

수육에서의 *Staphylococcus aureus* 성장 예측모델

박형수 · 박경진¹ · 박기환 · 박지연² · 류경^{2*}

중앙대학교 식품공학과, ¹군산대학교 식품영양학과, ²영남대학교 식품영양학과

Predictive Model for Growth of *Staphylococcus aureus* in *Suyuk*

Hyoung Su Park, Gyung-Jin Bahk¹, Ki-Hwan Park, Ji Yeon Pak², and Kyung Ryu^{2*}

Department of Food Science & Technology, Chung-Ang University, Gyeonggi 456-756, Korea

¹Department of Food & Nutrition, Kunsan National University, Gunsan, Jeonbuk, 573-701, Korea

²Department of Food & Nutrition, Yeungnam University, Gyeongbuk 712-749, Korea

Abstract

Cooked pork can be easily contaminated with *Staphylococcus aureus* during carriage and serving after cooking. This study was performed to develop growth prediction models of *S. aureus* to assure the safety of cooked pork. The Baranyi and Gompertz primary predictive models were compared. These growth models for *S. aureus* in cooked pork were developed at storage temperatures of 5, 15, and 25°C. The specific growth rate (SGR) and lag time (LT) values were calculated. The Baranyi model, which displayed a R² of 0.98 and root mean square error (RMSE) of 0.27, was more compatible than the Gompertz model, which displayed 0.84 in both R² and RMSE. The Baranyi model was used to develop a response surface secondary model to indicate changes of LT and SGR values according to storage temperature. The compatibility of the developed model was confirmed by calculating R², B_f, A_f, and RMSE values as statistic parameters. At 5, 15 and 25°C, R² was 0.88, 0.99 and 0.99; RMSE was 0.11, 0.24 and 0.10; B_f was 1.12, 1.02 and 1.03; and A_f was 1.17, 1.03 and 1.03, respectively. The developed predictive growth model is suitable to predict the growth of *S. aureus* in cooked pork, and so has potential in the microbial risk assessment as an input value or model.

Key words: *Suyuk*, *Staphylococcus aureus*, predictive model, Baranyi, Gompertz

서 론

*Staphylococcus aureus*는 저항성이 강하여 공기, 토양 등의 자연계에 광범위하게 분포하고 있을 뿐만 아니라 식품에 오염되는 경로도 매우 다양하므로(Kang *et al.*, 2002) 식품위생상 중요하게 다루어지고 있는 세균이다. 우리나라에서 *S. aureus*에 의한 식중독 발병률은 2005년 이후로 약 13% 정도를 유지하면서, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7에 이어 높다(Korea Food and Drug Administration, 2009). 유럽에서도 최근 5년 동안 발병률이 이전 대비 5.1%가 증가하였다(Tirado and Schimdt, 2001). 환경 변화와 식품 산업의 발달로 전 세계적으로도 발생빈도는 세 번째로 높은 것으로 보고되고 있다(Bea *et al.*, 1997). 주요 원인 식품은 육류, 육제품 등 축산식품을 비롯하여 크럼케익,

해산물, 감자, 햄샐러드, 김밥, 도시락 등으로 다양하다(Lee *et al.*, 2004). *S. aureus*는 사람들의 코, 목, 피부, 점막 등에도 존재하여 피부질환에 의해 감염되어 증식하면 식중독 발병의 원인이 되는 장독소(enterotoxin)가 생성될 수 있고, 식품 취급 시에도 쉽게 전이된다(Pereira *et al.*, 1994). 따라서 비위생적인 식품취급 행동과 식품 조리 및 저장 동안 부적절한 온도관리에 의해 *S. aureus* 식중독이 발생할 수 있다(Eifert *et al.*, 1996).

최근 식품의 위해요소에 대한 평가방법으로 예측미생물학이 주목 받고 있다(Koseki and Isobe, 2005). 어떤 특정 병원성 미생물에 의해 오염된 식품을 섭취하는 경우 해당 식품의 위해 정도를 평가하는 미생물 위해평가(microbial risk assessment, MRA)에서 예측미생물학은 병원균의 증식, 성장, 사멸에 대해 수학적 모델을 제공한다(Whiting, 1995; Bemrah *et al.*, 1998). 예측모델(predictive model)은 pH, Aw, NaCl 함량과 같은 내부적인 요인과 온도, 시간, 대기상태 등의 외부적인 요인에 따라 식품 중 미생물의 성장을 예측할 수 있는 수단으로서 가치가 인정되고 있다

*Corresponding author : Kyung Ryu, Department of Food and Nutrition, Yeungnam University, Gyeongbuk 712-749, Korea. Tel: 82-53-810-2876, Fax: 82-53-810-4768, E-mail: akryu@ynu.ac.kr

(Karl and Da-Wen, 1999). 식품의 안전성 문제에 있어 가장 중요하고도 큰 비중을 차지하는 위해 미생물에 대하여 이들의 성장을 수학적 모델에 의해 정량적으로 예측하고 평가하기 때문에 기존의 미생물 검사에 비하여 매우 신속한 예측이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 예측 모델은 식중독 예방에 큰 효과가 있는 것으로 평가되고 있으며 (Park *et al.*, 2007), 현재 우리나라를 비롯한 많은 나라에서 육류, 채소류 등의 원재료와 즉석섭취식품에 존재하는 다양한 병원성 미생물에 대해 성장예측모델이 개발되고 있다. 이 중 *S. aureus*에 대해서는 즉석섭취식품인 김밥과 샌드위치(Chung, 2007), 햄, 칠면조 및 닭고기(Castillejo-Rodriguez *et al.*, 2002), 우유(Fujikawa *et al.*, 2006) 등에 대한 연구가 이루어졌다. 그러나 조리식품에 대한 연구로는 국내에서 Kim(2004)의 학교급식 고위험 식품에 대한 모델 개발에 한정되어 있다.

*S. aureus*의 주요 원인식품인 축산제품에 속하는 수육은 일반적으로 돼지고기를 삶은 후 썰어서 제공하는 음식으로(Korean Dietetic Association, 2007), 삶은 과정 중에 대부분의 병원성 미생물이 사멸한다. 그러나 삶은 후 얇게 썰는 과정에서 *S. aureus* 등의 병원성 미생물에 오염될 가능성이 있으며, 온도관리가 부적절할 경우 증식의 위험성이 있다. 따라서 본 연구에서는 *S. aureus*가 쉽게 증식할 수 있는 조리식품 중 수육을 대상으로 성장예측모델을 적용하고, 적용한 모델의 적합성을 조사함으로써 수육의 안전관리에 활용 가능한 예측모델을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

수육 조리 및 시료 준비

본 실험의 주재료인 돈육 목심(목심 보쌈, 프로포크, Korea)과 부재료인 마늘, 대파, 양파, 생강, 소주, 커피, 소금은 서울의 H 대형마트에서 구입하였다. 주재료인 돈육 목심은 구입한 상품을 10 cm 두께로 자른 후 물에 넣고 가정용 가스레인지(RTR-C303N, Rinnai, Korea)에서 가열하였다. 부재료에서 통양파는 반으로 자르고, 대파는 약 5 cm의 길이로 썰어 준비하였다. 한번 끓인 후 돈육에 대하여 양파 4.10%, 대파 1.74%, 통마늘 1.74%, 생강 0.60%, 소주 2.27%, 커피 0.20%, 소금 0.42%를 넣고 돈육의 중심 온도가 75°C에 도달할 때까지 충분히 가열하였다. 완전히 익은 고기를 60°C로 식힌 후 3 cm 두께로 썰어 시료로 사용하였다(Jung *et al.*, 2004; Korean Dietetic Association, 2007). 준비된 시료는 2차 오염을 방지하기 위해 실험실에서 조리한 직후 멸균된 petri dish에 25 g씩 채취하여 실험에 이용하였다.

균액 제조 및 접종

실험에 사용된 시험균주 *S. aureus* ATCC 6538는 한국

미생물보존센터에서 제공받았다. 균주는 Tryptic soy broth (TSB; Difco Corp., Detroit, USA)에 접종하여 35°C에서 24시간 배양한 후 전형적인 집락을 10 mL의 Tryptic soy broth(TSB; Difco Corp.)에 접종하여 배양하였다. 배양한 균주는 Glycerin(30%), 배양균주액(70%)으로 혼합하여 -70°C에서 보관하면서 실험 전 Nutrient agar(NA; Difco Corp.)에 접종하여 35°C에서 24시간 배양한 후 사용하였다. 배양된 균은 백금으로 1 colony를 취하여 0.1% 멸균 인산완충액으로 희석시킨 후 colorimeter(Vitek Special DR 100, Hach, USA)를 이용하여 균수를 1.5×10^8 - 7.1×10^8 CFU/mL로 조절하였고, 이 균액을 단계적으로 희석하여 사용하였다. 균 접종은 조리단계의 일반적인 오염 수준을 고려하여(Yang *et al.*, 2001), 수육 무게의 1/10인 2.5 mL씩 표면에 골고루 뿌려 초기균수가 3 Log CFU/g가 되도록 조정하였다. 수육을 섭취하기 전까지 *S. aureus* 성장과 관련된 중요한 환경인자는 보관 온도이므로 이를 주요 변수로 설정하였다. 온도는 수육의 일반적인 보관온도를 고려하여 5, 15, 25°C로 결정하였다. 저장기간은 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, 120, 168, 240, 360, 480, 720시간에 대해 온도별 균의 성장속도를 고려하여 5°C에서는 720시간, 15°C에서는 480시간, 25°C에서는 72시간까지 보관하였고, 각 시간대별로 시료를 채취하여 분석하였다. 모든 실험은 5회 반복하였다.

균수 측정

각 조건별로 배양한 수육을 멸균백에 넣고 10배의 0.1% 멸균인산완충액으로 희석한 후 stomacher(Elmex SH-II, Japan)로 1분간 균질화하였다. 각각의 균질화된 시료를 Baird Parker RPF agar(Biomerieux, France) 표면에 100 μ L씩 분주하고 spread한 후 37°C에서 24-48시간 배양하였다. 배양 후 회색빛을 띠는 검은색 colony를 계수하였다.

성장예측모델 개발

1차 모델을 개발하기 위하여 배양 온도에 따른 *S. aureus*의 생육변수인 lag time(LT, h)과 specific growth rate(SGR, LogCFU/g/h)를 산출하였다. LT와 SGR은 MicroFit(version 1.0, The Institute of Food Research, Norwich, UK)을 이용한 Baranyi model(Baranyi *et al.*, 1995; Baranyi *et al.*, 1996)과 GraphPad Prism(version 4.0, San Diego, USA)을 사용한 Gompertz model(Gibson *et al.*, 1988)을 적용하여 구하였다. 식은 다음의 (1), (2)와 같다.

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

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

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

where

- y: the bacterial count in Log CFU/g at time t
- y₀: the initial bacteria count in Log CFU/g at time 0
- μ_{max}: the maximum specific growth rate, Log CFU/g/h
- y_{max}: the maximum bacteria count in Log CFU/g
- t: time
- q₀: the measure of the initial physiological state of cell

q₀는 균체의 성장과 관련되어 균체의 생리적 상태를 나타내는데 이용되는 것으로 MicroFit에 의해 계산된 LT로부터 역으로 구할 수 있다(Baranyi and Roberts, 1995).

$$Y = N_0 + C * \exp\left(-\left(\left(2.718 * \frac{\mu_{max}}{c}\right) * (t_{lag} - X) + 1\right)\right) \quad (2)$$

where

- N₀: initial number of cells(Log CFU/g)
- C: difference between initial and final cell numbers (Log CFU/g)
- μ_{max}: maximum specific growth rate(Log CFU/g/h)
- t_{lag}: delay before growth, same units as X(time)
- X: time
- Y: Log cell(Log CFU/g)

2차 모델은 온도의 영향에 따른 LT와 SGR을 예측하기 위하여 response surface model(RSM)식을 이용하였다. RSM식은 polynomial quadratic 식을 이용하여 계산되었다. 모든 계산은 Minitab program(version 15.0, Eretec Inc., USA)을 사용하였고, 유도된 방정식은 다음과 같다.

$$LT \text{ or } SGR = Y_0 + Y_1 * \text{temp} + Y_2 * \text{temp}^2 \quad (3)$$

where

- Y₀, Y₁, Y₂: regression coefficients
- temp: temperature

모델 비교 및 적합성 평가

제시된 2개의 성장예측모델(Baranyi model과 Gompertz model)의 비교 및 적합성 평가는 root mean square error (RMSE), coefficient of determination(R²), bias factor(B_f), accuracy factor(A_f)값을 사용하여 평가하였다. R²은 회귀분석에서 종속변수 y의 데이터 y_i에 대하여 y_i의 총변동합에 대한 변동합의 비율을 구한 값으로서 0에서 1사이의 값을 나타낸다. 이 값은 1에 가까울수록 적합도가 높아진다(Duffy *et al.*, 1994; Sutherland *et al.*, 1994).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e_i^2}{\sum (v_i - \hat{y})^2}\right) \quad (4)$$

where

- e_i: the error of predictive data
- y_i: the predictive data
- \hat{y} : the average of predictive data

RMSE는 실험값과 예측값의 차이를 이용하여 얻어지는 수치로 값이 0에 가까울수록 모델의 적합도가 높아진다(Baranyi *et al.*, 1996).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (obs - pred)^2}{n}} \quad (5)$$

where

- obs: observed value
- pred: predicted value
- n: number of observation

B_f는 실험을 통해 얻어진 실험값과 유도된 2차 모델식에서 얻어진 평균 차이를 평가한 것으로 1에 가까울수록 정확한 것이다. 1보다 작을 경우는 과소 예측된 것이며, 1보다 크면 과대 예측된 것이다. 0.7보다 작거나 1.5보다 큰 값을 나타내면 모델이 적합하지 않아 사용이 불가능하다(Ross, 1996).

$$B_f = 10^{(\sum \text{Log}(LT_{predicted}/LT_{observed})/n)} = 10^{(\sum \text{Log}(SGR_{predicted}/SGR_{observed})/n)} \quad (6)$$

n: number of observation

A_f는 실험을 통해 얻어진 실험값과 유도된 2차 모델식에서 얻어진 평균 차이의 절대값을 평가한 것으로 값이 커질수록 부정확하다. 이 값은 1.3-1.5일 때 가장 적합성이 높다(Ross, 1999).

$$A_f = 10^{(\sum |\text{Log}(LT_{predicted}/LT_{observed})|/n)} = 10^{(\sum |\text{Log}(SGR_{predicted}/SGR_{observed})|/n)} \quad (7)$$

n: number of observation

결과 및 고찰

온도에 따른 수육에서의 *S. aureus* 성장

온도에 따른 *S. aureus* 성장변화는 Fig. 1에 나타내었다. 냉장온도인 5°C에서 보관된 수육은 초기오염농도 3 Log CFU/g에서 720시간(30일) 동안 거의 일정한 수준을 유지하였다. Kim(2004)은 학교급식의 고위험 식품에 *S. aureus* 접종을 통한 노출평가에서 10°C 냉장보관 시 모든 식품에서 *S. aureus*는 처음에 접종된 수준을 유지하거나 감소하였다고 보고하였고, Tatini(1973)가 *S. aureus*는 6.5°C 이하에서는 성장할 수 없다는 연구결과를 제시하였는데 본 연구는 이와 일치하였다.

15°C의 보관온도에서는 48시간까지 균의 성장이 거의 나타나지 않아 일정하였지만, 72시간부터는 균수가 급격히 증가하여 Lindqvist 등(2002)이 독소생성이 가능하다는 6 Log CFU/g를 초과하였다. 168시간 이후부터는 10 Log CFU/g 수준으로 일정하게 유지되었다. 이러한 결과는 egg products의 *S. aureus* 성장 및 독소생성을 측정된 연구(Yang *et al.*, 2001)에서 보관온도 18°C에서 초기오염농도 1 Log CFU/g인 경우 36시간 동안 약 5.5 Log CFU/g까지 성장한 결과에 비해서는 빠른 성장을 보였고, 구운 햄, 칠면조고기, 닭고기에 초기오염수준 5 Log CFU/g으로 *S. aureus*를 접종하였을 때 17.7°C에서 약 200시간을 전후로 최대 9 Log CFU/g 수준으로 유지된 연구결과(Castillejo-Rodriguez *et al.*, 2002)와는 유사한 것으로 나타났다.

25°C에서는 12시간이 지나면서 증식이 빨라져 24시간에는 6 Log CFU/g를 넘어 독소 생성 가능성을 나타내었다. 이는 초기오염농도가 2 Log CFU/g의 경우 25°C에서 12시간 이상 경과했을 때 콩나물무침과 완자전에서 약 5 Log CFU/g 수준으로 관찰되었으나, 두부튀김조림과 잡채에서의 최대 농도는 5 Log CFU/g 수준 이하였다는 연구결과

(Kim, 2004)와는 다소 차이를 보였는데, 식품의 구성 성분과 조리 방법의 차이에 따른 것으로 판단된다.

5, 15, 25°C에서의 각 온도별 *S. aureus* 성장 결과를 근거로 온도와 균의 증식속도는 비례하여 나타난 것을 확인할 수 있었다. Fujikawa와 Morozumi(2006)도 우유에서 *S. aureus* 성장과 독소생성을 측정된 연구에서 23°C 보다 32°C에서 균의 증식속도와 독소생성이 빠르게 나타났다고 보고하였다. 따라서 수육을 안전하게 섭취하도록 하기 위해서는 적정 온도에서 보관 가능한 시간 관리를 통해 미생물 증식을 효과적으로 억제하는 것이 바람직하다.

성장에측모델 개발 및 비교

각 온도별(5, 15, 25°C) 수육에 오염된 *S. aureus*의 생육 결과(Fig. 1)를 기초로 온도에 따른 Baranyi model과 Gompertz model을 이용하여 증식속도(SGR)와 유도기(LT)를 산출하였다(Table 1). 전반적으로 SGR값은 온도와 비례적으로 증가하였으며, LT값은 온도와 반비례적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 특히, SGR값은 두 모델 모두 5°C에서 매우 작았고 15°C까지 완만한 증가추세를 보이다가

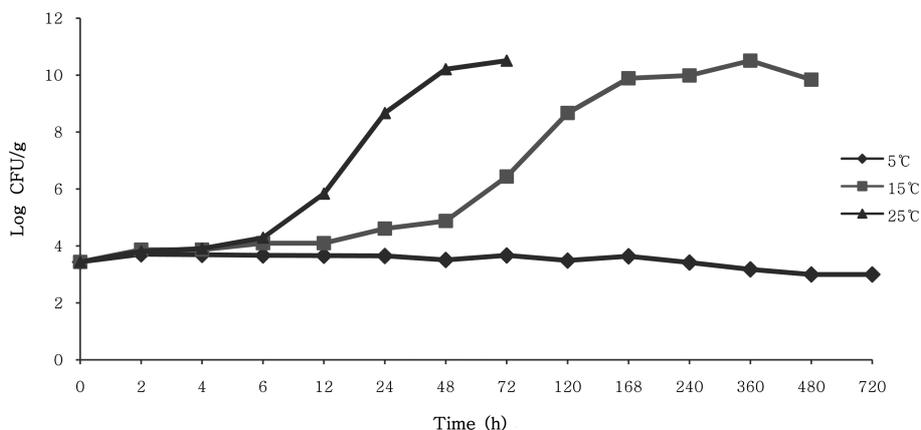


Fig. 1. The growth of *S. aureus* inoculated in *Suyuk* at different temperatures.

Table 1. The comparison of estimated of *S. aureus* in *Suyuk* from the Baranyi and Gompertz model

| Model | Temperatures (°C) | Growth parameter | | Statistical analysis | |
|----------|-------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------|
| | | LT (h) ¹⁾ | SGR ²⁾ (Log CFU/g/h) | R ² ³⁾ | RMSE ⁴⁾ |
| Baranyi | 5 | 181.29 | 0.06 | 0.88 | 0.11 |
| | 15 | 15.24 | 0.10 | 0.99 | 0.24 |
| | 25 | 2.70 | 0.56 | 0.99 | 0.09 |
| | Mean | | | 0.98 | 0.27 |
| Gompertz | 5 | 125.2 | -0.03 | 0.49 | 0.17 |
| | 15 | 92.05 | 1.32 | 0.77 | 1.27 |
| | 25 | 19.48 | 1.06 | 0.94 | 0.66 |
| | Mean | | | 0.84 | 0.84 |

¹⁾LT: lag time (h).

²⁾SGR: specific growth rate (Log CFU/g/h).

³⁾R²: coefficient of determination.

⁴⁾RMSE: root mean square error.

Table 2. The response surface model of the growth of *S. aureus* in *Suyuk*

| Growth parameters | Intercept (Y_0) ³⁾ | Y_1 ⁴⁾ | Y_2 ⁵⁾ | R^2 ⁶⁾ |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| LT ¹⁾ | 321.881 | -31.956 | 0.76755 | 1.00 |
| SGR ²⁾ | 0.1975 | -0.038 | 0.0021 | 1.00 |

¹⁾LT: lag time (h).

²⁾SGR: specific growth rate (Log CFU/g/h).

^{3,4,5)} Y_0, Y_1, Y_2 : regression coefficients.

⁶⁾ R^2 : coefficient of determination.

급격히 증가하여 25°C에서 최고의 수치를 나타내었다. LT 값의 경우는 반대로 두 모델 모두에서 5°C에서 가장 큰 값으로 나타났고, 15°C까지 급격한 감소를 보이다가 생육 최적조건인 25°C에서 최소값을 보였다.

두 model에 대한 통계적인 적합성을 평가하기 위하여 R^2 값과 RMSE를 분석하였다. Baranyi model의 경우 통계적 적합성을 나타내는 R^2 값은 0.98로 1에 근접하는 높은 적합성을 보였다(Duffy *et al.*, 1994; Sutherland *et al.*, 1994). 또한 RMSE도 0.27로 0에 가까운 값을 나타내었는데, RMSE는 실험값과 예측값의 차이를 이용하여 얻어지는 수치로서 값이 작을수록 model의 적합성이 더욱 정확함을 의미한다(Sutherland *et al.*, 1994). 반면 Gompertz model의 경우 R^2 값 0.84, RMSE값 0.84로 Baranyi model과 비교하였을 때 통계적 적합성이 낮은 것으로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때 수육에서 온도변화에 따른 *S. aureus* 생육을 예측하기 위한 이차모델의 변수 값으로 사용하는 데 Baranyi model이 더 적합하다고 볼 수 있다. Pouched mashed potatoes에서 *E. coli*에 대해 가장 적합한 성장예측 모델을 개발하기 위해 Logistic model, Baranyi model, Gompertz model을 비교한 연구(Fujikawa *et al.*, 2006)에서는 Logistic model과 Baranyi model이 Gompertz model보다 더 적합하게 나타나 본 연구의 결과와 유사하였다. 그러나 다양한 온도에서 가금류에 대한 *Pseudomonas* spp.

의 성장예측모델개발 연구(Gospavic *et al.*, 2008)에서는 Baranyi model과 Gompertz model을 비교한 결과 LT는 Baranyi model에서 더 신뢰성이 높았지만 R^2 값 등은 모두 적합성이 높아 두 모델 모두 *Pseudomonas* spp.의 성장예측모델로 사용 가능하다는 연구결과는 본 연구와 다소 차이가 있었다.

수육에 있어 Gompertz model에 비해 통계적 적합성이 우수한 Baranyi model의 LT와 SGR값을 이용하여 RSM식에 의해 개발된 2차 모델(식 (3))은 Table 2와 같다. 통계적 적합성을 나타내는 R^2 값은 LT와 SGR 모두 1로 나타났다. 이 반응식을 식 (1)인 Baranyi model에 적용시킬 경우 특정시간에서 수육의 온도에 따른 *S. aureus* 성장 정도를 추정할 수 있다(Fig. 2). 수육의 조리 및 섭취시간을 고려하여 72시간으로 제한할 경우 수육의 온도가 5, 10°C 일 경우에는 72시간까지 뚜렷한 성장이 나타나지 않으며, 15°C와 25°C의 경우는 실험결과와 유사한 성장이 나타난다고 볼 수 있다. 따라서 개발된 모델을 이용할 경우 수육의 다양한 조리환경과 온도에 따른 *S. aureus* 성장을 추정할 수 있으며, 이를 위해평가에서 충분히 활용할 수 있을 것으로 보인다.

Model 적합성 평가

실험에서 관측된 값과 RSM을 이용하여 유도된 2차 모델식에 의해 얻어진 예측값의 상관관계를 살펴보았다(Fig. 3). 그 결과 R^2 이 5°C에서는 0.88, 15°C 0.99, 25°C 0.99로 1에 가까운 값을 나타내어 실험값과 예측값의 관계가 밀접한 것(Duffy *et al.*, 1994; Sutherland *et al.*, 1994)으로 나타났다.

Table 3에는 예측모델의 수행을 평가하기 위하여 통계적 지표가 되는 RMSE, B_p , A_p 값을 나타내었다. RMSE값은 예측모델의 타당성을, B_p 값은 유도된 모델의 주요부분이 안전한가를 나타낸다. A_p 값은 실험이 간단하고, 동일한 시스템의 실험 장치로 수행되어졌는지를 보여준다(Bharathi

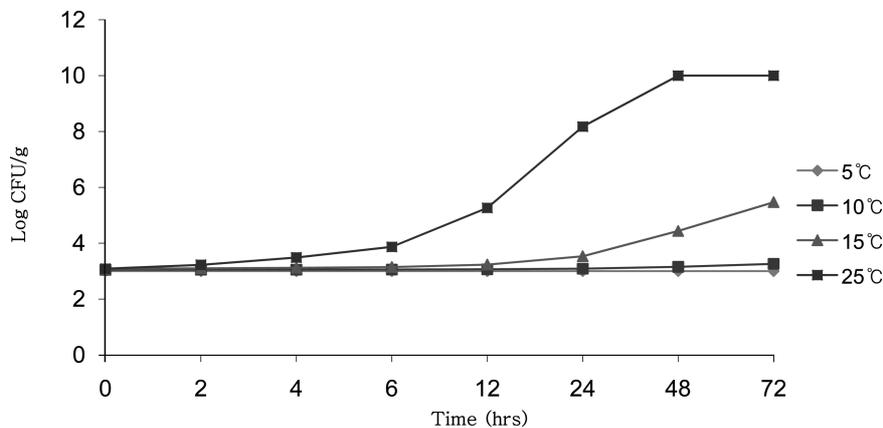


Fig. 2. The predictive growth of *S. aureus* in *Suyuk* exposed to 5, 10, 15 and 25°C to 72 h.

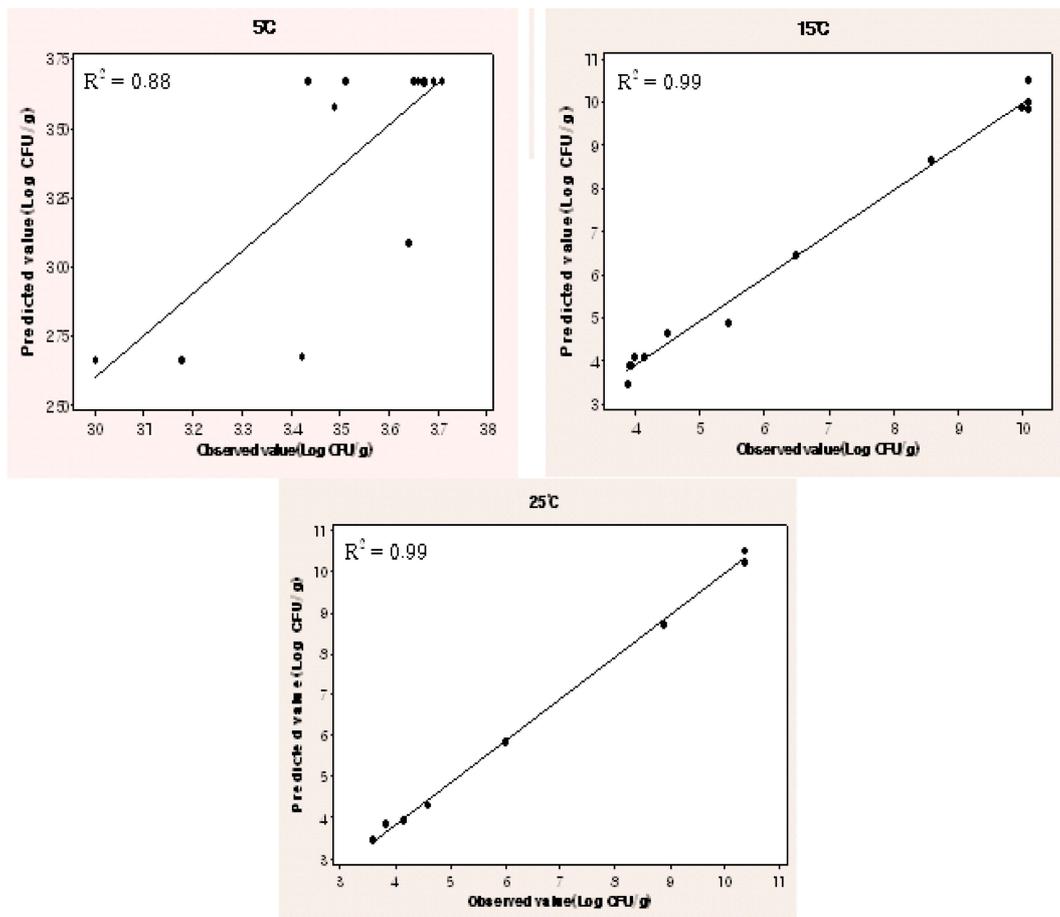


Fig. 3. Comparison of observed vs. predicted growth of *S. aureus* in *Suyuk* at different temperatures (5, 15, and 25°C).

et al., 2001). 본 연구에서 개발된 model에 대한 RMSE는 5, 15, 25°C에서 각각 0.11, 0.24, 0.10으로 0에 근접하게 나타났고, B_f 는 각각 1.12, 1.02, 1.03로 모두 1에 근접하게 나타났다. A_f 는 커질수록 부정확한데 온도별로 각각 1.17, 1.03, 1.03으로 나타났다. 햄, 칠면조 가슴살 및 닭 가슴살에 대해 *S. aureus*의 성장 예측모델개발 연구 중 nonlinear model을 적용한 Dengremont와 Membre의 연구 (1995)에서는 햄과 닭 가슴살의 B_f 값이 각각 1.56, 1.09로 적절하게 나타났고, Eifert 등(1996)이 직접 개발한 *S. aureus* 예측모델에서는 칠면조 가슴살의 B_f 값만 1.51로 적절하게 나타났다. 그러나 그 외의 B_f 값과 A_f 값들은 대부분이 2를 넘어 부정확한 것으로 나타났다. 이러한 결과와 비교해 볼 때 본 연구의 적합성평가 결과는 높은 것을 알 수 있다.

결론적으로 개발된 모델은 5, 15, 25°C에서 RMSE는 각각 0.11, 0.24, 0.10으로, B_f 는 각각 1.12, 1.02, 1.03으로, A_f 는 각각 1.17, 1.03, 1.03으로 나타나 통계적 적합성이 높다고 할 수 있으며, 수육에 대한 *S. aureus* 성장 예측모델로 사용 가능하다고 판단된다. 따라서 본 연구의 결과에 의해 수육을 안전하게 섭취할 수 있도록 하기 위해서는 저온(10°C 이하)에서 보관하는 것을 권장하며(Fig. 2), 만약 높은 온도에서 취급할 경우에는 신속하게 섭취하는

Table 3. The statistical indices of the response surface model for growth of *S. aureus* in *Suyuk* at different temperatures

| Growth temperatures (°C) | R ² 1) | RMSE ²⁾ | B _f ³⁾ | A _f ⁴⁾ |
|--------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| 5 | 0.88 | 0.11 | 1.12 | 1.17 |
| 15 | 0.99 | 0.24 | 1.02 | 1.03 |
| 25 | 0.99 | 0.10 | 1.03 | 1.03 |

1) R²: coefficient of determination.

2) RMSE: root mean square error.

3) B_f: bias factor.

4) A_f: accuracy factor.

것이 바람직하다. 그러나 다른 병원성 미생물들도 수육의 미생물학적 품질특성에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 추가적인 연구를 통해 온도관리 기준의 설정이 필요할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 수육에 쉽게 오염될 수 있는 *S. aureus*에 대한 성장 예측모델을 적용하고, 이를 비교하여 수육을 안

전하게 관리하기 위한 적절한 모델을 제시하고자 하였다. 온도에 따른 *S. aureus*의 성장곡선은 5, 15, 25°C의 보관 온도에서 측정하였다. 수육에 오염된 *S. aureus*의 성장결과를 기초로 온도에 따라 Baranyi model과 Gompertz model을 이용하여 SGR와 LT를 산출하였다. 두 모델에 대하여 R²과 RMSE를 산출하여 통계적인 적합성을 비교 하였으며 그 결과 Baranyi model에서는 각각 0.98, 0.27, Gompertz model에서는 각각 0.84, 0.84로 나타나 Baranyi model이 온도변화에 따라 *S. aureus* 생육을 예측하기 위한 이차모델의 변수 값으로 사용하는데 더 적합하였다. RSM을 이용한 2차 모델에서는 R²이 5, 15, 25°C에서 각각 0.88, 0.99, 0.99로 나타나 실험값과 예측값의 상관관계가 높았다. 또한 RMSE는 온도별로 각각 0.11, 0.24, 0.10로 나타났다, B₁는 각각 1.12, 1.02, 1.03로, A₁는 각각 1.17, 1.03, 1.03로 나타나 통계적 적합성이 높다고 할 수 있다. 따라서 개발된 모델을 이용할 경우 수육의 다양한 조리환경과 온도에 따른 *S. aureus* 성장을 추정할 수 있으며, 이를 위해 평가에서 충분히 활용할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 2008년도 영남대학교 학술연구조성비에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- Baranyi, J. and Roberts, T. A. (1995) Mathematics of predictive food microbiology. *Int. J. Food Microbiol.* **25**, 61-75.
- Baranyi, T., Robinson, T. P., Kaloti, A., and Mackey, B. M. (1995) Predicting growth of *Brochothrix thermosphacta* at changing temperature. *Int. J. Food Microbiol.* **27**, 61-75.
- Baranyi, J., Ross, T., Roberts, T. A., and McMeekin, T. A. (1996) Effects of parameterization on the performance of empirical models used in 'predictive microbiology'. *Food Microbiol.* **13**, 83-91.
- Bean, N. H., Goulding, J. S., Matthew, T. D., and Angulo F. J. (1997) Surveillance for foodborne disease outbreaks-United States, 1988-1992. *J. Food Prot.* **60**, 1265-1286.
- Bemrah, N., Sanaa, M., Cassin, M. H., Griffiths, M. W., and Cerf, O. (1998) Quantitative risk assessment of human listeriosis from consumption of soft cheese made from raw milk. *Prev. Vet. Med.* **37**, 129-145.
- Bharathi, S., Ramesh, M. N., and Varadaraj, M. C. (2001) Predicting the behavioural pattern of *Escherichia coli* in minimally processed vegetables. *Food Control* **12**, 275-284.
- Castillejo-Rodriguez, A. M., Gimeno, R. M. G., Cosano, G. Z., Alcalá, E. B., and Perez, M. R. R. (2002) Assessment of mathematical models for predicting *Staphylococcus aureus* growth in cooked meat products. *J. Food Prot.* **65**, 659-665.
- Chung, M. S. (2007) Study on the risk management for risk reduction of *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat foods (II). The final report of Korea Food and Drug Administration research project. Korea Health Industry Development Institute pp.157-185.
- Dengremont, E. and Membre, J. M. (1995) Statistical approach for comparison of the growth rates of five strains of *Staphylococcus aureus*. *Appl. Environ. Microbiol.* **61**, 4389-4395.
- Duffy, L. L., Vanderline, P. B., and Grau, F. H. (1994) Growth of *Listeria monocytogenes* on vacuum-packed cooked meats: effects of pH, Aw, nitrite and sodium ascorbate. *Int. J. Food Microbiol.* **23**, 377-390.
- Eifert, J. D., Gennings, C., Carter Jr, W. H., Duncan, S. E., and Hackney, C. R. (1996) Predictive model with improved statistical analysis of interactive factors affecting the growth of *Staphylococcus aureus* 196E. *J. Food Prot.* **59**, 608-614.
- Fujikawa, H. and Morozumi, S. (2006) Modeling *Staphylococcus aureus* growth and enterotoxin production in milk. *Food Microbiol.* **23**, 260-267.
- Fujikawa, H., Yano, K., and Morozumi, S. (2006) Model comparison for *Escherichia coli* growth in Pouched Food. *J. Food Hyg. Soc. Japan* **47**, 115-118.
- Gibson, A.M., Bratchell, N., and Roberts, T. A. (1988) Predicting microbial growth: growth response of *Salmonella* in laboratory medium as affected by pH, sodium chloride and storage temperature. *Int. J. Food Microbiol.* **6**, 155-178.
- Gospavic, R., Kreyenschmidt, J., Bruckner, S., Popov, V., and Haque, N. (2008) Mathematical modelling for predicting the growth of *Pseudomonas* spp. in poultry under variable temperature conditions. *Int. J. Food Microbiol.* **127**, 290-297.
- Jung, I. C., Moon, Y. H., and Kang, S. J. (2004) Effects of addition of Mugwort powder on the physicochemical and sensory characteristics of boiled pork. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **24**, 15-22.
- Kang, Y. S., Yoon, S. K., Jwa, S. H., Lee, D. H., and Woo, G. J. (2002) Prevalence of *Staphylococcus aureus* in Kimbap. *J. Fd. Hyg. Safety* **17**, 31-35.
- Karl, M. and Da-Wen, S. (1999) Predictive food microbiology for the meat industry; a review. *Int. J. Food Microbiol.* **52**, 1-72.
- Kim E. J. (2004) Analysis of microbiological hazards and quantitative microbial risk assessment of *Staphylococcus aureus* inoculated onto potentially hazardous foods in school foodservice operations. MS thesis, Yonsei Univ., Seoul, Korea.
- Korea Food and Drug Administration. Foodborne Illness Statistics. Available from: <http://www.kfda.go.kr>. Accessed Mar. 20, 2009.
- Korean Dietetic Association (2007) The Standard Recipe In: A Guideline for Foodservice Management, p. 283, Seoul, Korea.
- Koseki, S. and Isobe, S. (2005) Prediction of pathogen growth on iceberg lettuce under real temperature history during distribution from farm to table. *Int. J. Food Microbiol.* **104**, 239-248.
- Lee, H. M., Lee, G. Y., Yoon, E. K., Kim, H. J., Kang, Y. S., Lee, D. H., Park, J. S., Lee, S. H., Woo, G. J., Kang, S. H.,

- Yang, J. S., and Yang, K. H. (2004) Computation of maximum edible time using monitoring data of *Staphylococcus aureus* in Kimbap and Food MicroModel. *J. Fd. Hyg. Safety* **19**, 49-51.
24. Lindqvist, R., Sylven, S., and Vagsholm, I. (2002) Quantitative microbial risk assessment exemplified by *Staphylococcus aureus* in unripened cheese made from raw milk. *Int. J. Food Microbiol.* **78**, 144-170.
25. Park, S. Y., Choi, J. W., Chung, D. H., Kim, M. G., Lee, K. H., Kim, K. S., Bahk, G. J., Bae, D. H., Park, S. K., Kim, K. Y., Kim, C. H., and Ha, S. D. (2007) Development of a predictive mathematical model for the growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in sesame leaves. *Food Sci. Biotechnol.* **16**, 238-242.
26. Pereira, M. L., Carmo do, L. S., Santos dos, E. J., and Bergdoll, M. S. (1994) *Staphylococcus* food poisoning from cream-filled cake in metropolitan area of south-eastern Brazil. *Rev. Saude Publica* **28**, 406-409.
27. Ross, T. (1996) Indices for performance evaluation of predictive model in food microbiology. *J. Appl. Bacteriol.* **81**, 201-508.
28. Ross, T. (1999) Predictive food microbiology models in the meat industry. Meat and Livestock Australia, Sydney, Australia, p. 196.
29. Sutherland, J. P., Bayliss, A. J., and Robert, T. A. (1994) Predictive modelling of growth *Staphylococcus aureus*: the effects of temperature, pH and sodium chloride. *Int. J. Food Microbiol.* **21**, 217-236.
30. Tatini S, R. (1973) Influence of food environments on growth of *Staphylococcus aureus* and production of various enterotoxins. *J. Milk Food Technol.* **36**, 559-563.
31. Tirado, C. and Schimdt, K. (2001) WHO surveillance program for control of food-borne infections and intoxication: preliminary results and trends across greater Europe. *J. Infect.* **43**, 80-84.
32. Whiting, R. C. (1995) Microbial modelling in foods. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* **35**, 467-494.
33. Yang, S. E., Yu, R. C., and Chou, C. C. (2001) Influence of holding temperature on the growth and survival of *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus* and the production of *Staphylococcus* enterotoxin in egg products. *Int. J. Food Microbiol.* **63**, 99-107.

(Received 2009.9.14/Revised 1st 2010.4.20, 2nd 2010.6.7/
Accepted 2010.6.9)