

Effects of Combined Treatment of Aqueous Chlorine Dioxide and Fumaric Acid on the Microbial Growth in Fresh-cut Paprika (*Capsicum annuum* L.)

Seung-Hun Jung · Seung-Jong Park · Ho-Hyun Chun · Kyung Bin Song*

신선편이 파프리카의 미생물 생장에 있어서 이산화염소수와 푸마르산 병합처리의 효과

정승훈 · 박승종 · 천호현 · 송경빈*

Received: 28 August 2013 / Accepted: 22 October 2013 / Published Online: 31 March 2014
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2014

Abstract The effects of combined treatment of aqueous chlorine dioxide (ClO₂) and fumaric acid on the microbial growth in fresh-cut paprika were investigated. After the combined treatment, the populations of total aerobic bacteria and inoculated *Listeria monocytogenes* in the paprika sample were reduced by 0.82 and 1.21 log CFU/g, respectively, compared to those of the control. In addition, after 10 d of storage at 10°C, the populations were decreased by 1.21 and 2.10 log CFU/g, respectively. The predictive model for the populations of total aerobic bacteria and *L. monocytogenes* in the paprika was applied during storage. The prediction equation using Gompertz model was appropriate, based on the statistical analysis such as accuracy factor and bias factor. These results suggest that the combined treatment of aqueous ClO₂ and fumaric acid can be an effective technology for microbial decontamination and it can improve microbial safety by decreasing maximum growth rate and increasing lag time of bacteria in the fresh-cut paprika.

Keywords aqueous chlorine dioxide · combined treatment · fresh-cut paprika · microorganism

서론

최근 건강 및 기능성 식품에 대한 높아진 관심으로 인해 신선편이 농산물이나 샐러드 제품에 대한 수요가 점차 증가하고 있다(Artés 등, 2009; Oms-Oliu 등, 2010). 그 중에서도 파프리카는 capsanthin, β-cryptoxanthin, zeaxanthin 등 카로티노이드계 색소를 함유하고 있고, 비타민 A, B₁, C 등이 풍부하며 매운맛은 약하고 단맛이 강해 소비자들이 주로 찾는 채소 중 하나이다(Howard 등, 1994). 파프리카는 건조하여 향신료로 이용하거나 피자나 볶음요리 등에 많이 이용되는데(Lee 등, 1995), 최근에는 별다른 조리 과정을 거치지 않고 샐러드 등의 형태로 섭취하는 경우가 많아 신선편이 파프리카의 소비가 늘고 있다.

신선편이 채소는 깎거나 자르는 등의 물리적인 가공과정을 거쳤기 때문에 조직이 약해져 빠른 품질저하가 일어날 뿐만 아니라 미생물에 의한 오염에 취약하다(González-Aguilar 등, 2004). 특히 *Listeria monocytogenes*는 5°C 이하의 냉장온도에서도 생육이 가능하여 신선편이 농산물의 중요한 위해미생물로 알려져 있다(Fang 등, 2013). 따라서 파프리카를 포함한 신선편이 채소들의 생산, 유통과정 중 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 방안이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 신선편이 파프리카의 미생물학적 안전성을 높이기 위한 방안으로써, 이산화염소수와 푸마르산의 화학적 처리를 병합시킨 허들 기술(Leistner, 2000)을 사용하여 각기 다른 살균작용으로 상승효과를 유도하였다. 이산화염소는 염소에 비해 약 2.5배 높은 산화력을 가지고 넓은 pH에 걸쳐 살균력을 나타내며, 처리 후 저장 중 잔류되지 않는 특성을 갖는다(Vandekinderen 등, 2009; Chun and Song, 2013). 또한 식품의 유기물과 반응하여 trihalomethanes 같은 발암물질을 생성하지 않고, 식품의 풍미에도 큰 영향을 주지 않는다는 장점을 갖

S.-H. Jung · S.-J. Park · H.-H. Chun · K. B. Song
Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea

*Corresponding author (K. B. Song: kbsong@cnu.ac.kr)

고 있어 과채류의 비가열 살균처리에 널리 이용되고 있다 (Keskinen 등, 2009; López-Gálvez 등, 2010). 또한, 푸마르산은 식품의 저장 중 pH를 낮춰 미생물 생육을 억제시키는 유기산의 한 종류로써, 이산화염소수와 병합처리 시 살균 효과를 증대시킬 수 있다고 알려져 있다(Kim 등, 2009a,b; Kim 등, 2010).

최근 식품의 안전성과 관련하여 다양한 농산물에서의 미생물 성장 예측 관련 예측미생물학 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다(Posada-Izquierdo 등, 2013). 특히 저장온도, 포장조건, 살균처리 등 다양한 실험조건에서 시간의 경과 따른 미생물 수를 측정된 결과를 바탕으로 다양한 수학적 모델이 개발되고 있는데(Huang, 2013), 아직 신선편이 파프리카 저장 중 미생물 수, 세척 또는 살균 처리 후의 미생물 수 예측에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 신선편이 파프리카의 미생물 수에 있어서 이산화염소수와 푸마르산의 병합 살균처리의 효과뿐만 아니라 미생물 성장 예측 연구에 널리 사용되는 Gompertz model(Lu 등, 2007)을 적용하여 저장 중 미생물 수 변화를 분석하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험 재료. 본 연구에 사용된 파프리카는 대전에서 시판되고 있는 것을 실험 당일 구입하여, 외관상태가 전체적으로 균일한 빨간색 파프리카를 선별하여 약 7×1 cm 크기의 strip 형태로 잘라서 실험에 사용하였다.

미생물 배양 및 시험균액 제조. 본 연구에 사용된 *L. monocytogenes* (ATCC 19111)는 Tryptic Soy Agar(Difco, USA)에 도말하여 37°C에서 24시간 배양 후 형성된 균주의 단일 집락을 멸균된 loop로 취해 10 mL의 Listeria enrichment broth (Difco)에 접종시켜 37°C, 150 rpm의 조건으로 24시간 진탕 배양하여 균주를 활성화하였다. 배양액을 2,000×g, 20°C에서 15분간 원심분리하여 침전된 cell pellet을 0.1%의 펩톤수를 이용하여 세척하는 과정을 두 번 반복한 후, 침전된 cell pellet을 0.1% 펩톤수로 희석하여 시험균액으로 사용하였다(Kim 등, 2009).

***L. monocytogenes* 접종.** 상기 방법으로 제조한 시험 균액을 0.1% 멸균 펩톤수를 이용하여 농도가 약 10⁶-10⁷ CFU/mL가 되도록 희석하였다. 시료와 시험 균액을 1:10 (w/v) 비율로 하여 시료를 5분간 침지시킨 후 시료 표면의 수분을 제거하고 균이 잘 부착 될 수 있도록 laminar-flow biosafety hood에서 air-dried 상태로 90분간 방치시켰다(Kim 등, 2009).

이산화염소수와 푸마르산 병합처리. 본 연구에서는 기존 연구(Kim 등, 2009a,b; Chun과 Kim, 2013; Chun 등, 2013)의 결과들을 참고하여, 최적 처리농도인 50 ppm의 이산화염소수와 0.3%의 푸마르산을 최적 병합처리 조건으로 적용하여 실험하였다. 이산화염소수는 chlorine dioxide generator system (CH₂O Inc., USA)을 사용하여 제조하였으며 농도가 50 ppm이 되도록 증류수를 이용하여 희석시켰다. 농도는 iodometry standard method (APHA, 1995)를 이용하여 측정하였다. 제조한 50 ppm 이산화염소수/0.3% 푸마르산 세척수에 시료를 1:10 (w/v) 비율로 5분간 침지한 후 표면의 물기를 제거하기 위해 laminar-flow biosafety hood로 옮겨 90분간 air-dried 상태로 방치시켰다. 그리고 증류수를 이용하여 같은 방법으로 처리한 것을 대조구로

사용하였다.

저장 및 포장조건. 접종을 하지 않은 대조구와 병합 세척처리된 파프리카 시료, 그리고 *L. monocytogenes*를 접종시킨 대조구와 병합 세척처리된 시료들을 polyolefin film bag (28×15 cm, 25 μm thickness, 6,000 mL O₂/m²·24 h·atm at 24°C)에 각각 포장하여 10°C에 10일간 저장하였다.

미생물 성장 측정. 파프리카 시료 20 g과 0.1% 멸균 펩톤수 180 mL를 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher (MIX 2, AES Laboratoire, France)에서 균질화 시켰다. 균질화 된 시료를 0.1% 멸균 펩톤수로 10배수 연속 희석 한 후 각각의 배지에 분주하여 미생물 수를 측정하였다. 총 호기성 세균은 plate count agar (Difco)에, *L. monocytogenes*는 Oxford Medium Base (Difco)에 각각 분주한 후 37°C에서 48시간 배양하여 형성된 colony를 계수하였다. 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타내었다.

색도 측정. 시료 표면의 색도는 색차계(CR-400 Minolta Chroma Meter, Konica Minolta Sensing Inc., Japan)를 사용하여 측정하였다. Hunter L*, a*, b*값은 각 시료의 표면을 5회 반복 측정하여 평균±표준편차로 나타내었으며, 이 때 사용한 표준 백판의 L*, a*, b*값은 각각 L*=96.75, a*=-0.19, b*=2.00이었다.

Gompertz model 적용. 저장 시간에 따른 파프리카의 미생물 생육 특성을 분석하기 위해 Gompertz model equation을 적용하였다(Corbo 등, 2006).

$$Y(\log \text{ CFU/g})=K+A \cdot \exp \{-\exp \{[(\mu_{\max} \cdot 2.718) \cdot (\lambda-t)/A]+1\}\} \quad (1)$$

이때 K는 초기 미생물 수(log CFU/g), A는 초기 미생물 수와 최대 미생물 수의 log 값 차, μ_{\max} 는 최대성장속도(log CFU/g/day), λ 는 유도기(day), t는 저장시간(day)을 나타낸다. 시간의 경과에 따른 총 호기성 세균과 접종한 *L. monocytogenes*의 수를 Graphpad PRISM version 5.01 program (Prism, GraphPad Software, USA)을 이용하여 식 (1)에 적용한 결과, 생육 지표인 최대성장속도(maximum growth rate, μ_{\max})와 유도기(lag time, LT) 값을 얻었다.

미생물 성장 예측 모델식의 적합성 평가. Gompertz model을 통해 도출한 성장 예측 모델식을 평가하기 위한 통계적 지표로 correlation coefficients (R^2)와 accuracy factor (A_f), bias factor (B_f), mean square error(MSE)를 사용하였고. 다음 식(2-4)의 방법으로 산출하였다(Corbo 등, 2006; Ye 등, 2013).

$$A_f=10^{\left(\frac{\sum \log(\text{predicted}/\text{observed})}{n}\right)} \quad (2)$$

$$B_f=10^{\left(\frac{\sum \log(\text{predicted}/\text{observed})}{n}\right)} \quad (3)$$

$$\text{MSE}=10^{\left(\frac{\sum \log(\text{predicted}/\text{observed})^2}{n}\right)} \quad (4)$$

통계적 처리 분석. SAS(Statistical Analysis System program, version 8.1, SAS Institute Inc., USA) 프로그램을 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test 방법을 사용하여 각 처리구간의 유의성 검증을 하였다.

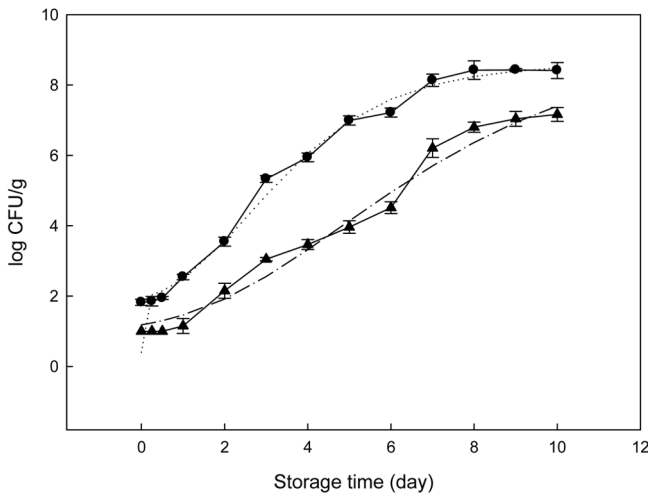


Fig. 1 Observed and predicted growth pattern of total aerobic bacteria in the fresh-cut paprika during storage at 10°C. ●: Control (observed),: Control (predicted), ▲: Treated with 50 ppm aqueous ClO₂/0.3% fumaric acid (observed), - · - : Treated with 50 ppm aqueous ClO₂/0.3% fumaric acid (predicted).

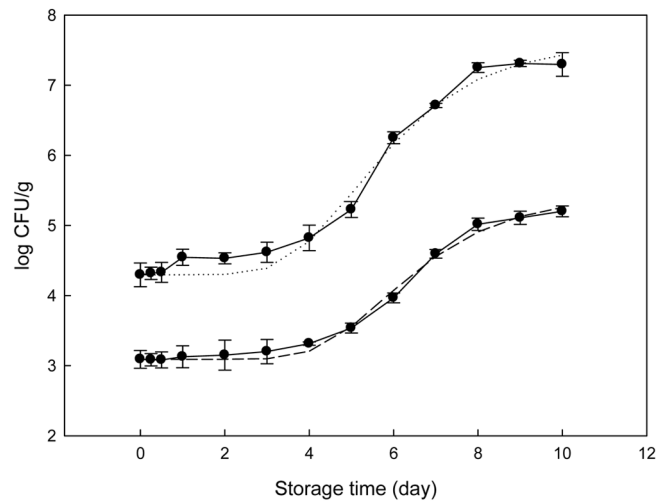


Fig. 2 Observed and predicted growth pattern of *L. monocytogenes* inoculated on the fresh-cut paprika during storage at 10°C. ●: Control (observed),: Control (predicted), ▲: Treated with 50 ppm aqueous ClO₂/0.3% fumaric acid (observed), - · - : Treated with 50 ppm aqueous ClO₂/0.3% fumaric acid (predicted).

결과 및 고찰

저장 중 총 호기성 세균 수 변화. 이산화염소수와 푸마르산 병합처리에 따른 저장 중 신선편이 파프리카의 총 호기성 세균 수를 10°C에서 10일간 저장하면서 미생물 수를 측정하였고, 또한 Gompertz model을 이용하여 얻은 예측값과 함께 Fig. 1에 나타내었다. 저장 초기 대조구의 총 호기성 세균은 1.82 log CFU/g 이었고, 이산화염소수와 푸마르산 병합처리를 한 처리구는 1.0 log CFU/g으로 0.82 log CFU/g의 감균 효과를 나타내었다. Lee 등(2012)은 Romain lettuce와 kale에 50 ppm 이산화염소수를 처리한 결과 각각 2.87, 3.07 log CFU/g의 감균효과를 나타냈다고 보고하였다. 또한 Kim 등(2009b)은 초기 호기성 세균수가 7.78 log CFU/g 인 브로콜리 싹에 50 ppm 이산화염소수를 단독처리 했을 때는 1.36 log CFU/g, 0.5% 푸마르산으로 처리시에는 2.6 log CFU/g, 그리고 병합처리 시 2.7 log CFU/g이 각각 감소했다고 보고하였다. 이는 이산화염소수나 푸마르산의 단독처리보다 병합처리가 미생물 감소에 효과적임을 나타낸다. 다만 기존의 결과보다 본 연구에서의 병합처리에 의한 감균효과의 폭이 작은 것은 시료의 특성, 처리방법, 초기 미생물 수 등에 의한 차이로 판단된다. 저장 10일 후, 대조구의 총 호기성 세균은 초기의 1.82 log CFU/g에서 8.41 log CFU/g까지 증가한 반면에, 50 ppm 이산화염소수와 0.3% 푸마르산의 병합 처리구의 경우 7.16 log CFU/g까지 증가하여 병합처리의 효과가 저장 중에도 지속됨을 나타내었다.

저장 중 *L. monocytogenes* 수 변화. 신선편이 파프리카에 *L. monocytogenes*를 접종시킨 후 저장 중 미생물 수의 변화를 측정하였다(Fig. 2). 접종 후 증류수를 이용해 처리한 신선편이 파프리카 대조구의 미생물 수는 4.30 log CFU/g이었고, 50 ppm 이산화염소수와 0.3% 푸마르산을 병합처리한 처리구는 3.09 log CFU/g으로 1.21 log CFU/g의 감균 효과를 나타내었다. 또한 저장 10일 후 대조구의 *L. monocytogenes*의 수가 7.30 log CFU/g까지 증가한 반면에 병합처리구의 경우 5.20 log CFU/g

로 증가하여 2.10 log CFU/g의 차이를 보였다(Fig. 2). 이러한 결과는 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리가 총 호기성 세균 뿐만 아니라 접종된 *L. monocytogenes*의 억제에도 효과가 있음을 보여준다. Kim 등(2009a)은 alfalfa와 clover sprouts에 *E. coli* O157:H7, *S. typhimurium*, *L. monocytogenes* 등 병원성 미생물을 접종하여 이산화염소수와 푸마르산을 병합 처리한 결과, 각각 2-3 log CFU/g의 미생물 수를 감소시켰다고 보고한 바 있는데, 이러한 결과는 이산화염소수나 푸마르산을 이용한 병합처리가 단독처리보다 미생물 감소에 효과적임을 나타낸다. 따라서 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리는 파프리카를 포함한 신선편이 과채류의 저장, 유통 중 발생할 수 있는 미생물 오염을 효과적으로 제어할 수 있는 허들 기술 중 하나라고 판단된다.

색도 변화. 색도는 파프리카의 품질을 나타내는 주요 지표 중 하나이다. 이산화염소수와 푸마르산으로 병합처리한 신선편이 파프리카의 저장 중 Hunter L*, a*, b*값을 Table 1에 나타내었다. 10일의 저장 기간 중, 대조구와 이산화염소수와 푸마르산 병합처리를 한 처리구 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 이러한 결과는 Das 등(2011)의 수돗물, 염소, 오존 세척수로 처리한 신선편이 파프리카의 L*, a*, b*에 있어서 변화가 없다는 보고와 일치한다. 따라서 본 연구에서 사용된 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리는 신선편이 파프리카의 색도 등 품질에 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

Gompertz model의 적용. 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리를 한 신선편이 파프리카를 10°C에 10일간 저장하면서 미생물 수를 측정하였다. 저장 중 총 호기성균과 *L. monocytogenes* 수의 변화(Fig. 1, 2)를 Gompertz model equation에 적용시켜 미생물의 생육지표인 최대성장속도와 유도기 값을 얻어 Table 2에 나타내었다. 총 호기성 세균의 경우 대조구와 처리구의 최대성장속도는 각각 1.36와 0.83 log CFU/g/day이었으며, 유도기는 0.72과 1.21 day로 나타났다. 이러한 결과는 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리가 총 호기성균의 최대성장속도를 낮추고

Table 1 Change in Hunter color values of fresh-cut paprika during storage at 10°C

Color parameter	Treatment	Storage time (days)					
		0	2	4	6	8	10
L*	Control	31.02±0.89 ^{Aa1)}	30.46±0.80 ^{Aab}	30.82±0.33 ^{Aab}	29.73±0.22 ^{Ab}	30.82±0.68 ^{Aab}	30.62±0.54 ^{Aab}
	ClO ₂ /fumaric acid	31.76±0.53 ^{Aa}	31.05±0.60 ^{Aab}	31.08±0.25 ^{Aab}	29.99±0.52 ^{Ab}	30.35±0.68 ^{Ab}	30.01±0.83 ^{Ab}
a*	Control	26.98±0.47 ^{Aa}	27.15±0.48 ^{Aa}	26.03±0.56 ^{Ab}	24.46±0.35 ^{Bd}	24.97±0.49 ^{Acld}	25.42±0.37 ^{Abc}
	ClO ₂ /fumaric acid	27.26±0.30 ^{Aa}	27.30±0.52 ^{Aa}	25.17±0.96 ^{Ab}	25.85±0.76 ^{Ab}	24.81±0.36 ^{Ab}	25.62±0.73 ^{Ab}
b*	Control	11.26±0.44 ^{Aa}	10.22±0.09 ^{Ab}	10.83±0.51 ^{Aab}	10.06±0.50 ^{Ab}	10.81±0.19 ^{Aab}	10.69±0.47 ^{Aab}
	ClO ₂ /fumaric acid	11.34±0.43 ^{Aa}	10.45±0.89 ^{Aab}	10.72±0.56 ^{Aab}	10.13±0.55 ^{Ab}	10.85±0.41 ^{Aab}	10.81±0.23 ^{Aab}

¹⁾Any means in the same column (A-B) or row (a-d) followed by different letters are significantly ($p < 0.05$) different by Duncan's multiple range test.

Table 2 Gompertz's parameters regarding the populations of total aerobic bacteria and *L. monocytogenes* in fresh-cut paprika during storage at 10°C

Microorganism	Treatment	Parameters			
		K ¹⁾ (log CFU/g)	A ²⁾ (log CFU/g)	μ _{max} ³⁾ (log CFU/g/day)	λ ⁴⁾ (day)
Total aerobic bacteria	Control	1.82	6.74±0.16 ^{b5)}	1.36±0.09 ^a	0.72±0.16 ^b
	ClO ₂ /fumaric acid	1.00	8.13±0.53 ^a	0.83±0.04 ^b	1.21±0.17 ^a
<i>L. monocytogenes</i>	Control	4.30	3.29±0.21 ^a	0.74±0.10 ^a	3.44±0.27 ^b
	ClO ₂ /fumaric acid	3.10	2.32±0.12 ^b	0.54±0.05 ^b	4.16±0.17 ^a

¹⁾initial microbial count.

²⁾maximum microbial growth attained at stationary phase.

³⁾maximum growth rate.

⁴⁾lag time.

⁵⁾Means in the same column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 3 Evaluation of experimental data in fresh-cut paprika

Microorganism	Treatment	R ² ¹⁾	A _f ²⁾	B _f ³⁾	MSE ⁴⁾
Total aerobic bacteria	Control	0.922	1.039	1.014	0.001
	ClO ₂ /fumaric acid	0.976	1.127	1.043	0.004
<i>L. monocytogenes</i>	Control	0.985	1.022	0.988	0.0002
	ClO ₂ /fumaric acid	0.994	1.014	0.994	0.0001

¹⁾correlation coefficient.

²⁾accuracy factor.

³⁾bias factor.

⁴⁾mean squared error.

유도기를 증가시키는 것을 나타낸다. Chun 등(2013)은 저장온도에 따라 적양배추씨의 총 호기성 세균의 유도기가 감소하고, 최대성장속도는 증가한다고 보고하였다. 이는 적절한 세척뿐만 아니라 다양한 생육조건을 조절함으로써 미생물의 성장을 억제시킬 수 있음을 나타낸다. 또한 *L. monocytogenes*의 경우에서도 유사한 결과를 나타냈는데, 대조구의 최대 성장속도와 유도기는 0.74 log CFU/g/day와 3.44 day인 반면, 처리구의 경우 최대 성장속도가 0.54 log CFU/g/day, 유도기는 4.16 day로 병합처리에 따라 유의적인 차이를 보였다. 이러한 결과는 적절한 화학적 병합 세척 처리가 신선편이 파프리카에 오염된 미생물 수를 감소시킬 뿐 만 아니라, 미생물의 최대성장속도를 감소시키고 유도기를 증가시킴으로써 미생물 생육을 제어할 수 있음을 보여준다.

예측 모델의 적합성 평가. 신선편이 파프리카의 병합처리 후 저장 중 실제 측정된 미생물 수와 Gompertz model에 적용시켜

얻은 예측 값 사이의 적합성 측정결과를 Table 3에 나타냈다. 총 호기성 세균과 *L. monocytogenes* 수에 있어서 대조구와 처리구 모두 0.976에서 0.994까지의 높은 R² 값을 나타내었고, 측정값과 예측값의 차이를 나타내는 A_f와 B_f값 역시 0.988에서 1.127로 이상적인 값인 1에 가까운 값을 나타내었다. 이러한 결과는 신선편이 파프리카에 존재하는 총 호기성 세균과 접종된 *L. monocytogenes*의 성장 패턴이 Gompertz model을 이용한 성장 예측 모델과 잘 일치하는 것을 보여준다. 따라서 추후 다양한 변수에 따른 미생물 성장패턴에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면, 식품의 유통기한 예측 등에 예측 모델 활용이 가능하다고 판단된다.

초 록

신선편이 파프리카의 이산화염소수와 푸마르산의 병합 살균 처리의 효과와 그에 따른 미생물의 성장 변화를 분석하였다. 병합처리를 통해 파프리카에서의 총 호기성 세균과 접종된 *L. monocytogenes*는 대조구에 비해 각각 0.82, 1.21 log CFU/g의 감균 효과를 얻었다. 또한 저장 10일 후에는 미생물 수가 1.21, 2.10 log CFU/g 감소하였다. 파프리카 시료를 10일간 저장하면서 미생물 수를 측정하여 Gompertz model을 이용하여 최대성장속도와 유도기를 구함으로써 미생물의 성장 예측 모델에 적용하였다. 모델 식의 적합성 평가를 위해 R², A_f, B_f, 등의 값을 계산한 결과, 모두 1에 가까운 결과가 나와 측정값과 예측된 값 사이의 적합성이 뛰어났다. 따라서 본 연구결과는 이산화염소수와 푸마르산의 병합처리는 신선편이 파프리카에 오염

된 미생물 수를 감소시킬 뿐 만 아니라, 미생물의 최대성장속도를 감소시키고 유도기를 증가시킴으로써 미생물 생육을 제어할 수 있음을 보여준다.

Keywords 미생물 · 병합처리 · 이산화염소수 · 파프리카

References

- APHA (1995) Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, USA.
- Artés F, Gómez P, Aguayo E, Escalona V, and Artés-Hernández F (2009) Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biol Tec* **51**, 287–96.
- Chun HH and Song KB (2013) The combined effects of aqueous chlorine dioxide, fumaric acid, and ultraviolet-C with modified atmosphere packaging enriched in CO₂ for inactivating preexisting microorganisms and *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella typhimurium* inoculated on buckwheat sprouts. *Postharvest Biol Tec* **86**, 118–24.
- Chun HH, Park SJ, Jung SH, and Song KB (2013) Predicting and extending the shelf life of red cabbage sprouts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* **42**, 1518–23.
- Corbo MR, Del Nobile MA, and Sinigaglia M (2006) A novel approach for calculating shelf life of minimally processed vegetables. *Int J Food Microbiol* **106**, 69–73.
- Das BK, Kim JG, and Choi JW (2011) Efficacy of different washing solution and contact times on the microbial quality and safety of fresh-cut paprika. *Food Sci Technol Int* **17**, 471–9.
- Fang T, Liu Y, and Huang L (2013) Growth Kinetics of *Listeria monocytogenes* and Spoilage Microorganisms in Fresh-Cut Cantaloupe. *Food Microbiol* **34**, 174–81.
- González-Aguilar GA, Ayala-Zavala JF, Ruiz-Cruz S, Acedo-Félix E, and D'Áz-Cinco ME (2004) Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *LWT-Food Sci Technol* **37**, 817–26.
- Howard LR, Smith RT, Wagner AB, Villalon B, and Burns EE (1994) Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapeños. *J Food Sci* **59**, 362–5.
- Huang L (2013) Optimization of a new mathematical model for bacterial growth. *Food Control* **32**, 283–8.
- Keskinen LA, Burke A, and Annous BA (2009) Efficacy of chlorine, acidic electrolyzed water and aqueous chlorine dioxide solutions to decontaminate *Escherichia coli* O157:H7 from lettuce leaves. *Int J Food Microbiol* **132**, 134–40.
- Kim JY, Kim HJ, Lim GO, Jang SA, and Song KB (2010) The effects of aqueous chlorine dioxide or fumaric acid treatment combined with UV-C on postharvest quality of 'Machyang' strawberries. *Postharvest Biol Tec* **56**, 254–6.
- Kim YJ, Kim MH, and Song KB (2009a) Combined treatment of fumaric acid with aqueous chlorine dioxide or UV-C irradiation to inactivate *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* inoculated on alfalfa and clover sprouts. *LWT-Food Sci Technol* **42**, 1654–8.
- Kim YJ, Kim MH, and Song KB (2009b) Efficacy of aqueous chlorine dioxide and fumaric acid for inactivating pre-existing microorganisms and *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on broccoli sprouts. *Food Control* **20**, 1002–5.
- Lee JH, Chun HH, Oh DH, Park J, Won M, and Song KB (2012) Sensory and microbiological qualities of Romain lettuce and kale affected by a combined treatment of aqueous chlorine dioxide and ultraviolet-C. *Hort Environ Biotechnol* **53**, 387–96.
- Lee Y, Howard LR, and Villalon B (1995) Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *J Food Sci* **60**, 473–6.
- Leistner L (2000) Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *Int J Food Microbiol* **55**, 181–6.
- López-Gálvez F, Allende A, Truchado P, Martínez-Sánchez A, Tudela JA, Selma MV et al. (2010) Suitability of aqueous chlorine dioxide versus sodium hypochlorite as an effective sanitizer for preserving quality of fresh-cut lettuce while avoiding by-product formation. *Postharvest Biol Tec* **55**, 53–60.
- Lu ZX, Lu FX, Zhang LK, Bie XM, and Zou XK (2007) Predictive modeling and growth models of aerobic mesophilic bacteria on fresh-cut lettuce by hypochlorite-washing. *J Food Safety* **27**, 157–68.
- Oms-Oliu G, Rojas-Graü MA, González LA, Varela P, Soliva-Fortuny R, Hernando MIH et al. (2010) Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biol Tec* **57**, 139–48.
- Posada-Izquierdo GD, Pérez-Rodríguez F, López-Gálvez F, Allende A, Selma MV, Gil MI et al. (2013) Modeling growth of *Escherichia coli* O157:H7 in fresh-cut lettuce submitted to commercial process conditions: Chlorine washing and modified atmosphere packaging. *Food Microbiol* **33**, 131–8.
- Vandekinderen I, Devlieghere F, Van Camp J, Kerkaert B, Cucu T, Ragaert P et al. (2009) Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide. *Int J Food Microbiol* **131**, 138–44.
- Ye K, Wang H, Zhang X, Jiang Y, Xu X, and Zhou G (2013) Development and validation of a molecular predictive model to describe the growth of *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged chilled pork. *Food Control* **32**, 246–54.