

Original Article

어린잎채소의 생산·가공 공정 중 미생물 오염도 분석 및
총균수 예측모델 개발강미선^{1,2} · 김현정^{1,3,*}¹과학기술연합대학원대학교 식품생명공학, ²한국식품연구원 안전유통연구단,
³한국식품연구원 식품융합연구본부Analysis of Microbial Contamination in Microgreen from Harvesting and Processing Steps and
the Development of the Predictive Model for Total Viable CountsMi Seon Kang^{1,2}, Hyun Jung Kim^{1,3,*}¹Department of Food Biotechnology, University of Science and Technology
²Food Safety and Distribution Research Group, Korea Food Research Institute
³Food Convergence Research Division, Korea Food Research Institute

Abstract: This study was performed to assess the microbiological quality and safety of microgreen sampled from harvesting farms and food processing plant in Korea. The samples were analyzed for total viable counts, coliforms, Enterobacteriaceae, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Bacillus cereus*, and *Staphylococcus aureus*. Total viable counts were highly contaminated in samples collected from farms (7.7~8.2 log CFU/g) and the final products (5.8~7.8 log CFU/g), respectively. *B. cereus* was detected less than 100 CFU/g, which was satisfied with Korean standards (<1,000 CFU/g) of fresh-cut produce. A predictive model was developed for the changes of total viable counts in microgreens during storage at 5~35°C. The predictive models were developed using the Baranyi model for the primary model and the square root model for the secondary model. The results obtained in this study can be useful to develop the safety management options along the food chain, including fresh-cut produce storage and distribution.

Key words: Microgreens, microbial contamination, total viable counts, predictive model

I. 서 론

최근 1인 가구의 증가와 소비자의 생활수준 향상에 따라 편리성과 영양소를 고루 갖춘 신선편의식품에 대한 수요가 증가하고 있다(Lee et al. 2016; Kim et al. 2019a). 국내 신선편의식품 시장규모는 1990년도 농산물 산지유통센터 건립을 시작으로 매년 성장을 거듭하여 2018년 약 8000억에서

2020년 기준 약 1조원으로 추정된다(Kim et al. 2019b). 국내 유통되는 신선편이 채소류에는 양상추, 치커리, 양배추, 방울토마토 등 그 종류가 다양하다. 그 중 샐러드, 쌈채소 등으로 많이 사용되는 어린잎채소 및 새싹채소는 전체 신선편이 상품의 약 32%를 차지할 정도로 그 수요가 높다(Lee 2012).

어린잎채소는 국내 관리 부처에 따라 신선편의농산물과 신선편의식품의 두 가지 유형으로 생산될 수 있다. 국립농산물 품질관리원에서는 신선편의농산물을 ‘농산물을 편리하게 조리할 수 있도록 세척, 박피, 다듬기 또는 절단과정을 거쳐 포장되어 유통되는 조리용 채소류, 서류 및 버섯류 등의 농산물’로 정의하고 있으며, 식품의약품안전처에서는 신선편의식품을 ‘농·임산물을 세척, 박피, 절단 또는 세절 등의 가공공

*Corresponding author: Hyun Jung Kim, Food Convergence Research Division, Korea Food Research Institute, Korea Food Research Institute, 245, Nongsaeongmyeong-ro, Iseo-myeon, Wanju-Gun, Jeollabuk-do, Korea
Tel: +82-63-219-9271, 9013, Fax: +82-63-219-9876
E-mail: hjkim@kfri.re.kr

Received November 30, 2021; revised December 8, 2021; accepted December 16, 2021

정을 거치거나 이에 단순히 식품 또는 식품첨가물을 가한 것으로서 그대로 섭취할 수 있는 샐러드, 새싹채소 등의 식품'으로 정의하고 있다(NAQS 2020; MFDS 2021a). 신선편의 농산물의 경우 농산물 표준규격에 따라 생산되고 있으나 신선편의농산물 품질 규격의 경우 별도의 미생물 관리 기준 없이 농산물의 색깔, 신선도, 이취, 이물질 여부 등 외관상의 상태에 대해서만 관리하고 있기 때문에 제품의 안전성 측면에 대한 우려가 계속되고 있다(Kim et al. 2019a). 최근에는 신선편의농산물에 의한 소비자의 안전 및 식품안전 사고 예방을 위해 포장 표면에 세척, 가열조리 후 섭취를 권고하는 안전사항 문구 표시를 의무화 하였다(NAQS 2020).

반면, 신선편의식품 유형으로 생산되는 제품은 식품위생법상 자가품질검사기준에 따라 1개월 마다 1회 이상 식약처에서 고시하는 검사항목에 대해 자가품질검사를 실시하여 이상이 있는 경우 제품의 회수, 폐기 및 개선 조치 등을 시행해야 한다(MFDS 2021b). 현재 식품공전상 신선편의식품의 미생물 규격은 *Escherichia coli*, 장출혈성대장균(*Enterohemorrhagic E. coli*), *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus* (해산물 함유 제품에 한함), *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*에 대해 관리되고 있다(MFDS 2021a).

현재까지 국내에서는 신선채소류의 섭취로 인한 식중독 발생이 보고되지 않았으나, 국외에서는 지속적으로 식중독 사고가 발생하고 있다. 특히 2011년 독일에서 일어난 이집트산 호로과 새싹채소(Fenugreek sprouts)에 감염된 *E. coli* O104:H4에 의한 대규모 식중독 사고는 약 4000명의 감염자수와 53명의 사망자수를 기록한 바 있다(Uphoff et al. 2014). Carstens et al.(2019)에 따르면 2010년부터 2017년까지 미국의 2개 이상의 주에서 환자가 발생한 식중독 사고(multistate outbreak)를 분석한 결과, 총 85건이 신선채소류와 관련되었으며 원인균은 병원성 대장균, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. 등으로 조사되었다. 이에 미국에서는 식품안전현대화법(Food Safety Modernization Act., FSMA)의 제정 및 개정을 통해 1. 농업용수, 2. 생물토양 개량, 3. 새싹관리, 4. 가축 및 야생동물, 5. 작업자 교육 및 보건위생, 6. 기계설비 및 작업장에 대해 관리기준을 설정하여 농산물의 안전한 소비에 노력을 기울이고 있다(FDA 2021). 국내에서는 농산물 재배시설 관리, 품목별 표준재배지침, 이력추적관리제도 등을 통해 농산물의 안전성을 보증하는 농산물우수관리(Good Agricultural Practice, GAP)를 도입, 시행하고 있으나 농산물에 대한 미생물 위해요소 관리 기준 설정은 미흡한 실정이다.

예측미생물학은 다양한 환경에서 미생물의 성장, 사멸 등을 예측할 수 있는 수학적 모델을 연구하는 학문으로 이를 바탕으로 미생물의 위해를 정량적으로 표현할 수 있다(Kim 2009; Yoon 2010). 예측미생물학을 기반으로 하는 위해평가(risk assessment)는 미생물학적 위해 요소를 관리하고 식중

독 사고를 예방하기 위한 식품의 안전관리기준 설정에 근거를 제시한다(Van Abel et al. 2017). 어린잎채소와 같은 신선편의식품은 농산물 자체의 신선도와 조직감을 유지해야 하는 제품의 특성상 살균소독제를 이용한 세척 공정을 통해 미생물을 저감화하여 제품을 출고한다. 그러나 이러한 비가열 살균 방식은 식품에 부착되어 있는 미생물을 제거하는데 한계가 있어 일반적인 신선채소류의 경우 약 $10^4 \sim 10^6$ CFU/g의 총균수가 존재하며, 채소 샐러드 제품에서 저온 및 중온성 총균수가 최대 약 10^8 CFU/g의 오염도를 나타낸 바 있다(Park et al. 2016). 이러한 미생물의 존재는 부패 미생물의 증식을 야기할 수 있고 제품의 신선도에 크게 영향을 미친다.

따라서 본 연구는 어린잎채소의 재배환경차이, 가공단계, 제품 생산까지의 다양한 위생지표세균 및 식중독균의 오염수준을 측정하여 어린잎채소의 미생물학적 안전성을 평가하고, 어린잎채소에서 높은 수준으로 측정되는 총균수의 예측모델 개발을 통해 신선편의 농식품의 미생물 위해요소 관리에 바탕이 되는 정보를 제공하기 위해 수행되었다.

II. 연구내용 및 방법

1. 어린잎채소 시료채취

어린잎채소(비타민, *Brassica campestris* var. *narinosa*)의 생산 및 가공 공정 중 미생물 위해인자를 정성, 정량적으로 분석하기 위하여 2013년 6~7월까지 경기도, 충청남도 및 충청북도 소재 어린잎채소 생산 농가를 방문하여 생산단계 시료(원료농산물 및 환경시료)를 채취하였으며, 2012년 4월~2013년 7월까지 충청남도 소재 신선편의식품 가공공장을 방문하여 공정별(원료, 세척, 행균, 탈수, 완제품) 어린잎채소 시료를 채취하였다(Oh et al. 2016). 각 단계에서 멸균장갑과 멸균 플라스틱백을 이용하여 무균적으로 시료를 채취하여 4~10°C의 아이스박스에 보관하여 이동하였으며, 시료채취 후 6시간 이내에 실험을 진행하였다.

2. 위생지표세균의 정량분석

어린잎채소의 미생물학적 안전성 및 품질을 평가하기 위해 총균수, 대장균군, 장내세균에 대해정량분석을 실시하였다. 총균수(total viable counts)는 식품공전(MFDS 2021a)에 따라 시료 25 g에 phosphate-buffered saline (PBS) 225 mL를 가하여 균질기(Stomacher® 400Circulator, Seward Laboratory Systems Inc., Port Saint Lucie, FL, USA)를 이용하여 260 rpm에서 2분간 균질화시킨 후 시험액 1 mL를 취하여 PBS 9 mL에 단계 희석하였다. 각 단계 희석액 1 mL를 평판에 분주하고 Plate Count Agar (PCA, Merck, Darmstadt, Germany)를 약 15 mL씩 부어 고르게 혼합한 후 37°C에서 24~48시간 배양하여 형성된 집락수를 측정하였다.

대장균군(coliforms)은 연속한 단계별 희석액(10, 1, 0.1 mL) 각각 5개씩을 튜람관을 넣은 Brilliant green bile

lactose broth (BGLB, Merck)에 접종하고 37°C에서 48시간 배양하여 가스 발생 유무를 확인하였다. 가스 발생이 확인된 배양액을 Endo agar (Merck)에 희석 배양 후 전형적인 집락이 확인되면 Nutrient agar (Merck)에 희석 배양하였다. 성장한 집락에 대해 그람 음성, 무아포성 간균이 확인되면 대장균군 양성으로 확정하고, 최확수표(most probable number, MPN)에 따라 대장균군수를 산출하였다.

장내세균은 ISO 방법(2004)에 따라 일반세균수와 동일한 시험액 1 mL를 평판에 분주하고 Crystal-violet neutral-red bile glucose agar (VRBD, Merck)를 약 15 mL씩 부어 고르게 혼합하여 37°C에서 24시간 배양 후 분홍, 빨강, 보라색을 띠는 집락을 계수하여 장내세균수를 산출하였다.

3. 식중독 균 오염도 분석

어린잎채소 완제품 시료를 대상으로 식품공전(MFDS 2021a)에 따라 *B. cereus* 정량분석 및 주요 식중독균 4종 (*Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, *S. aureus*)에 대해 정성분석을 실시하였다.

*B. cereus*의 분석은 일반세균수 분석과 동일한 시험액 1 mL를 단계 희석한 후, Mannitol-egg yolk-polymyxine agar (MYEP, Merck)에 각 단계 희석액을 0.2 mL씩 5장에 도말하여 총 접종액이 1 mL이 되게 한 후 30°C에서 24시간 배양하였다. 성장한 집락 주변에 lecithinase를 생성하는 혼탁한 환이 있는 분홍색 집락을 계수하였다. 계수한 평판에서 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 TSA (Merck)에 희석 도말하여 VITEK® 2 compact로 *B. cereus*를 최종 확인하고 정량 하였다.

주요 식중독균의 정성분석은 시료 25 g에 각 균별 배양액을 225 mL 가한 후 균질기를 이용하여 1분간 균질화 시킨 후 *L. monocytogenes*는 30°C, 나머지 균주는 37°C에서 18~24시간 배양하였다. 증균 배양액을 취하여 각 균별 선택 배지에 접종하여 *L. monocytogenes*는 30°C, 나머지 균주는 37°C에서 24시간 배양하였다. 의심되는 집락을 TSA에 희석 도말한 후 37°C에서 24시간 배양한 다음 VITEK® 2 compact로 최종 동정하였다.

4. 총균수 증식예측모델

어린잎채소에서 총균수의 예측모델 개발을 위해 실온조건과 냉장조건에서 보관한 어린잎채소 시료를 각각 5, 15, 25, 35°C에 저장하고 일정 시간 간격 마다 시료를 취하여 총균수를 측정하였다. 시간에 따른 균수 변화를 Baranyi model (Eq. (1)) (Baranyi & Roberts 1994)에 피팅하여 1차 모델을 개발하였으며, 최대성장률(μ_{max}), 유도기(LPD; lag phase duration), 초기 균수(N_0) 및 최대 성장 균수(N_{max}) 등의 kinetic parameter를 산출하였다.

$$N_t = N_0 + \mu_{max} \times A_t - \ln \left[1 + \frac{\exp(\mu_{max} \times A_t) - 1}{\exp(N_{max} - N_0)} \right] \quad (1)$$

$$A_t = t + \frac{1}{\mu_{max}} \ln \left(\frac{\exp(-\mu_{max} \times t) + h_0}{1 + h_0} \right)$$

A_t : adjustment function; μ_{max} : maximum specific growth rate; N_0 : initial bacterial cell count; N_{max} : final bacterial count; h_0 : a parameter defining the initial physiological state of the cells; t : time.

어린잎채소에서 총균수의 2차 예측모델은 Square root model (Ratkowsky et al. 1982)을 이용하여 저장온도에 따른 최대성장률의 변화를 예측하였다(Eq.(2)).

$$\text{Square root model: } \mu_{max} = [a(T - T_{min})]^2 \quad (2)$$

a : the slopes of the regression lines for μ_{max} ; T : temperature; T_{min} : the theoretical minimum temperature for growth.

III. 결과 및 고찰

1. 생산환경별 어린잎채소의 위생지표세균 오염도 분석

어린잎 채소의 생산단계에서 미생물 위해인자 분석을 위하여 생산형태(토경, 수경)가 다른 3종류의 농장(Type I-III)에서 채취한 어린잎채소 시료에 대해 총균수 및 대장균군을 정량분석한 결과, 총균수의 경우 7.7~8.2 log CFU/g의 높은 수준으로 정량 되었으며, 대장균군의 경우 2.9~3.9 log CFU/g의 오염도를 보였으며, 총균수와 대장균군 모두 농장간 유의적 차이는 나타나지 않았다($p < 0.05$) <Figure 1>. Lee et al. (2016)은 어린잎채소 생산농가의 재배환경에서 위생지표 세균과 식중독균의 오염도를 조사하였으며, 재배에 사용되는 상토에서 대장균군은 불검출 ~4.27 log CFU/g, 한 농가에서는 *B. cereus*가 3.36 log CFU/g 수준의 오염도를 나타냈다. Kim et al. (2011)의 연구에서 상추와 상추 재배환경의 미생물 오염도 평가한 결과, 상추 종자에서는 미생물이 검출되지 않았으며, 상추에 오염된 세균의 종류가 상추의 육묘에 사용되는 상토와 일치하여 상추의 재배과정에서 상토에 오염된 세균이 상추로 전이될 가능성이 있는 것으로 판단하였다. 이러한 재배환경의 미생물오염은 농산물의 오염에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 신선편의농산물의 미생물 위해를 낮추기 위해서는 토양, 용수와 같은 재배환경의 미생물 안전성 확보가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

2. 가공과정 단계별 어린잎채소의 총균수 분석

가공 공정(원료-세척-헹굼-탈수-완제품) 단계별 어린잎채소

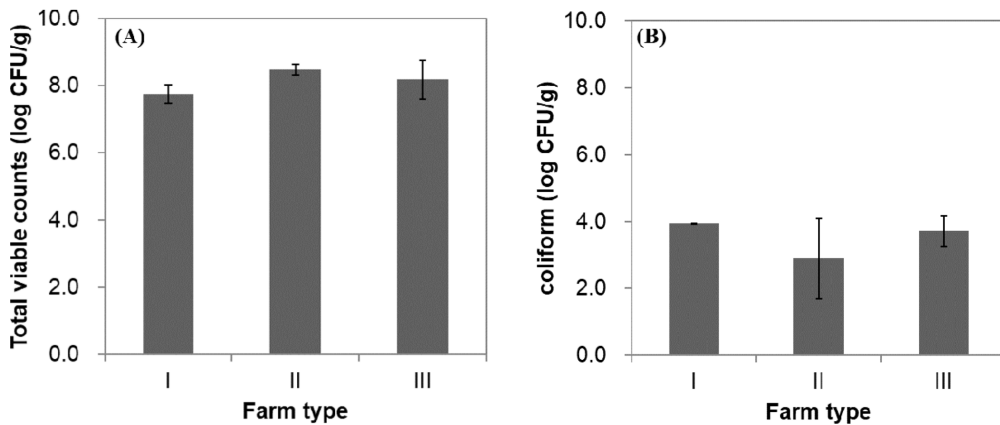


Figure 1. Microbial contamination levels in microgreens from different farm types. (A) Total viable counts, (B) coliforms

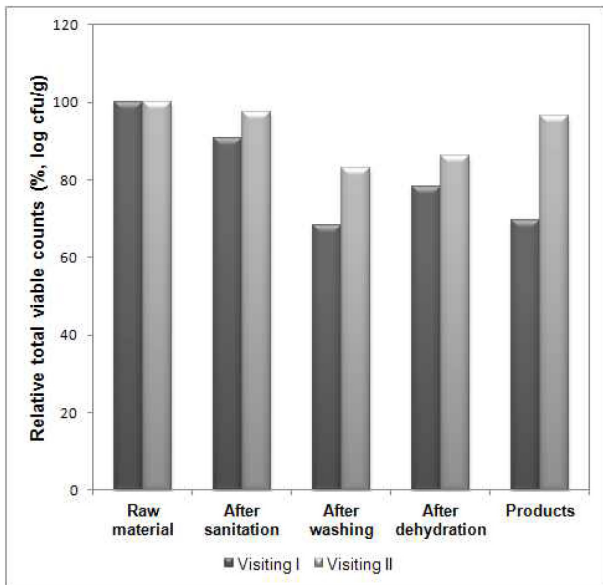


Figure 2. Total viable counts of microgreens from processing steps

의 총균수 변화를 시료 채취시기를 달리하여(visiting I: 2013.03; visiting II: 2013.07) 분석한 결과는 <Figure 2>와 같다. 가공공장에서 수집한 어린잎채소의 가공단계별 총균수 분석 결과, 초기 원료 오염도 대비 최종제품 오염도를 비교하였을 때 visiting I은 69.5%으로 감소한 반면, visiting II는 96.5%의 오염도를 보여 세척에 의한 총균수 감소효과가 낮은 것으로 나타났다. 이는 여름철 작업공간의 온도가 상대적으로 높게 유지되어 미생물의 생존에 더 유리하게 작용하였을 것으로 사료된다.

어린잎채소 원료농산물 뿐만 아니라 세척, 원료선별, 탈수 등 공정의 기계 표면의 총균수를 분석한 결과, 겨울철 시료에서는 다섯 가지 시료 채취 구역 모두 검출한계 미만으로 분석되었으며, 여름철 시료의 경우 모든 공정 표면에서 3 log

Table 1. Total viable counts of swab samples from processing machine

Environments	Visiting I ¹⁾	Visiting II ¹⁾
Sanitation water	negative	<3.0 log CFU/g
Washing water	negative	<3.0 log CFU/g
Processing environment I	negative	<3.0 log CFU/g
Processing environment II	negative	<3.0 log CFU/g
Processing environment III	negative	<3.0 log CFU/g

¹⁾The samples were collected in March 2013 (Visiting I) and in July 2013 (Visiting II)

CFU/g 미만의 세균이 오염된 것으로 확인되었다<Table 1>. Kim et al. (2019a)의 연구에서 봄과 여름에 유통중인 어린잎채소 제품의 미생물 오염도를 분석한 결과 대장균군이 각각 3.60±2.53 log CFU/g과 5.59±1.18 log CFU/g으로 여름철 제품의 오염도가 유의미하게 높게 나타나 계절별 기온의 차이가 어린잎채소에서 미생물 생존 및 증식에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3. 어린잎채소 제품의 유해미생물 오염도 분석

신선편의식품의 소비가 증가함에 따라 신선채소 및 샐러드류의 식품 섭취를 통한 식중독 사고를 예방하기 위해 국내 식품의약품안전처에서는 신선편의식품에 대해 다음과 같이 규격을 정하고 있다. 대장균(n=5, c=1, m=10, M=100), *S. aureus* (1 g당 100 이하), *Salmonella* spp. (n=5, c=0, m=0/25 g), *B. cereus* (1 g당 1000 이하), 장출혈성 대장균(n=5, c=0, m=0/25 g), *C. perfringens* (1 g당 100 이하)로 관리하고 있으며, 대장균군에 대한 정량기준은 설정되어 있지 않다(MFDS 2021a).

식품공장에서 시판되고 있는 어린잎채소 제품의 미생물학적 안전성 및 유해 미생물 오염도를 조사하기 위해 위생지표세균 및 *B. cereus*에 대해 정량분석을, 주요 식중독균 4종

Table 2. Microbial contamination of fresh vegetable products produced in plant factory

Products	Quantitative analysis (CFU/g)				Qualitative analysis ¹⁾				
	Total viable counts	<i>E. coli</i>	Coliforms	<i>B. cereus</i>	Enterobacteriaceae	A	B	C	D
Sample1	5.7×10^5	-	-	7.0×10^1	8.2×10^5	+	-	-	-
Sample2	5.9×10^7	-	-	2.0×10^1	2.8×10^7	+	-	-	-

¹⁾Qualitative analysis was conducted for detection of foodborne pathogens. A: *S. aureus*; B: *Salmonella* spp.; C: *V. parahaemolyticus*; D: *L. monocytogenes*

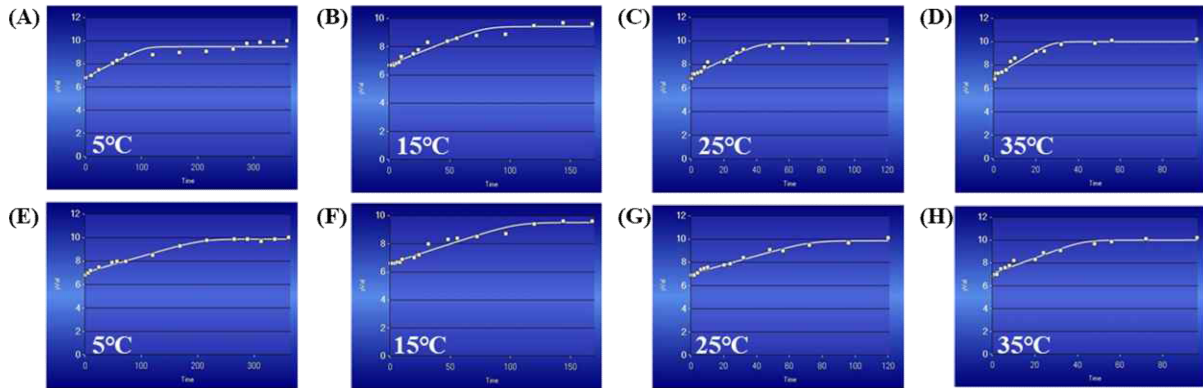


Figure 3. Changes of total viable counts on microgreen in different temperature.

(A)-(D): microgreens were stored in room temperature before experiments; (E)-(H): microgreens were stored in refrigeration temperature before experiments

에 대하여 정성분석을 실시하였다<Table 2>. 총균수, 대장균, 대장균군, 장내세균 및 *B. cereus*의 정량분석 결과, 시료마다 차이가 있었으나 총균수는 5.8~7.8 log CFU/g, 장내세균은 5.9~7.4 log CFU/g 수준이었으며, 대장균과 대장균군은 음성으로 확인되었다. *B. cereus*는 0.3~0.8 log CFU/g 수준으로 검출되었으나 식품규격인 1 g당 1000 이하를 만족하여 어린잎채소 제품 출고단계에서 *B. cereus* 식중독 위해는 매우 낮은 것으로 판단되었다. 주요 식중독균의 정성분석 결과, 두 제품 모두 *S. aureus*가 양성으로 검출되었으나 이외 *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *L. monocytogenes*는 모두 음성으로 확인되었다.

4. 어린잎채소에서 총균수 예측모델 개발

생산환경부터 완제품까지 어린잎채소의 미생물 오염도를 조사한 결과, 총균수 기준 약 $10^6 \sim 10^8$ CFU/g으로 기존 보고와 유사한 수치로 확인되었는데, 이는 토양, 농업용수 등 자연에 상재하는 균이 재배 과정에서 농산물에 접촉하여 번식하는 것으로 사료된다. 이러한 미생물의 생존 및 증식은 제품 출고 후 유통-저장-판매 단계에서 신선채소의 선도유지 및 안전성관리에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 어린잎채소의 유통 중 품질관리 및 안전성 확보를 위한 근거 자료로 활용하고자 온도에 따른 총균수의 예측모델을 개발하였다. 또한 농산물의 미생물 제어 및 저장성을 높이기 위한 수확 후 예냉 처리 유무에 따른 총균수의 증식 패턴을

비교 분석하기 위해 실온저장과 냉장저장으로 실험군을 나누어 실험을 진행하였다.

실온과 냉장조건에서 보관한 어린잎채소 시료를 각각 5, 15, 25, 35°C에 저장하여 온도별 1차 예측모델을 개발한 결과는 <Figure 1, Table 3>과 같다. 1차 모델링 결과 관찰되지 않은 LPD를 제외한 μ_{max} 에 대해 Square root model을 이용하여 온도를 변수로 하는 2차 모델을 개발하였으며 도출된 모델은 <Table 4>와 같다. Baranyi model 피팅 결과 초기 오염수준과 최대 증식수준은 각각 6.6~7.1 log CFU/g, 9.4~10.0 log CFU/g으로 5~35°C 조건에서 두 실험군 모두 평균 약 3 log CFU/g이 증식하는 것으로 나타났다. 두 실험군 모두 뚜렷한 LPD를 보이지 않았으며, 최대생장률의 경우 본 실험 전 실온에서 보관한 실험군이 냉장온도에서 보관한 실험군과 비교하여 약 1.6~2.0배 높은 증식 속도를 나타내어 수확 후 예냉 처리가 미생물 증식 제어에 효과가 있다는 것을 확인하였다. 또한 두 실험군 모두 온도가 증가함에 따라 증식 속도가 빨라지는 패턴을 보였는데, 이는 신선채소류의 가공-유통 환경의 저온유지 및 온도관리의 중요성을 의미한다.

그러나 저온에서 총균수의 증식 속도는 감소되었지만 최대 증식수준에서는 온도별 차이가 없어 저온에서 성장 가능한 미생물이 어린잎채소 품질관리에 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료된다. 아울러 본 연구에서 식중독 세균의 오염도 측면에서는 어린잎채소의 미생물 위해 정도가 낮았지만 비병원성세균인 총균수의 오염도가 높게 나타나 다양한 미생

Table 3. Primary model kinetic parameters of the total viable counts in microgreens

Before experiments	Temperature (°C)	Total viable counts (log CFU/g)		SGR ³⁾ (log CFU/g/h)	R ²
		Initial	Final		
RT ¹⁾	5	6.83±0.26	9.50±0.14	0.02±0.01	0.88
	15	6.76±0.11	9.43±0.13	0.03±0	0.95
	25	7.08±0.11	9.80±0.12	0.07±0.01	0.95
	35	7.05±0.12	10.01±0.14	0.11±0.01	0.96
RF ²⁾	5	7.03±0.07	9.89±0.07	0.01±0	0.99
	15	6.61±0.1	9.52±0.15	0.03±0	0.96
	25	7.01±0.07	9.87±0.12	0.04±0	0.97
	35	7.08±0.21	10.01±0.12	0.07±0.01	0.97

¹⁾RT: room temperature

²⁾RF: refrigeration temperature

³⁾SGR: specific growth rate

Table 4. Secondary model of the total viable counts in microgreens

Before experiments	Secondary Model
RT ¹⁾	$\mu_{max}=(0.007(T-0.004))^2$
RF ²⁾	$\mu_{max}=(0.004(T-0.298))^2$

¹⁾RT: room temperature

²⁾RF: refrigeration temperature

물 균총이 식품에 존재하고 있으며, 이로 인해 제품의 가공 및 유통단계에서 부적절한 온도관리 시 농산물의 품질에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 어린잎채소의 생산 및 가공공정의 다양한 위생 지표세균 및 식중독 미생물 오염도를 분석하여 어린잎채소의 미생물학적 안전성을 평가하고, 어린잎채소의 안전관리 지표로 활용될 수 있는 총균수의 예측모델을 개발하여 신선편의 농식품의 미생물 위해요소 관리를 위한 기초정보를 제공하기 위해 수행되었다. 경기도, 충청남도 및 충청북도 지역의 어린잎채소 농가 및 신선편의식품 가공공장을 방문하여 어린잎채소 시료를 수집하였으며, 총균수와 대장균, 대장균군, 장내세균 등의 위생지표세균과 *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *L. monocytogenes*, *B. cereus* 등의 식중독관련 미생물의 오염도를 분석하였다. 서로 다른 농장에서 수집한 어린잎채소의 총균수 오염도는 7.7~8.2 log CFU/g으로 높은 오염도를 보였다. 식물공장에서 생산하는 어린잎채소 제품은 5.8~7.8 log CFU/g 수준의 총균수 오염도를 나타냈으며, *B. cereus*는 0.3~0.8 log CFU/g 수준으로 검출되어 식품규격인 1 g당 1000 이하를 만족하였다. 주요 식중독균의 정성분석 결과, *S. aureus*는 두 제품 모두 양성으로 검출되었으나, 이외 병원성 미생물은 검출되지 않았다.

보관 전 온도를 달리한 어린잎채소의 총균수 예측모델 개발 결과, 실험을 진행한 5~35°C에서 유도기는 관찰되지 않았으며, 두 실험군 모두 평균 약 3 log CFU/g이 증식하는 것으로 나타났다. 최대성장률의 경우 실온보관 실험군이 냉장보관 실험군에 비해 약 1.6~2.0배 높은 증식 속도를 나타내어 수확 후 예냉 처리가 미생물 증식을 제한하는데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

신선편의 농산물은 재배, 수확, 가공 및 취급 과정에서 다양한 경로를 통해 병원균에 의한 오염이 발생할 수 있으며 어린잎채소와 같은 신선편의식품의 신선도 유지와 부패 방지를 위한 미생물 관리 기준이 더욱 강화되어야 할 필요가 있다.

Acknowledgments

This research was supported by a research grant of Korea Food Research Institute and of Export promotion technology development program by iPET (Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). We appreciate for the technical service provided by Tae Young Oh.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant this article was reported.

References

Baranyi J, Roberts TA. 1994. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *Int. J. Food Microbiol.*, 23(3-4):277-294.
 Carstens CK, Salazar JK, Darkoh C. 2019. Multistate outbreaks of foodborne illness in the United States associated with fresh pro-

- duce from 2010 to 2017. *Front. Microbiol.*, 10:2667.
- ISO. 2004. Microbiology of food and animal feeding stuffs-horizontal methods for detection and enumeration of Enterobacteriaceae. International Organization for Standardization, Switzerland.
- Kim HJ. 2009. New Technology-Application of Predictive Microbiology in Food Safety. *Bull. Food Tech.*, 22(2):339-348.
- Kim SR, Chu H, Yi SW, Jang YJ, Shim WB, Nguyen BH, Kim WI, Kim HJ, Ryu K. 2019a. Investigation of hazardous microorganisms in baby leafy vegetables collected from a Korean market and distribution company. *J. Food Hyg. Saf.*, 34(6):526-533.
- Kim SR, Lee JY, Lee SH, Kim WI, Park KH, Yun HJ, Kim BS, Chung DH, Yun JC, Ryu KY. 2011. Evaluation of microbiological safety of lettuce and cultivation area. *J. Food Hyg. Saf.*, 26(4):289-295.
- Kim SH, Lee GY, Heo SY, Lee W. 2019b. Research on Fresh-cut Fruits and Vegetables. Korea Rural Economic Institute Research Report, pp1-307.
- Lee CG. 2012. Production trend and task of fresh-cut produce. *Food Preserv. Process. Ind.*, 11(2):12-18.
- Lee ES, Kwak MG, Kim WI, An HM, Lee HS, Ryu SH, Kim HY, Ryu JG, Kim SR. 2016. Investigation of microbial contamination level during production of baby leafy vegetables. *J. Food Hyg. Saf.*, 31(4):264-271.
- Oh TY, Baek SY, Choi JH, Jeong MC, Koo OK, Kim SM, Kim HJ. 2016. Analysis of foodborne pathogens in *Brassica campestris* var. *narinosa* microgreen from harvesting and processing steps. *J. Appl. Biol. Chem.*, 59(1):63-68.
- Park GJ, Gu MS, Jeong MC. 2016. Sterilization and washing technology of fresh-cut produce. *Food Preserv. Process. Ind.*, 15(1): 18-25.
- Ratkowsky DA, Olley J, McMeekin T, Ball A. 1982. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *J. Bacteriol.*, 149(1):1-5.
- Uphoff H, Hedrich B, Strotmann I, Arvand M, Bettge-Weller G, Hauri A. 2014. A prolonged investigation of an STEC-O104 cluster in Hesse, Germany, 2011 and implications for outbreak management. *J. Public Health*, 22(1):41-48.
- Van Abel N, Schoen ME, Kissel JC, Meschke JS. 2017. Comparison of risk predicted by multiple norovirus dose-response models and implications for quantitative microbial risk assessment. *Risk Anal.*, 37(2):245-264.
- Yoon Y-H. 2010. Principal theory and application of predictive microbiology. *Food Sci. Ind.*, 43(1):70-74.
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2021a, Food Code. Available from <https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode>, [cited November, 2021]
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2021b, Food Sanitation Act, Available from <https://www.law.go.kr/법령/식품위생법시행규칙>, [cited November, 2021]
- National Agricultural Products Quality Management Service (NAQS), 2021, Agricultural products standards, Available from [https://www.law.go.kr/행정규칙/농산물표준규격/\(2020-16,20201014\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/농산물표준규격/(2020-16,20201014)), [cited November, 2021]
- U.S. Food and Drug Administration (FDA), 2021, FSMA Final Rule on Produce Safety. Standards for the Growing, Harvesting, Packing, and Holding of Produce for Human Consumption. Available from <https://www.fda.gov/food/food-safety-modernization-act-fsma-final-rule-produce-safety>, [cited November, 2021]

저자 정보

Mi Seon Kang(University of Science and Technology, Ph.D. course, Korea Food Research Institute, Student researcher, 0000-0001-9516-3766)
Hyun Jung Kim(University of Science and Technology, Professor, Korea Food Research Institute, Director, 0000-0002-0504-4665)