J Korean Soc Food Sci Nutr
42(9), 1518~1523(2013)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.9.1518

적양배추싹의 Shelf Life 예측 및 Aqueous ClO_2, Fumaric Acid, UV-C 병합처리
- 연구노트 -

천호현 · 박승종 · 정승훈 · 송경빈†
충남대학교 농업생명과학대학 식품공학과

Predicting and Extending the Shelf Life of Red Cabbage Sprouts

Ho Hyun Chun, Seung Jong Park, Seung Hun Jung, and Kyung Bin Song†
Dept. of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

ABSTRACT To estimate the shelf life of red cabbage sprouts (stored at 4 and 10°C), the numbers of total aerobic bacteria were determined during storage. Parameters for the Gompertz model were determined and the shelf life was predicted using a modified Gompertz equation. The estimated shelf lives of red cabbage sprouts packed with polyolefin film and polyamide/polyamide/polyethylene (PA/PA/PE) film at 4°C were 49.4 and 52.3 h, respectively, whereas those of red cabbage sprouts packed with polyolefin film and PA/PA/PE film at 10°C were 19.7 and 22.6, respectively. The shelf life prediction equation was appropriate, based on the statistical analysis of the accuracy factor, bias factor, and mean square error. On the other hand, for red cabbage sprouts treated with aqueous ClO_2/fumaric acid and UV-C then packed with polyolefin film or PA/PA/PE film, the shelf life was predicted to be longer than 168 h. These results suggest that the combined treatment of aqueous ClO_2/fumaric acid and UV-C can be useful for improving microbial safety and extending the shelf life of red cabbage sprouts during storage.

Key words: shelf life, red cabbage sprout, combined treatment

서 론

채소 종자를 발아시킨 새싹채소는 폴리페놀, 플라보노이드, 비타민 등 기능성 성분을 다량 함유한 기능성 채소로써, 소비자들의 건강에 관한 관심 증대와 함께 그 소비가 증가하고 있다(1). 특히 적양배추싹에 함유된 안토시아닌과 글루코시놀레이트는 free radical에 의한 세포의 손상을 억제하여 암 또는 심장질환 예방 등의 생리활성 작용을 나타낸다(2). 그러나 수경 재배되는 새싹채소는 온도, 습도 등 재배조건이 미생물 생장조건과 유사하여 총 호기성 세균이 7~10 log CFU/g의 높은 오염도를 나타내어 새싹채소의 미생물학적 위험성 내재와 함께 품질 열화, 짧은 shelf life를 야기하는 문제가 있다(3). 따라서 새싹채소의 미생물학적 안전성과 품질제고를 위해 재배 후 미생물 저감화와 저장·유통온도 제어를 통한 미생물 생육억제가 반드시 필요하다.

새싹채소에 존재하는 미생물을 저감화하기 위한 방안으로써 이산화염소수, fumaric acid, UV-C의 물리·화학적 처리가 병합된 hurdle technology는 각기 다른 살균작용으로 상승효과를 유도할 수 있다. 이산화염소는 염소와 비교하여 약 2.5배 강한 산화력으로 미생물을 사멸하는 기작을 가지며, 넓은 pH에 걸쳐 살균력을 가지는 장점이 있다(4). 또한 살균과정 중 식품 중 유기물과 반응하여 trihalomethanes과 같은 발암성 물질을 생성하는 부작용을 갖는 염소계 살균제를 대체할 수 있다(5-7). Fumaric acid는 식품의 pH를 낮춰 미생물 생육을 억제하거나 undissociated form으로 미생물 세포막을 통과함으로써 세포 내 pH를 감소시키고 cytoplasm을 산성화시켜 결국 미생물 생육이 억제되는 작용으로, 이산화염소수와 병합처리 시 살균 효과를 증대시킬 수 있다(8,9). 253.7 nm 파장의 UV-C 조사는 미생물의 DNA에 pyrimidine dimer를 형성하여 전사와 복제를 억제함으로써 미생물을 사멸시키며, FDA에서 식품 표면 미생물 제어에 사용이 허가된 물리적 처리로 설치비용이 저렴하고 화학적 처리와 병합하여 사용할 수 있는 장점이 있다(10,11).

최근 식품의 안전성이 사회적으로 중요하게 인식됨에 따라 연구되고 있는 예측미생물학은 저장온도 및 습도, 포장조건, 살균처리 등 다양한 실험조건에서 시간의 경과에 따른 미생물의 성장 또는 사멸에 대하여 측정한 data를 바탕으로 수학적 모델을 개발하는 연구 분야이다(12). 특히 다양한 농산물의 안전성 향상을 위해 미생물 생장 예측 및 제어, 저장 및 유통조건을 최적화하는 데 이용되고 있다(13). 하지만 새싹채소의 저장온도에 따른 미생물 증식 관련하여 수학적 모델을 활용한 shelf life 예측에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구의 목적은 적양배추싹의 미생물학적 안전성 확보를 위하여 저장온도에 따른 총 호기성 세균 성장에

Received 6 May 2013; Accepted 31 July 2013
†Corresponding author.
E-mail: kbsong@cnu.ac.kr, Phone: 82-42-821-6723

측모델 개발과 shelf life 연장을 위한 이산화염소수, fumaric acid, UV-C 병합처리와 저온저장에 대한 효과를 분석하였다.

재료 및 방법

실험 재료

적양배추싹(*Brassica oleracea* L.)은 경기도 광주에 위치한 D사에서 구매하여 외관 손상이 없는 것을 시료로 선별하여 실험에 사용하였다.

Fumaric acid가 첨가된 aqueous ClO_2 제조

Aqueous ClO_2는 chlorine dioxide generator system(CH_2O Inc., Olympia, WA, USA)을 사용하여 제조하였으며, 농도가 100 ppm이 되게 distilled water를 이용하여 희석했다. 농도는 iodometry standard method(14)를 이용하여 측정하였다. Fumaric acid 분말(Sigma Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)을 100 ppm aqueous ClO_2에 0.3% 농도를 얻기 위해 혼합하여 희석하였다.

UV-C 조사

제작된 UV 살균기를 이용하여 UV-C 조사를 실시하였다. 본 장치의 상, 하부에 254 nm 파장의 unfiltered germicidal emitting lamp(Sylvania, G15T8, Phillips, Haarlem, Netherlands) 8개를 각각 설치하였고, UV-C 조사강도는 상, 하부에 각각 18 cm 떨어진 시료 tray 상에서 UV light meter(UV-340, Lutron Electronic Co., Inc., Taipei, Taiwan)를 이용하여 3 반복 측정하여 평균값으로 하였다(12 W/m^2). UV-C 조사선량은 예비실험을 바탕으로 2 kJ/m^2로 설정하였다.

Aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리

적양배추싹을 100 ppm aqueous ClO_2/0.3% fumaric acid에 1:10(w/v) 비율로 5분간 침지 처리 후, laminar-flow biosafety hood로 옮겨 90분 동안 air-dried 상태로 표면에 남아 있는 수분을 제거하였다. 연속적으로 세척 처리된 적양배추싹을 UV 살균기로 옮겨 tray에 펼친 후 166초간 암실에서 UV-C 조사를 실시하였다. 병합처리 하지 않은 시료를 대조구로 하여 실험을 진행하였다.

저장 및 포장 조건

대조구와 병합처리 된 적양배추싹 시료 20 g을 polyamide/polyamide/polyethylene(PA/PA/PE) film bag (B1N707, 28×15 cm, 70 μm thickness, 60 mL O_2/m^2·24 h·atm at 24°C, Barflex Co., Daejeon, Korea)와 polyolefin film bag(PD951EZ, 28×15 cm, 25 μm thickness, 6,000 mL O_2/m^2·24 h·atm at 24°C, Sealed Air Co., Gwangju, Korea)에 개별적으로 포장한 후 4와 10°C에서 7일간 각각 저장하였다.

미생물 수 측정

적양배추싹 시료 20 g과 0.1% sterile peptone water 180 mL를 멸균 bag에 넣고 3분 동안 stomacher(MIX 2, AES Laboratoire, Combourg, France)에서 균질화 시켰다. 균질화된 시료를 0.1% sterile peptone water를 이용하여 10배수 연속 희석하였다. 희석액 0.1 mL를 plate count agar(PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA)에 분주한 후 37°C에서 48시간 배양하였다. 형성된 colony를 계수하여 검출된 총 호기성 세균 수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)로 나타냈다.

Gompertz's model 적용

저장 온도와 시간에 따른 적양배추싹에 존재하는 총 호기성 세균의 생육 특성을 분석하기 위해 다음의 Gompertz's model(식 1)을 적용하였다(15).

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

이때 K는 초기 총 호기성 세균 수(log CFU/g), A는 초기 총 호기성 세균 수와 최대 총 호기성 세균 수의 log 값 차, μ_{max}는 최대성장속도(log CFU/g/h), λ는 유도기(h), t는 저장시간(h)을 나타낸다. 3 반복을 통한 실험결과 data를 Graphad PRISM version 5.01 프로그램(Prism, GraphPad Software, San Diego, CA, USA)을 이용하여 Gompertz's model 식에 fitting시켜 생육 지표인 최대성장속도(maximum growth rate, μ_{max})와 유도기(lag time, LT) 값을 얻었다.

Shelf life 예측 및 적합성 평가

미생물학적 품질 변화를 기준으로 적양배추싹의 shelf life를 예측하기 위해 Gompertz model 식을 변형시켜 총 호기성 세균이 7.7 log CFU/g에 도달되는 시간(h)에 관한 식(식 2)을 다음과 같이 나타냈다(15).

$$\text{Shelf life(h)} = \lambda - \{A\cdot\{\ln[-\ln((7.7-K)/A)] - 1\}/(\mu_{max}\cdot 2.718) \quad (2)$$

이때 7.7 log CFU/g는 Corbo 등(15)에서 보고한 신선편이 채소에 총 호기성 세균의 최대 허용 오염도 값을 기준으로 하였다. 그리고 성장예측모델을 평가하기 위한 통계적 지표로써 R^2과 accuracy factor(A_f), bias factor(B_f), mean square error(MSE)를 다음 식(식 3~5)에 준하여 분석한 뒤 평가하였다(16).

$$A_f = \exp[\sum(\ln Y_{predictive} - \ln Y_{observed})^2/N] \quad (3)$$

$$B_f = \exp[\sum(\ln Y_{predictive} - \ln Y_{observed})/N] \quad (4)$$

$$MSE = [\sum(\ln Y_{predictive} - \ln Y_{observed})^2]/N \quad (5)$$

A_f는 예측한 값이 실제 측정된 값과 비교하여 얼마나 가까운 가를 측정한 것이고, B_f는 예측한 값과 측정된 값 사이에 상대적 편차를 의미한다. 두 값 모두 1에 가까울수록 예측한

값과 실제 측정된 값이 차이가 적음을 나타낸다. 또한 MSE는 0에 근접한 값이 높은 적합성을 의미한다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였으며 실험결과는 평균값±표준편차로 나타냈다. 결과의 유의성 검정은 SAS (Statistical Analysis System, version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) program을 이용하여 $P<0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test 방법을 사용하여 통계처리를 하였다.

결과 및 고찰

저장 중 총 호기성 세균 수 변화

적양배추싹을 polyolefin film과 PA/PA/PE film에 각각 포장한 후 4와 10°C에서 7일 동안 각각 저장하면서 일정한 시간 간격으로 총 호기성 세균 수를 측정한 결과는 Table 1에 나타냈다. 저장 초기, 적양배추싹의 총 호기성 세균 수는 7.34 log CFU/g으로 높은 오염도를 보였다. Kim 등(9)과 Waje 등(17)에서 시판 중인 알팔파, 메밀, 케일, 무, 대두, 적양배추싹의 총 호기성 세균이 7~8 log CFU/g 오염도를 보인다고 보고하였다. 또한 Tournas(18)는 새싹채소에서 미생물 생육이 용이한 재배환경, 포장 및 유통과정에서 병원성 세균을 포함한 다양한 미생물로 쉽게 오염될 수 있음을 지적하였다. 이러한 연구보고들과 본 연구결과에서 새싹채소의 높은 미생물 오염도는 shelf life를 단축시키고, 또한 새싹채소와 관련한 식중독 발생 등에 따른 소비자의 건강을 해칠 수 있다. 그러므로 적양배추싹에 있는 미생물을 감소시킬 수 있는 효과적인 살균처리 기술이 반드시 필요하다.

저장온도 4°C에서 24시간 동안 polyolefin film과 PA/PA/PE film에 포장된 적양배추싹의 총 호기성 세균 수는 저장 초기 수준으로 거의 일정하게 유지된 반면, 저장온도 10°C에서는 48시간까지 균수가 급격히 증가하여 polyolefin film과 PA/PA/PE film에 포장된 적양배추싹의 총 호기성 세균 수가 8.21과 8.30 log CFU/g으로 관찰되었다 (Table 1). 또한 저장온도 4와 10°C에서 7일 저장 후, polyolefin film에 포장된 적양배추싹의 총 호기성 세균 수는 8.14와 8.48 log CFU/g까지 각각 증가하였으며, PA/PA/PE film으로 포장된 시료의 총 호기성 세균 수는 8.06과 8.59 log CFU/g으로 각각 증가하였다. 이러한 결과는 저장온도 4°C보다 10°C에서 총 호기성 세균이 더 많이 증가한 결과를 보여주었지만, 저장기간 중 적양배추싹의 호흡발생으로 인한 CO_2 증가와 포장 film의 기체투과도에 따른 포장 내부 기체조성 변화는 총 호기성 세균 생육에 유의적인($P<0.05$) 영향을 미치지 않았다.

Gompertz's model 적용

Gompertz's model은 미생물 성장예측 연구에 널리 사용

Table 1. Change in the populations (log CFU/g) of total aerobic bacteria in the red cabbage sprouts packed with polyolefin film and PA/PA/PE film during storage at 4 and 10°C

Packaging	Storage temperature	Storage time (h)										
		0	6	12	24	48	72	96	120	144	168
Polyolefin film	4°C	7.34±0.08$^{Ad1)}$	7.41±0.10^{Bd}	7.43±0.10^{Bd}	7.44±0.07^{Bc}	7.76±0.08^{Bbc}	7.84±0.12^{Bab}	7.98±0.08^{Bb}	8.02±0.10^{Ba}	8.07±0.12^{Ba}	8.14±0.06^{Ba}
	10°C	7.34±0.08^{Ae}	7.71±0.16^{Ad}	7.80±0.14^{Ad}	7.79±0.08^{Ad}	8.21±0.10^{Ac}	8.30±0.07^{Abc}	8.34±0.10^{Aabc}	8.37±0.03^{Aabc}	8.43±0.03^{Bab}	8.48±0.03^{Ba}
PA/PA/PE film	4°C	7.34±0.08^{Ad}	7.41±0.14^{Bd}	7.39±0.09^{Bd}	7.42±0.11^{Bd}	7.72±0.16^{Bc}	7.73±0.05^{Bc}	7.90±0.10^{Bbc}	8.14±0.08^{Ba}	8.15±0.08^{Aa}	8.06±0.11^{Aab}
	10°C	7.34±0.08^{Ad}	7.60±0.19^{ABc}	7.74±0.04^{Ac}	7.74±0.07^{Ac}	8.30±0.04^{Ab}	8.29±0.05^{Ab}	8.34±0.12^{Ab}	8.44±0.08^{Aab}	8.47±0.02^{Aab}	8.59±0.02^{Aa}

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

Table 2. Gompertz's parameters and prediction of shelf life regarding the populations of total aerobic bacteria in red cabbage sprouts during storage at 4 and 10°C

Packaging	Storage temperature (°C)	Shelf life (h)	Parameters			
			K[1)] (log CFU/g)	A[2)] (log CFU/g)	μ_{max}[3)] (log CFU/g/h)	λ[4)] (h)
Polyolefin film	4	49.4	7.34±0.08[A5)]	0.76±0.03[C]	0.009±0.001[B]	10.24±2.44[AB]
	10	19.7	7.34±0.08[A]	1.04±0.04[B]	0.024±0.002[A]	6.75±1.46[B]
PA/PA/PE film	4	52.3	7.34±0.08[A]	0.76±0.02[C]	0.009±0.002[B]	13.47±1.81[A]
	10	22.6	7.34±0.08[A]	1.11±0.03[A]	0.026±0.003[A]	8.35±2.37[B]

[1)]K: Initial microbial count. [2)]A: Maximum microbial growth attained at stationary phase.
[3)]μ_{max}: Maximum growth rate. [4)]λ: Lag time.
[5)]Any means in the same column (A-C) followed by different letters are significantly (P<0.05) different by Duncan's multiple range test.

되는 방법이다(19). Gompertz 식을 Graphad PRISM software에 적용하여 총 7일간 저장 중 저장온도와 포장 film 종류에 따른 적양배추싹에 있는 총 호기성 세균의 최대성장속도 μ_{max}와 유도기 LT를 분석한 결과는 Table 2와 같다. Polyolefin film 포장 후, 4와 10°C 저장된 적양배추싹의 최대성장속도는 0.009와 0.024 log CFU/g/h이었으며, 유도기는 10.24와 6.75 h로 나타났다. 이러한 결과는 저장온도가 높아짐에 따라 총 호기성 세균 수의 최대성장속도가 증가하는 반면 유도기는 감소하는 것을 나타낸다. 또한 PA/PA/PE film으로 포장된 적양배추싹의 최대성장속도와 유도기는 polyolefin film으로 포장된 적양배추싹의 결과와 유사한 경향을 나타냈는데(Table 2), 4°C 저장에서 PA/PA/PE film으로 포장된 적양배추싹의 최대성장속도와 유도기는 0.009 log CFU/g/h와 13.47 h인 반면, 10°C 저장에서는 최대성장속도가 0.026 log CFU/g/h, 유도기는 8.35 h로 저장온도에 따른 유의적인 차이를 보여 산소투과도가 다른 film 종류에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. Lee 등(20)은 0~15°C에서 저장된 양념 콩나물의 총 호기성 세균 성장 변화에 따른 최대성장속도는 온도에 따라 큰 영향을 받아, 저장온도가 증가함에 따라 최대성장속도가 증가한다고 보고하였다. 또한 Lu 등(19)은 Gompertz model을 이용하여 fresh-cut lettuce 염소 세척 후 4와 25°C 저장 중 총 호기성 세균 생육변화를 분석한 결과, 4°C 저장에서 최대성장속도와 유도기는 각각 0.7070 log CFU/g/day와 0.9995 day로, 25°C 저장에서의 최대성장속도 1.8950 log CFU/g/day와 유도기 0.2683 day와 비교하여 최대성장속도는 감소하고 유도기는 증가하였다고 보고한 바 있다.

이러한 연구결과들은 식품의 저장온도가 미생물 생육에 있어서 중요한 역할을 하기에 저장온도 제어를 통해 식품에 존재하는 미생물의 최대성장속도는 감소시키고 유도기는 증가시키기 위한 노력이 필요하다고 판단된다.

Shelf life 예측 및 적합성 평가

본 연구에서는 shelf life 설정의 지표인자 중 하나인 총 호기성 세균수를 예측미생물학에 적용하여 적양배추싹의 shelf life를 예측하였다. 적양배추싹의 shelf life는 최대 허용 오염도 기준을 총 호기성 세균 수가 7.7 log CFU/g에 도달되는 시간(h)으로 하여, 변형된 Gompertz 식을 이용하여 분석한 결과는 Table 2에 나타냈다.

Polyolefin film 포장 후 4와 10°C에 저장된 적양배추싹의 shelf life는 49.4와 19.7시간이었다(Table 2). 또한 PA/PA/PE film으로 포장된 적양배추싹의 shelf life는 4°C 저장에서는 52.3시간, 10°C 저장에서는 22.6시간으로, 10°C 비교하여 4°C 저장 시 30시간 이상 shelf life를 연장시킬 수 있을 것으로 판단된다. 한편 산소투과도가 높은 polyolefin film과 산소투과도가 낮은 PA/PA/PE film 간에는 shelf life에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다. Heo 등(21)은 식품의 특성에 따라 부패가 시작되는 미생물 오염도는 달라지기 때문에 총 호기성 세균 수를 일률적인 기준으로 설정하여 식품의 shelf life를 산출하는 것은 의미가 없다고 보고하였다. 따라서 식품의 종류에 따라 초기 오염도, 살균처리 방법, 저장 및 유통 온도 등 국내 실정이 고려된 최대 허용 오염도 기준 관련하여 객관적인 설정이 필요하다고 판단된다.

저장온도와 포장 film에 따른 적양배추싹의 총 호기성 세균 수 변화에 대한 실제 측정된 값과 Gompertz model을 사용하여 예측한 값 사이에 적합성 측정결과는 Table 3에 나타냈다. Polyolefin film과 PA/PA/PE film으로 포장한 후, 4와 10°C에서 저장된 적양배추싹에 있어서 R^2 값은 0.934 이상의 높은 값을 나타냈고, A_f와 B_f 값은 0.979~1.010으로 이상적인 값인 1에 가까운 값을 나타내었다. 또한 포장 film 종류 및 저장온도와 관계없이 모든 적양배추싹 시료의 MSE 값은 0.001~0.010을 나타내었다. 이러한 결과

Table 3. Evaluation of experimental data in red cabbage sprouts

Packaging	Storage temperature	R^2[1)]	A_f[2)]	B_f[3)]	MSE[4)]
Polyolefin film	4°C	0.934	1.001	0.995	0.001
	10°C	0.980	1.003	0.979	0.003
PA/PA/PE film	4°C	0.940	1.001	1.004	0.001
	10°C	0.966	1.010	0.993	0.010

[1)]R^2: Correlation coefficient.
[2)]A_f: Accuracy factor.
[3)]B_f: Bias factor.
[4)]MSE: Mean squared error.

는 총 호기성 세균의 성장 패턴과 Gompertz's model을 이용한 성장예측곡선이 잘 일치하는 것을 보여준다.

병합처리에 따른 저장 중 총 호기성 세균 수 변화

Aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리에 따른 저장 중 적양배추싹의 총 호기성 세균 수 변화는 Table 4와 같다. 저장 초기 aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리 된 적양배추싹의 총 호기성 세균 수는 4.84 log CFU/g으로 측정되어 대조구와 비교하여 2.5 log CFU/g 감소 효과를 나타내어 우수한 살균력을 나타내었다.

Jin과 Lee(22)는 100 ppm 이산화염소수 5분간 단일처리로 mung bean 싹의 총 호기성 세균이 0.7 log CFU/g 감소하였다고 보고하였다. 또한 Kim 등(23)은 1~10 kJ/m^2 UV-C 조사로 clover 싹의 총 호기성 세균을 대조구와 비교했을 때 1.0~1.7 log CFU/g 감소시켰다고 보고하였다. 한편 Kim 등(9)은 대조구와 비교하여 50 ppm aqueous ClO_2와 0.5% fumaric acid 병합처리 시, broccoli 싹의 총 호기성 세균 수를 2.7 log CFU/g 감소시켰다고 보고하였다. Lee 등(24) 또한 romain lettuce와 kale에 50 ppm aqueous ClO_2와 10 kJ/m^2 UV-C 병합처리로 총 호기성 세균을 2.1과 2.5 log CFU/g 각각 감소시켰다고 보고하였다. 따라서 이러한 연구결과와 본 연구를 통하여 이산화염소수 또는 UV-C 단일처리보다 병합처리 시 효과적인 미생물 감균 효과를 얻을 수 있다고 판단된다.

저장 7일 후, aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리 및 polyolefin film으로 포장된 적양배추싹의 총 호기성 세균 수가 4와 10°C 저장온도에서 6.11과 7.33 log CFU/g으로 각각 증가하였는데, 이러한 결과는 온도제어가 미생물 생육을 억제하는데 가장 중요한 인자인 것을 시사한다. 또한 PA/PA/PE film으로 포장된 적양배추싹의 저장 중 총 호기성 세균 수 변화는 polyolefin film으로 포장된 적양배추싹의 결과와 유사한 경향을 나타냈는데(Table 3), 저장 7일 후 4°C 저장에서 PA/PA/PE film으로 포장된 적양배추싹의 총 호기성 세균 수는 6.09 log CFU/g인 반면, 10°C 저장에서는 7.38 log CFU/g으로 나타났다.

본 연구에서 포장 film 종류와 관계없이 aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리된 모든 적양배추싹 시료는 저장 7일 후에도 총 호기성 세균 수가 최대 허용 오염도로 설정한 7.7 log CFU/g 이하로 검출되었다. 따라서 적양배추싹의 미생물 성장예측모델을 기준으로 계산된 shelf life는 대조구가 13~52시간인 반면, aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리구는 7일 이상으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 수행한 100 ppm aqueous ClO_2/0.3% fumaric acid와 2 kJ/m^2 UV-C 병합처리를 통해 적양배추싹의 초기 미생물을 효과적으로 감소시키고, 4°C 저온저장을 유지함으로써 미생물 생육을 억제시켜 shelf life를 연장할 수 있는 hurdle technology를 제시할 수 있었다.

Table 4. Change in the populations (log CFU/g) of total aerobic bacteria in the red cabbage sprouts treated with aqueous ClO_2/fumaric acid and UV-C during storage at 4 and 10°C

Packaging	Storage temperature	Storage time (h)										
		0	6	12	24	48	72	96	120	144	168
Polyolefin film	4°C	4.84±0.06$^{Ad1)}$	5.08±0.10^{Bc}	5.17±0.15^{Cc}	5.24±0.21^{Bc}	5.75±0.08^{Bb}	5.75±0.05^{Bb}	5.80±0.13^{Bb}	6.03±0.03^{Ba}	6.10±0.06^{Ba}	6.11±0.11^{Ba}
	10°C	4.84±0.06^{Ag}	5.38±0.16^{Af}	5.76±0.05^{Ae}	5.80±0.12^{Ae}	6.15±0.18^{Ad}	6.31±0.11^{Acd}	6.43±0.06^{Ac}	6.64±0.13^{Ab}	7.17±0.04^{Aa}	7.33±0.05^{Aa}
PA/PA/PE film	4°C	4.84±0.06^{Ae}	5.15±0.05^{ABd}	5.14±0.13^{Cd}	5.18±0.07^{Bd}	5.50±0.17^{Bc}	5.76±0.14^{Bb}	5.76±0.15^{Bb}	5.85±0.06^{Bb}	5.96±0.06^{Cab}	6.09±0.04^{Ba}
	10°C	4.84±0.06^{Ae}	5.36±0.12^{Ad}	5.48±0.12^{Bd}	5.58±0.21^{Ad}	6.18±0.17^{Ac}	6.24±0.08^{Ac}	6.29±0.03^{Abc}	6.50±0.19^{Ab}	7.19±0.02^{Aa}	7.38±0.05^{Aa}

[1)]Any means in the same column (A-C) or row (a-g) followed by different letters are significantly (P<0.05) different by Duncan's multiple range test.

요 약

적양배추싹의 저장온도에 따른 미생물학적 유통기한을 예측하기 위해서, 적양배추싹을 polyolefin film과 PA/PA/PE film에 각각 포장 후 4와 10°C에 저장하여 저장기간 중 총호기성균 수를 측정하였다. 측정된 data를 Gompertz's model 식을 이용하여 최대성장속도와 유도기를 구하였고, shelf life 예측모델 식으로부터 계산된 적양배추싹의 shelf life는 polyolefin film과 PA/PA/PE film에 포장 후 10°C에 저장된 시료가 각각 19.7과 22.6시간인 반면, 4°C에 저장된 시료는 49.4와 52.3시간으로 나타났다. 성장예측모델 식의 적합성 평가를 위해 A_f, B_f, MSE 값을 산출한 결과, 예측모델 식의 적합성이 뛰어났다. 한편, aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리 된 적양배추싹 시료의 shlef life는 7일 이상으로 예측되었다. 따라서 aqueous ClO_2/fumaric acid와 UV-C 병합처리 후 저온저장은 적양배추싹의 shelf life 연장에 효과적인 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Paśko P, Bartoń H, Zagrodzki P, Gorinstein S, Fołta M, Zachwieja Z. 2009. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chem* 115: 994-998.
2. Wiczkowski W, Szawara-Nowak D, Topolska J. 2013. Red cabbage anthocyanins: Profile, isolation, identification, and antioxidant activity. *Food Res Int* 51: 303-309.
3. Peñas E, Gómez R, Frías J, Vidal-Valverde C. 2010. Effects of combined treatments of high pressure, temperature and antimicrobial products on germination of mung bean seeds and microbial quality of sprouts. *Food Control* 21: 82-88.
4. Vandekinderen I, Devlieghere F, Van Camp J, Kerkaert B, Cucu T, Ragaert P, De Bruyne J, De Meulenaer B. 2009. Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide. *Int J Food Microbiol* 131: 138-144.
5. Keskinen LA, Burke A, 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: 134-140.
6. López-Velasco G, Tomás-Callejas A, Sbodio A, Artés-Hernández F, Suslow TV. 2012. Chlorine dioxide dose, water quality and temperature affect the oxidative status of tomato processing water and its ability to inactivate *Salmonella*. *Food Control* 26: 28-35.
7. Shin YJ, Song HY, Song KB. 2012. Effect of a combined treatment of rice bran protein film packaging with aqueous chlorine dioxide washing and ultraviolet-C irradiation on the postharvest quality of 'Goha' strawberries. *J Food Eng* 113: 374-379.
8. Comes JE, Beelman RB. 2002. Addition of fumaric acid and sodium benzoate as an alternative method to achieve a 5-log reduction of *Escherichia coli* O157:H7 populations in apple cider. *J Food Prot* 65: 476-483.
9. Kim YJ, Kim MH, Song KB. 2009. 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: 1002-1005.
10. Chun HH, Kim JY, Song KB. 2010. Inactivation of foodborne pathogens in ready-to-eat salad using UV-C irradiation. *Food Sci Biotechnol* 19: 547-551.
11. Gómez PL, Alzamora SM, Castro MA, Salvatori DM. 2010. Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: Microorganism, color and compression behavior. *J Food Eng* 98: 60-70.
12. Huang L. 2013. Optimization of a new mathematical model for bacterial growth. *Food Control* 32: 283-288.
13. Posada-Izquierdo GD, Pérez-Rodríguez F, López-Gálvez F, Allende A, Selma MV, Gil MI, Zurera G. 2013. Modelling growth of *Escherichia coli* O157:H7 in fresh-cut lettuce submitted to commercial process conditions: chlorine washing and modified atmosphere packaging. *Food Microbiol* 33: 131-138.
14. APHA. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA. Method 4-54.
15. Corbo MR, Del Nobile MA, Sinigaglia M. 2006. A novel approach for calculating shelf life of minimally processed vegetables. *Int J Food Microbiol* 106: 69-73.
16. Park HS, Kim MY, Jeong HS, Park KH, Ryu K. 2009. Development of a predictive growth model of *Staphylococcus aureus* and shelf-life estimation of cooked mung bean sprouts served in school foodservice operations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1618-1624.
17. Waje CK, Jun SY, Lee YK, Kim BN, Han DH, Jo C, Kwon JH. 2009. Microbial quality assessment and pathogen inactivation by electron beam and gamma irradiation of commercial seed sprouts. *Food Control* 20: 200-204.
18. Tournas VH. 2005. Moulds and yeasts in fresh and minimally processed vegetables, and sprouts. *Int J Food Microbiol* 99: 71-77.
19. Lu ZX, Lu FX, Zhang LK, Bie XM, Zou XK. 2007. Predictive modeling and growth models of aerobic mesophilic bacteria on fresh-cut lettuce by hypochlorite-washing. *J Food Safety* 27: 157-168.
20. Lee DS, Hwang KJ, An DS, Park JP, Lee HJ. 2007. Model on the microbial quality change of seasoned soybean sprouts for on-line shelf life prediction. *Int J Food Microbiol* 118: 285-293.
21. Heo C, Kim HW, Choi YS, Kim CJ, Paik HD. 2008. Application of predictive microbiology for shelf-life estimation of Tteokgalbi containing dietary fiber from rice bran. *Korean J Food Sci Ani Resour* 28: 232-239.
22. Jin HH, Lee SY. 2007. Combined effect of aqueous chlorine dioxide and modified atmosphere packaging on inhibiting *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in mungbean sprouts. *J Food Sci* 72: M441-M445.
23. Kim Y, Kim M, Song KB. 2009. 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: 1654-1658.
24. Lee JH, Chun HH, Oh DH, Park J, Won M, 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: 387-396.