specific growth rate, SGR)를 Graphad PRISM version 4(Graphad Software, San diego, USA) 프로그램을 이용하여 실험 결과를 각각의 모델에 대입하여 새로운 equation을 도출하였다.

<Gompertz model equation>

log(N) = N0 + C(exp(−exp((2.718*mue/C)*(Lag − X) + 1))

- log (N, log10 CFU.g) = Log count of bacteria at time (in hours)
- N0 (log10 CFU/g) = Log count of bacteria at initial count
- C (log10 CFU/g) = Difference between initial and final cell numbers
- mue (log10 CFU/h) = Maximum Specific Growth Rate

- Lag (h) = Lag Time
- X (h) = time

<Baranyi model equation>

$$A = t + \frac{1}{\mu_{max}} \ln\left[\frac{e^{-\mu_{max} t} + q_0}{1 + q_0}\right]$$

$$y = y_0 + \frac{\mu_{max}}{\ln(10)} \cdot A - \frac{1}{\ln(10)} \cdot \ln\left[1 + \frac{e^{\mu_{max} \cdot A} - 1}{10^{(y_{max} - y_0)}}\right]$$

$$t_{log} = \frac{\ln\left(1 + \frac{1}{q_0}\right)}{\mu_{max}}$$

- $A$ = Time variable
- $yo$ = initial cell numbers
- $y$ = Difference between initial and final cell numbers
- $\mu\ max$ = Maximum specific growth rate
- $t$log = Lag time

본 실험의 factor로 사용된 온도 변화와 *L. monocytogenes*의 SGR의 상관관계를 규명하기 위해 Polynomial model을 사용하였고, 이는 SAS version 9.1(SAS Institute INC., USA)의 PROC GLM으로 분석한 후 Polynomial model을 이용하여 각 식의 매개변수를 결정하여 도식화 한 후, 각 배양 온도를 대입하여 실제 실험으로부터 구한 최대 증식속도 상수와 2차 모델 식으로부터 구한 최대 증식속도 상수와의 상관관계를 비교하였다[20-25].

<Polynomial model equation>

ln Y = a + b1s + b2T + b3p + b4s2 + b5t2 + b6p2 + b7sT + b8sp + b9Tp + δ

- a, b, c = Constant
- T = Temperture

### 성장예측모델의 적합성 평가

개발된 *L. monocytogenes* 성장예측모델 식을 평가하고자 통계적 지표인 MSE(Mean Square Error), Af(Accuracy factor), Bf(Bias factor)를 산출하였다[26-28]. MSE는 미생물의 최대 증식속도에 대한 실험값과 예측 값의 차이를 이용하여 산출하는 수치로서, 값이 0에 가까울수록 개발된 예측모델의 적합성이 높음을 의미한다.

MSE = (Σ(observed growth rates-predicted growth rates)$^2$)/ number of observations)

Af는 측정된 실험값과 산출된 예측 값 차이의 절대 값을 평가하는 지표로서, 수치가 커질수록 예측모델이 부정확한 것으로 해석할 수 있고 1에 가까울수록 모델 적합성이 높음을 의미한다.

$A_f = {}_{10}\Sigma|\log$ (predicted growth rates/observed growth rates)|/ number of observations

Bf는 실험을 통하여 측정된 실험값과 이차 모델 식에서 산출된 예측 값의 차이를 평가하는 지표로서, 이 수치가 1에 가까울수록 개발된 예측모델의 적합성이 높음을 의미하고 1보다 클 경우 과대 예측된 것이며 1보다 작은 경우 과소 예측된 것으로 해석할 수 있다.

$B_f = {}_{10}(\Sigma\log$(predicted growth rates /observed growth rates))/ number of observations

## 결과 및 고찰

### 온도별 *L. monocytogenes* 성장패턴

신선 채소에서 *L. monocytogenes*의 최대 성장은 30ºC 216시간, 20ºC 192시간, 10ºC 240시간, 4ºC 336시간에서 7.99, 7.75, 4.63, 5.52 log CFU/g 수준으로 증식하였다(Fig. 1).

### 성장예측모델 개발

Zulianu 등[29] 은 미생물의 성장예측모델개발에 이용되는 모델 식들의 효율성은 대상 식품 및 환경조건에 따라 서로 다르기 때문에 통계적 방법을 사용해 최적의 모델을 선택해야 한다고 밝혔다. 따라서 미생물 성장예측모델 개발 시 국내・외에서 가장 널리 사용되어지고 있는 모델식인 Gompertz model과 Baranyi model을 이용하여 샐러드용 신선채소에서 *L. monocytogenes*의 최대증식속도(Specific growth rate, SGR) 값을 도출하고 적합성을 검증하였다.

Gompertz model은, SGR이 4ºC (0.036~0.046), 10ºC (0.361~0.372), 20ºC (0.511~0.642) 및 30ºC (0.695~0.791), Baranyi model의 경우 SGR은 4ºC (0.028~0.031), 10ºC (0.057~0.061), 20ºC (0.297~0.312) 및 30ºC (0.412~0.421)로, 두 모델에서 도출된 SGR 값은 차이가 나타났다. 하지만 두 모델 모두에서

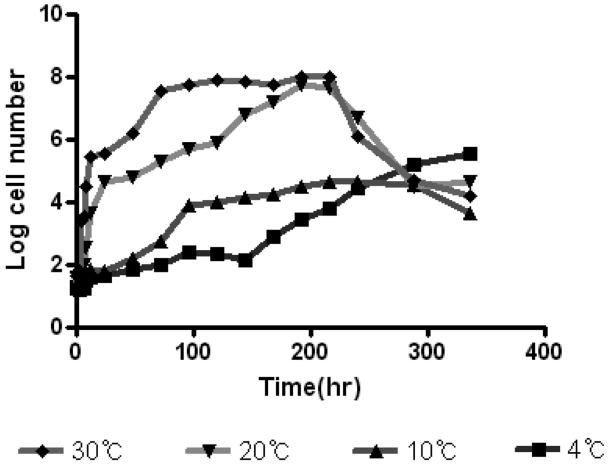


**Fig. 1.** Growth pattern of *L. monocytogenes* in the mixed fresh-cut vegetables during the storage.

**Table 1.** Predictive specific growth rate (SGR) and $r^2$ values of *L. monocytogens* in the mixed fresh-cut vegetables for salad by the Gompertz and Baranyi model

| Temperature(°C) | Gompertz model | | Baranyi model | |
|---|---|---|---|---|
| | SGR | $r^2$ | SGR | $r^2$ |
| 4 | 0.036 | 0.966 | 0.031 | 0.916 |
| 4 | 0.046 | 0.954 | 0.028 | 0.922 |
| 10 | 0.372 | 0.972 | 0.061 | 0.943 |
| 10 | 0.361 | 0.959 | 0.057 | 0.954 |
| 20 | 0.642 | 0.967 | 0.312 | 0.947 |
| 20 | 0.511 | 0.971 | 0.297 | 0.957 |
| 30 | 0.791 | 0.962 | 0.421 | 0.941 |
| 30 | 0.695 | 0.981 | 0.412 | 0.937 |

**Table 2.** Observed specific growth rate(SGR) of *L. monocytogens* in the mixed fresh-cut vegetables for salad by the Gompertz and Baranyi model

| Temperature(°C) | Gompertz model | | Baranyi model | |
|---|---|---|---|---|
| | observed | predicted | observed | predicted |
| 4 | 0.036 | 0.0834 | 0.031 | 0.1870 |
| 4 | 0.046 | 0.0834 | 0.028 | 0.1870 |
| 10 | 0.372 | 0.5034 | 0.061 | 0.0742 |
| 10 | 0.361 | 0.5034 | 0.057 | 0.0742 |
| 20 | 0.642 | 1.3474 | 0.312 | 0.2382 |
| 20 | 0.511 | 1.3474 | 0.297 | 0.2382 |
| 30 | 0.791 | 2.3714 | 0.421 | 0.8422 |
| 30 | 0.695 | 2.3714 | 0.412 | 0.8422 |

성장속도가 온도에 비례하여 증가하였고, 일차식의 적합성을 나타내는 $r^2$ 값은 모두 0.9 이상으로 나타났다(Table 1). 박 등[30]은 김밥에서의 *L. monocytogenes*의 SGR 값(10°C : 0.142, 20°C : 0.252, 30°C : 0.527)이 Gompertz model을 이용한 신선 채소의 SGR 값보다 낮고, Baranyi model을 이용한 SGR 값보다는 높은 것으로 보고하였다. 또한 Hwang and Marmer[31]은 egg 샐러드와 pasta 샐러드에서 4, 8, 12°C에서의 *L. monocytogenes*의 LPD(lag-phase durrations)값과 GR (growth rate)값은 각각 0.0187~0.0318, 0.0118~0.0350 (4°C), 0.0387~0.0512, 0.0153~0.0418(8°C) 및 0.0694~0.1003, 0.0453~0.0718(12°C)로 보고하였는데, 본 연구의 결과보다 짧은 최대증식속도를 나타내었다. 이러한 차이는 식품의 조성 및 형태의 차이, *L. monocytogenes*의 식품 영양성분의 이용능 및 증식속도의 차이, 식품의 자연 균총 오염도 및 적용 모델 종류 등의 차이 때문이라 생각된다. 1차 모델을 통해 보관 온도에 따른 SGR 값을 실측치와 비교하였고 (Table 2), SAS 9.1을 통해 polynomial model을 적용하여 보관 온도에 따른 *L. monocytogenes*의 SGR에 관한 model을 개발하였다(Table 3).

**Table 3.** Developed model for effect of temperature on the specific growth rate(SGR) of *L. monocytogens* iin the mixed fresh-cut vegetables for salad by the Gompertz and Baranyi model

| Model | Equation |
|---|---|
| Gompertz | SGR = –0.1606 + 0.0574*Temp + 0.0009*Temp*Temp |
| Baranyi | SGR = 0.3502 – 0.0496*Temp + 0.0022*Temp*Temp |

**Table 4.** Statistical indices of the secondary modeling step for specific growth rate (SGR) of *L. monocytogens* in the mixed fresh-cut vegetables for salad

| Model | MSE | Bf | Af |
|---|---|---|---|
| Gompertz | 0.002718 | 1.050084 | 1.160767 |
| Baranyi | 0.055186 | 1.931472 | 2.137181 |

### 성장예측모델의 적합성 평가

2차 모델을 통해 개발된 모델은 MSE, Bf, Af를 산출하고 이를 통해 모델의 통계적 적합성을 평가하였다(Table 4). 신선 채소의 MSE, Bf, Af는 Gompertz model식을 적용한 경우 0.002718, 1.050084, 1.160767, Baranyi model식을 적용한 경우 0.055186, 1.931472, 2.137181으로 나타나 Gompertz model 식을 적용하여 개발한 예측모델이 Baranyi model식을 이용하여 개발한 예측모델에 비해 적합성이 높은 것으로 나타났다.

## 요 약

본 연구에서는 식중독 예방과 식품의 안전성 확보 및 정량적 미생물 위해평가에 활용하기위하여, Gompertz model과 Baranyi model을 이용하여 샐러드용 신선채소에서 *L. monocytogenes*의 SGR에 관한 성장예측모델(SGR by Gompertz equation = –0.1606 + 0.0574*Temp + 0.0009*Temp*Temp, SGR by Baranyi equation = 0.3502–0.0496*Temp + 0.0022*Temp*Temp)을 개발하였다. 개발된 모델의 적합성 평가를 위해 MSE, Bf, 및 Af factor를 산출하였다. 샐러드용 신선채소의 MSE, Bf, Af는 Gompertz model식을 적용한 경우 0.002718, 1.050084, 1.160767, Baranyi model 식을 적용한 경우 0.055186, 1.931472, 2.137181으로 나타나 Gompertz model식을 적용하여 개발한 예측모델이 Baranyi model 식을 이용하여 개발한 예측모델에 비해 적합성이 높은 것으로 나타났다. Gompertz model식을 활용하여 본 연구에서 개발된 샐러드용 신선 채소에서의 *L. monocytogenes* 성장예측모델은 신선 채소류를 생산, 가공, 보관 및 판매하는 산업체에서 널리 활용 가능할 것으로 판단되며, 더욱 정확한 예측모델 개발을 위해서는 pH 및 수분활성도 등 다양한 변수에 따른 미생물의 성장패턴 변화 등에 관한 연구가 추가적으로 시행되어야 할 것으로 생각되어 진다.

## 참고문헌


1. 식품의약품안전청(KFDA): 식중독예방 대국민 홍보사이트 Available from: http://fm.kfda.go.kr/. (2009).
2. Choi, J.W., Park, S.Y., Yeon, J.H., Lee, M.J., Chung, D.H., Lee, K.H., Kim, M.G., Lee, D.H., Kim, K.S. and Ha, S.D.: Microbial contamination levels of fresh vegetables distributed in markets. *Korean J. Food hygiene and Safety,* **20,** 43-47 (2005).
3. Itoh, Y., Sugita-Konishi, Y., Kasuage, F., Iwaki, M., Hara-kudo, Y., Saito, N., Noguchi, Y., Konuma, H. and Kumagai, S.: Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 Present in Radish Sprouts. *Appl. Environ. Microbial.*, **64**, 1352-1535 (1998).
4. Beuchat, L.R., Harris, L.R., Linda, J., Ward, T.E. and K 먼, T.M.: Development of a propose standard method for assessing the efficacy of fresh produce sanitizers. *J. Food prot*, **64**, 1103-1109 (2001).
5. Bahk, G.J., Kim, S.J., Sim, W.C., Chun, S.J., Choi, E.Y., Choi, W.S. and Hong CH: Estimation of contamination level of *Listeria monocytogenes* in meat and meat products using probability approaches. *Korean J. Food hygiene and Safety,* 18, 107-112 (2003).
6. Lake, R., Hudson, A., Cressey, P. and Nortje, G.: Risk profile: *Listeria monocytogenes* in processed ready-to-eat meats. Institute of Environmental Science & Research. http://www.nzfsa.govt.nz/.
7. Afshin, A.B., Misaghi, A. and Khaschabi, D.: Growth response and modelling of the effects of Zataria multiflora Boiss. essential oil, pH and temperature on *Salmonella* Typhimurium and *Staphylococcus aureus*. Lebensmittel Wissenschaft Technologie, **40**, 973-981 (2006).
8. Amit, P., Theodore, P.L. and Francisco, D.: Comparison of primary predictive models to study the growth of *Listeria monocytogenes* at low temperatures in liquid cultures and selection of fastest growing ribotypes in meat and turkey product slurries. *J. Food Microbiology.,* **25,** 460-470 (2008).
9. Baranyi, J. and Roverts, T.A.: A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *J. Food Microbiology.,* **23**, 277-294 (1994).
10. Chen H: Use of linear, Weibull,and log-logistic functions to model pressure inactivation of seven foodborne pathogens in milk. *J. Food Microbiology.,* **24**, 197-204 (2007).
11. Delignette-Muller, M.L., Cornu, M., Pouillot, R. and Denis, J.B.: Use of Bayesian modelling in risk assessment: Application to growth of *Listeria monocytogenes* and food flora in cold-smoked salmon. *J. Food Microbiology.,* **106**, 195-208 (2006).
12. Grijspeerdt, K., Kreft, J.U. and Messens, W.: Individual-based modelling of growth and migration of *Salmonella* enteritidis in hens' eggs. *J. Food Microbiology.,* **100,** 323-333 (2005).
13. Hajmeer, M., Basheer, I., Hew, C. and Clive DO: Modeling the survival of *Salmonella* spp. in chorizos. *J. Food Microbiology.,* **107,** 59-67 (2006).
14. Heo, C., Choi, Y.S., Kim, C.J. and Paik HD: Estimation of shelf-life of frankfurter using predictive models of spoilage bacterial growth. *Korean J. food sci. technol.,* **28,** 289-295 (2009).
15. Heo, C., Kim, H.W., Choi, Y.S., Kim, C.J. and Paik, H.D.: Application of predictive microbiology for shelf-life estimation of Tteokgalbi containing dietary fiber from rice bran. *Korean J. food sci. technol.,* **28**, 232-239 (2008).
16. Oh, D.H., Ha, S.D., Park, K.H., Joung, M.S., Chun, S.J., Park, J.S., Woo, G.J. and Hong CH: Quantitative MicrobialRisk Assessment Model for *Staphylococcus aureus* in Kimbab. *Korean J. food sci. technol.,* **37**, 484-491 (2005).
17. FAO/WHO: Principles and guidelines for incorporating microbiological risk assessment in the development of food safety standards, guidelines and related textes. 2002.
18. Gimenez, B. and Dalgaard, P.: Modelling and predicting the simultaneous growth of *Listeria monocytogenes* and spoilage micro-organisms in cold-smoked salmon. *J. applied microbiology* **96,** 96-109 (2004).
19. Isabel, W. and Virginia, N.S.: Use of predictive microbiology in microbial food safety risk assessment. *Int. J. Food Microbiol.*, **36**, 97-102 (1997).
20. Jagannath, A., Nakamura, I. and Tsuchido, T.: Modelling the combined effects of pH, temperature and sodium chloride stresses on the thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in a buffer systems. *J. applied microbiology.*, **95**, 135-141.
21. Juneja, V.K., Eblen, B.S. and Marks, H.M.: Modeling non-linear survival curves to calculate thermal inactivation of *Salmonella* in poultry of different fat levels. *J. Food Microbiology.,* **70**, 37-51 (2001).
22. Kim, S.R., Rhee, M.S., Kim, B.C., Lee, H. and Kim, K.H.: Modeling of the inactivation of *Salmonella* typhimuriumby supercritical carbon dioxide in physiological saline and phosphate-buffered saline. *J Microbiol Methods.*, **70**, 132-141 (2007).
23. Koseki, S. and Isobe, S.: Prediction of pathogen growth on iceberg lettuce under real temperature history during distribution from farm to table. *J. Food Microbiology.,* **104,** 239-248 (2005).
24. Koseki, S., Mizuno, Y. and Yamamoto, K.: Predictive modelling of the recovery of *Listeria monocytogenes* on sliced cooked ham after high pressure processing. *J. Food Microbiology.,* **119**, 300-307 (2007).
25. Lopez, S., Prieto, M., Dijkstra, J., Dhanoa, M.S. and France, J.: Statistical evaluation of mathematical models for microbial growth. *J. Food Microbiology.,* **96**, 289-300 (2004).
26. Miles, D.W., Ross, T., Olley, J. and Mcmeekin, T.A.: Development and evaluation of a predictive model for the effect of temperature and water activity on the growth rate of Vibrio parahaemolyticus. *J. Food Microbiology.,* **38**, 133-142 (1997).
27. Moon, S.Y., Woo, G.J. and Shin, I.S.: Development of predictive growth model of *Listeria monoctogenes* using mathematical quantitiative asseessment model. *Korean J. food sci. technol.,* **37**, 194-198 (2005).
28. Pal, A., Labuza, T.P. and Diez-Gonzalez, F.: Comparison of primary predictive models to study the growth of *Listeria monocytogenes* at low temperatures in liquid cultures and selection of fastest growing ribotypes in meat and turkey product slurries. *J. Food Microbiology.,* **25**, 460-470 (2008).
29. Zuliani, V., Lebert, I., Augustin, J.C., Garry, P. and Lebert, A.: Modelling the behaviour of *Listeria monocytogenes* in ground pork as a function of pH, water activity, nature and concentra-

tion of organic acid salts. *J. Food Microbiology.,* **103**, 536-550 (2006).

30. Park, S.Y., Choi, J.W., Yeon, H.J., Lee, M.J., Chung, D.W., Kim, M.G., Lee, K.H., Kim,K.S., Lee, D.H. and Bahk, G.J.: Predictive Modeling for the Growth of *Listeria monocytogenes* as a Function of Temperature, NaCl, and pH. *J. Microbiology and Biotechnology.,* **15**, 1323-1330 (2005).
31. HWANG, C.A. and MARMER, B.S.: Growth of *Listeria monocytogenes* in egg salad and pasta salad formulated with mayonnaise of various pH and stored at refrigerated and abuse temperatures. *J. Food Microbiology.,* **24**, 211-218 (2007).