pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 41, No. 1, pp. 8~17 (2026)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2026.41.1.8

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

무순의 미생물 저감을 위한 구연산·사과산 병행 처리 및 품질 유지를 위한 최적처리 시점 평가

김혜진[1] · 최익준[1] · 양희경[1] · 이동규[1] · 송호진[1] · 이정은[2] · 심원보[3,4,5]*

[1]경상국립대학교 대학원 응용생명과학부, [2]한국식품연구원, [3]경상국립대학교 스마트팜·우주농업연구소,
[4]경상국립대학교 농업생명과학연구원, [5]경상국립대학교 식품공학부

Microbial Reduction of Radish Sprouts by Combined Citric and Malic Acid Treatment and Evaluation of the Optimal Treatment Timing for Quality Preservation

Hye-Jin Kim[1], Ik-Jun Choi[1], Hee-Kyeong Yang[1], Dong-Gyu Lee[1], Ho-Jin Song[1], Jeong-Eun Lee[2], Won-Bo Shim[3,4,5]*

[1]*Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University, Jinju, Korea*
[2]*Food Analysis Research Center, Korea Food Research Institute, Wanju, Korea*
[3]*Institute of Smart Farm·Space Agriculture Research Center, Gyeongsang National University, Jinju, Korea*
[4]*Institute of Agricultural and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, Korea*
[5]*Division of Food Science and Technology, Gyeongsang National University, Jinju, Korea*

(Received December 5, 2025/Revised February 9, 2026/Accepted February 9, 2026)

ABSTRACT - Radish sprouts are highly susceptible to microbial cross-contamination from soil, irrigation water, and manual handling during cultivation and distribution, posing significant food safety concerns. We evaluated the microbial decontamination efficacy of physical (ultraviolet and ultrasonic methods) and chemical disinfectant (ethanol, chlorine dioxide, sodium hypochlorite, citric acid, malic acid, and vinegar) treatments on radish sprouts. Reduction in *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Bacillus cereus* counts following individual or combined treatments was evaluated using standard plate count methods. The combination of 3% citric acid and malic acid demonstrated the highest antimicrobial efficacy, resulting in a reduction to below the detection limit for all three bacteria. No microbial regrowth was observed on radish sprouts treated with the mixture and subsequently rinsed with tap water, during 4 days of storage at 4°C. Although the 3% citric acid–malic acid treatment was highly effective in microbial decontamination, it adversely affected sensory quality after 1 day of storage at 4°C. The findings suggest that immediate sanitization with 3% citric–malic acid prior to consumption could be an optimal practice for improving the microbial safety of radish sprouts.

Key words: Radish sprouts, Combination treatment, Microbial reduction, Safety

현대인의 비만 및 건강에 대한 관심 증가와 건강 지향적 식생활의 확산에 따라 다이어트 식품 및 샐러드 시장이 성장하고 있으며, 이에 따라 어린잎 채소의 생산 및 소비도 증가하고 있다[1]. 어린잎 채소는 샐러드와 같은 비가열 신선편이 식품의 주요 재료로 활용되며, 관련 시장 규모는 2018년 8,894억 원에서 2020년 1조 1,369억원으로 지속적인 성장세를 나타내고 있다[2,3].

어린잎 채소는 무순, 브로콜리, 메밀, 배추류 등 발아 초기 또는 생육 초기 단계에서 수확한 엽채류를 의미하며, 일반적으로 잎 길이 약 10 cm 이하의 어린잎을 수확하여 샐러드 용으로 활용된다[4,5]. 또한 크기가 작고 조직이 연약하여 최소한의 세척 및 다듬기 공정만을 거쳐 신선 상태로 유통되는 특징이 있다[4,5]. 그러나 재배, 수확 및 유통 과정에서 토양, 관개수 및 작업자 등 다양한 환경적 요인에 의해 미생물 교차 오염이 발생할 가능성이 높으며, 별

*Correspondence to: Won-Bo Shim, Division of Food Science and Technology, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
Tel: +82-55-772-1902, Fax: +82-55-772-1901
E-mail: wbshim@gnu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도의 가열 살균 과정 없이 생식 형태로 소비되는 특성으로 인해 식품 안전성 문제가 지속적으로 제기되고 있다[6-8].

실제로 국내 유통 중 어린잎 채소의 미생물 오염도를 조사한 결과, 일반세균수는 6.8 Log CFU/g 이상, 대장균군은 3.3 Log CFU/g 수준으로 검출되었으며, *Bacillus cereus* (*B. cereus*)는 분석 시료의 71%에서 평균 4.0 Log CFU/g 수준으로 확인되는 등 높은 오염 수준이 보고되었다[9]. 또한 시판 제품 102개 중 43개에서 *Escherichia coli* (*E. coli*)가 검출된 사례는 어린잎 채소가 전 유통 과정뿐만 아니라 최종 소비 단계에서도 미생물 위해에 노출되어 있음을 시사한다[10]. 이와 같이 어린잎 채소에서 비교적 높은 수준의 미생물 오염이 지속적으로 보고됨에 따라, 안전한 섭취를 위해 재배 및 유통 단계뿐 아니라 최종 소비 단계에서 적용 가능한 미생물 저감화 방법의 필요성이 강조되고 있다.

이러한 높은 오염 수준은 어린잎 채소의 복잡한 표면 구조가 미생물 부착을 용이하기 때문으로 보고된다. 특히 어린잎은 조직이 연약하여 세척 중 교차 오염 위험이 크고, 수확 후 포장 및 유통 과정에서 발생하는 온도 변화나 물리적 상처를 통해 미생물이 증식하거나 조직 내부로 침투할 가능성이 존재한다[11,12]. 따라서 비가열 섭취 특성을 고려하였을 때, 섭취 직전 단계에서의 효과적인 미생물 저감화는 식중독 예방을 위해 필수적이다[13]. 그러나 고농도 화학적 소독방법은 신선도 저하를 초래할 수 있으므로 안전성과 품질 유지를 동시에 확보할 수 있는 전략적 접근이 요구된다.

이처럼 어린잎 채소의 미생물 위해를 제어하기 위해 다양한 세척 및 소독 방법이 연구되고 있다. 기존 연구에 따르면, 적무 어린잎 채소를 차아염소산나트륨 150 ppm 용액으로 5분간 세척했을 때, *E. coli*와 *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*)가 각각 2 Log CFU/g 감소하는 효과가 보고된 바 있다[14]. 또한 에탄올 및 유기산을 이용한 새싹 채소의 미생물 제어나 염소수를 활용한 저감 연구 등 다양한 세척 용액을 적용한 연구들이 지속적으로 수행되어 왔다[10,15]. 그러나 이러한 단일 세척제 사용에는 몇 가지 한계점이 있다. 가장 널리 사용되는 염소계 살균제의 경우, 유기물 존재 시 살균력이 급격히 저하되고 발암물질인 트리할로메탄(total trihalomethane, THMs)과 같은 잔류 부산물 생성 문제가 꾸준히 제기되고 있다[16,17]. 또한, 높은 살균력을 얻기 위해 고농도로 처리할 경우 어린잎 채소 특유의 연약한 조직이 손상되어 신선도와 품질이 저하되는 문제가 발생한다[18].

이에 본 연구에서는 단일 처리의 한계를 보완하고, 살균 효율을 향상시키기 위해 물리적 처리와 화학적 처리를 병행하는 방법을 적용하였다. 미생물의 세포벽 및 세포막에 물리적 손상을 입히는 자외선(ultraviolet, UV)[19] 및 초음파 처리[20]와, 미생물의 세포 내 pH를 변화시켜 대사 활성을 교란하는 유기산(구연산, 사과산)[22] 등의 화학적 처리를 병행함으로써 단일 처리 시 발생할 수 있는 농도 의존적 품질 저하를 최소화하고자 하였다.

따라서 유통 중인 무순의 미생물 오염도를 조사하고, 최종 소비 단계에서 적용 가능한 최적의 저감화 방안을 도출하기 위하여 물리적 방법(UV, 초음파)과 다양한 화학적 세척제(에탄올[15], 이산화염소수[16,21], 차아염소산나트륨[16], 유기산[22], 식초[23] 등)의 저감 효과를 비교·평가하였다. 특히 구연산·사과산 병행 및 유기산-차아염소산나트륨 혼합 용액 처리가 미생물 저감과 품질 유지에 미치는 영향을 확인하였다. 또한, 세척 시점에 따른 미생물 군집 변화와 품질 특성을 함께 분석함으로써 소비자가 섭취 전 단계에서 적용 가능한 실용적이고 효과적인 위생 관리 방안을 제시하고자 하였다.

Materials and Methods

시료 준비 및 사용 균주

본 연구에서 사용된 어린잎 채소(이하 무순)은 경상남도 진주에 위치한 대형마트에서 구매하였다. 구매한 무순은 24시간 이내에 미생물 오염도 분석 및 저감화 실험에 사용하였다. 본 연구에 사용된 표준 균주는 무순의 미생물 오염도 분석을 통해 빈번하게 검출된 *E. coli* (KCTC 1684)와 *S. aureus* (ATCC 14458), *B. cereus* (NCTC 7464) 균을 사용하였다. 모든 균주는 tryptic soy broth (TSB, Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하여 36±1°C에서 24시간 배양한 후 실험에 사용하였다.

무순의 미생물 오염도 분석

대형마트에서 유통 중인 무순 시료 25 g에 0.85% NaCl 225 mL를 가하여 LS-400A stomacher (BNFKOREA, Gimpo, Korea)를 이용하여 균질화하였다. 균질화된 시료는 멸균 0.85% NaCl로 단계 희석한 후 미생물 분석에 사용하였다. 대장균군, *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus* 정량 분석을 실시하였으며, 각각 deoxycholate agar (DLA, Difco), eosin methylene blue agar (EMBA, Difco), Baird-Parker agar (BPA, Difco), mannitol egg yolk polymyxin agar (MYPA, Difco)를 사용하였다. 각 희석액 1 mL를 해당 배지에 평판 도말하여 배양하였다. 대장균군과 *E. coli*는 36±1°C에서 각각 24±2 시간, *S. aureus*는 36±1°C에서 48±3 시간, *B. cereus*는 30±1°C에서 24±2 시간 배양 후 집락을 계수하였다.

*S. aureus*와 *B. cereus*의 동정을 위해, BPA와 MYPA 배지에서 전형적인 집락 형태를 나타낸 집락을 각 시료당 5-10개씩 선택하였다. 선택된 집락은 API Staph kit (bioMerieux, France) 및 API 50 CHB kit (bioMerieux)를 사용하여 확인하였다. 최종 균수(Log CFU/g)는 전체 추정

집락수에 동정된 균주의 비율(동정된 집락 수/검사한 집락 수)을 곱하여 산출하였다. *Salmonella* spp. 및 *L. monocytogenes*의 정성 분석은 식품 공전 방법[24]에 따라 실시 하였다. *Salmonella* spp.의 경우, 시료(25 g)에 buffered peptone water (BPW, Difco) 225 mL를 가하여 균질화 후 36±1°C에서 20-24시간 동안 증균 배양하였다. 이후 증균 배양액을 xylose lysine deoxycholate agar (XLDA, Difco) 및 brilliant green sulfa agar(BGSA, Difco)에 획선 도말하여 36±1°C에서 20-24시간 배양 후 의심 집락의 생성 여부를 확인하였다. *L. monocytogenes*는 시료 25 g에 Listeria enrichment broth (Difco) 225 mL를 첨가하여 균질화한 후 30°C에서 48시간 증균 배양하였다. 이후 polymyxin acriflavine LiCl cefrazidime esculin mannitol agar (PALCAMA, Difco)에 획선 도말하여 35±1°C에서 24시간 배양하였다. 의심 집락은 triple sugar iron agar (TSI, Difco)에 계대 배양 후 API kit를 이용하여 생화학적 검사를 실시하였다.

미생물 저감을 위한 물리적 및 화학적 방법

무순에서 검출되는 미생물 3종(*E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*)의 효과적인 저감화를 위해 식품의약품안전처에서 권고하고 있는 식품에 사용 가능한 소독제[24]와 문헌 조사[17-20]를 바탕으로 미생물 저감 효과가 보고된 물리적 및 화학적 방법 총 8가지를 선정하였다.

각 균주를 TSB (Difco)에 100 µL씩 접종하여 37°C에서 24시간 배양한 증균액을 실험에 사용하였다. 배양액은 원심분리(3,000×g, 10분, 4°C) 후 상등액을 제거하고, 침전물을 멸균 0.85% NaCl로 2회 세척하였다. 이후 동일 용액에 재현탁하여 평판도말법을 통해 약 8-9 Log CFU/mL 수준으로 농도로 조정하였다.

물리적 처리는 준비된 증균액 1 mL를 0.85% NaCl 9 mL에 희석한 후 자외선 처리기(EST-UV900, Estarkorea, Korea)를 이용하여 30 W·s 조건에서 5분간 조사하였으며, 초음파 세척기(SD-200H, Seongdong, Korea)를 사용하여 40 kHz조건에서 5분간 처리하였다.

화학적 처리에는 20% (v/v) 에탄올(ethanol, Daejung, Korea), 10 ppm 이산화염소수(chlorine dioxide, *GREEN* FARM BIOProduct & Services, Busan, Korea), 80 ppm 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite, Yuhanclorox Co., Seoul, Korea), 1% (w/v) 구연산(citric acid, CH Harmony Co., Anyang, Korea), 1% (w/v) 사과산(Malic acid, Edentown F&B, Incheon, Korea), 10% (v/v) 식초(Vinegar, Ottogi, Anyang, Korea)를 사용하였으며, 음성 대조군으로는 수돗물을 사용하였다. 각 소독제의 처리 농도는 식품의약품안전처 식품공전에서 권장 농도 범위와 기존 신선 농산물 세척 관련 문헌을 참고하여 설정하였다[17,18,20]. 차아염소산나트륨(80 ppm) 및 이산화염소수(10 ppm)는 식품 표면 살균을 위한 권장 농도를 기준으로 하였으며, 에탄올 20%는 물리적 처리와의 상대적 저감 효과 비교를 위한 초기 농도로 적용하였다. 유기산(구연산 및 사과산) 1%는 고농도 처리 시 품질 저하 가능성을 고려하여 초기 농도로 선정하였고, 이후 추가 실험에서 농도를 3%까지 확대하여 평가하였다[15]. 식초(10%, v/v)는 시판 식초의 초산 함량을 고려하여 희석 후 적용 가능한 수준으로 설정하였다. 각 화학적 처리에서는 균액 1 mL에 소독제 용액 9 mL를 혼합하여 5분간 진탕 처리한 후, 평판도말법을 이용하여 생균수를 측정하였다.

미생물 저감을 위한 화학적 방법 혼합 처리

증균액 실험에서 상대적으로 우수한 미생물 저감 효과를 나타낸 화학적 처리 조건을 기반으로, 구연산, 사과산 및 차아염소산나트륨의 혼합 처리에 따른 추가적인 미생물 저감 효과를 평가하였다. 구연산-사과산 혼합 용액은 각각 동일 농도로 제조하여 동일 부피 비율(1:1, v/v)로 혼합하여 사용하였다. 구연산-사과산 혼합액은 멸균 증류수 1 L에 구연산 1 g과 사과산 1 g을 각각 용해하여 제조하였으며, 이후 농도 의존적 효과를 확인하기 위해 최종 농도를 1%, 3%, 5%(w/v) 농도로 조정하여 사용하였다. 차아염소산나트륨 혼합 처리의 경우, 최종 농도가 80 ppm 및 160 ppm가 되도록 희석하여 사용하였다. 혼합 처리에 따른 미생물 저감 효과 평가는 단일 처리 실험과 동일하게 수행하였다. 즉 각 균주의 증균액 1 mL에 혼합 세척 용액 9 mL을 첨가하여 실온에서 5분간 진탕 처리한 후 평판도말법을 이용하여 생균수를 측정하였다.

혼합 처리의 미생물 저감 효과 평가는 단일 처리와 동일한 방법으로 수행하였다. 즉, 증균액 1 mL에 혼합 용액 9 mL을 첨가하여 5분 동안 진탕 처리한 후 평판도말법을 이용하여 생균수를 측정하였다.

무순에 화학적 방법에 의한 미생물 저감 확인

증균액 실험에서 미생물 저감 효과가 우수하게 나타난 화학적 처리 조건인 차아염소산나트륨(80, 160 ppm)과 구연산-사과산 혼합액(1% 및 3%, w/v)을 유통 중인 무순에 적용하여 미생물 저감 효과를 평가하였다. 본 실험은 자연 오염된 무순을 대상으로 수행하였다. 무순 50 g을 각 세척 용액 500 mL가 담긴 멸균 비커에 침지하여 처리하였으며, 1:10 (w/v) 비율로 설정하였다. 처리 시간은 5분 및 10분으로 설정하였고, 처리 후 잔여 소독제를 제거하기 위해 흐르는 수돗물에서 2분 동안 세척하였다. 처리된 무순의 미생물 분석은 무순의 미생물 오염도 분석 방법과 동일하게 식품공전 방법[24]에 따라 진행하였다. 대장균군 및 *E. coli*는 정량 분석을 실시하였으며, *S. aureus*, *B. cereus*는 2.2에 기술된 방법과 동일하게 API kit를 이용하여 확인 후 정량하였다. *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*는 식품공전 방법에 따라 정성 분석을 실시하였다.

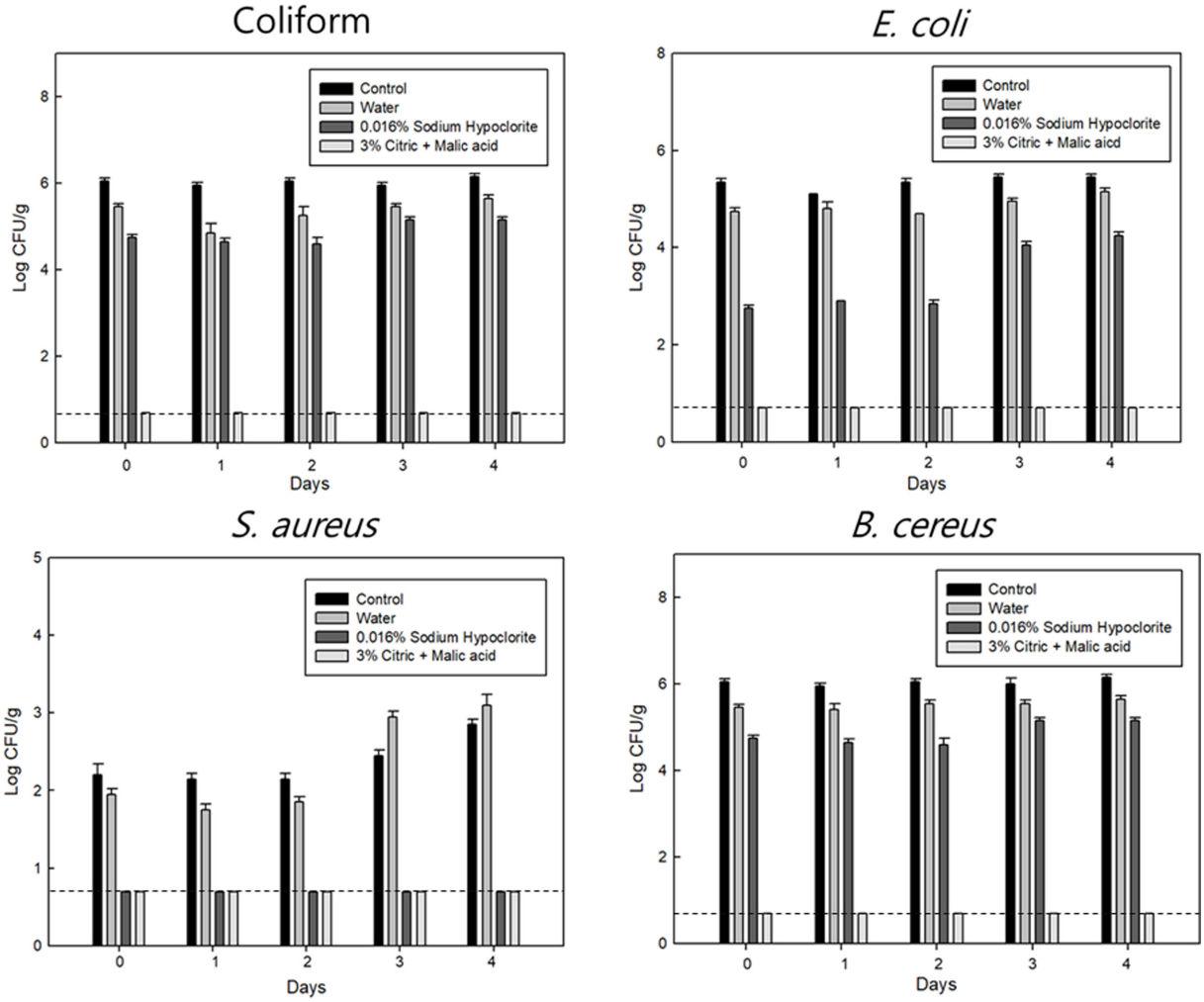

Fig. 1. Changes in microbial populations of radish sprouts during storage at 4°C after chemical disinfection treatments. Different letters indicate significant differences among treatments at the same storage day (P<0.05). The dashed line indicates the detection limit (0.7 Log CFU/g).

처리된 무순의 저장 기간에 따른 오염도 변화

화학적 방법으로 처리된 후의 무순을 냉장 조건(4°C)에서 저장하면서 미생물의 오염도 변화를 확인하였다. 저장 실험은 차아염소산나트륨(160 ppm) 및 3% 구연산–사과산 혼합액(3%, w/v)으로 10분간 침지 처리 후 수돗물에서 2분간 세척한 무순을 대상으로 진행하였다. 처리 조건은 2.5와 동일하게 무순 50 g을 처리용액 500 mL에 침지하였다. 세척 후 무순은 polyethylene terephthalate (PET) 재질의 용기에 30 g씩 소분하여 밀봉 상태로 보관하였다. 저장 조건은 4°C 조건의 냉장고에서 4일간 저장하였다. 저장 중 시료는 교차 오염을 방지하기 위해 각 처리군별로 개별 용기에 보관하였다. 미생물 오염도는 24시간 간격으로 측정하였으며, 분석 방법은 2.2와 동일하게 수행하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복 수행하였으며, 결과는 평균±표준편차로 나타내었다. 각각의 실험결과는 Windows용 SigmaPlot 10.0.1 (Systat Software, Inc., Palo Alto, CA, USA) 및 Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA)을 사용하여 분석 하였으며, 유의수준 P<0.05에서 수행하였다. 통계적 유의차는 표와 그래프에 상이한 문자(a, b, c)로 표시하였다.

Results and Discussion

무순의 오염도 분석

세척되지 않은 무순의 미생물 오염도를 평가한 결과, Table 1과 같이 대장균군, *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*가 모두 검출되었으며, *Salmonella* spp. 및 *L. monocytogenes*는 검출되지 않았다. 대장균군은 5.6±0.5 Log CFU/g, *E. coli*는 5.0±0.3 Log CFU/g, *B. cereus*는 5.7±0.5 Log CFU/g 수준으로 나타났으며, *S. aureus*는 1.0±0.1 Log CFU/g으

Table 1. Investigation of bacterial contamination on unwashed radish sprouts (Log CFU/g)

Bacteria contamination analysis		
Analysis methods	Bacteria	
Quantitative	Coliform	5.6±0.5*
	Escherichia coli	5.0±0.3
	Staphylococcus aureus	1.0±0.1
	B. cereus	5.7±0.5
Qualitative	*Salmonella* spp.	ND**
	Listeria monocytogenes	ND

*Values are expressed as mean±SD (n=3).
**ND: Not detected (<0.7 Log CFU/g).

로 상대적으로 낮은 수준을 보였다.

이러한 결과는 국내 유통 어린잎 채소에서 보고된 미생물 오염 수준과 비교하였을 때 전반적으로 높은 경향을 나타냈다. Park 등[25]은 혼합 채소 샐러드에서 대장균군이 2.0-4.0 Log CFU/g 수준으로 보고하였으며, *E. coli*는 27점의 시료 중 3점에서 약 1.4 Log CFU/g으로 검출되었다. Kim 등[10]은 대형마트 또는 재래시장에 유통 중인 어린잎 채소에서 여름철 기준 대장균군 오염 수준이 5.5.-6.5 Log CFU/g으로 보고하였고, *E. coli*는 정성분석 결과 102점 중 43곳에서 검출되었다. 또한 생산 및 가공 공정 단계별 오염도 조사에서는 대장균군이 3.5 Log CFU/g 수준이었으며, 세척 및 탈수 공정을 거친 최종 제품에서는 1.6 Log CFU/g으로 감소하였다. *B. cereus*는 35점 중 25점에서 검출되었으며 2.8-3.2 Log CFU/g으로 보고된 바 있다[9].

본 연구 결과와 기존 연구를 종합적으로 비교하였을 때, 어린잎 채소의 미생물 오염 수준은 시료의 재배 환경, 유통 조건, 계절적 요인 및 세척 여부 등에 의해 영향을 받았을 가능성이 있다[10]. 또한, 기존 연구에서 세척 및 탈수 공정을 통해 미생물 감소가 보고된 바 있어 추가적인 세척 처리의 중요성이 확인된다[9,26]. 따라서 본 연구에서는 소비 단계에서 적용 가능한 물리적 및 화학적 방법을 이용하여 주요 오염 균주에 대한 저감 효과를 평가하고자 하였다.

미생물 저감 처리 방법 선정

본 연구에서는 기존 연구에서 미생물 저감 효과가 보고된 물리적 및 화학적 처리 방법을 적용하여 미생물 3종에 대한 저감 효과를 확인하였다. 해당 실험에서 수돗물을 이용한 처리를 음성 대조군으로 설정하였다. *E. coli*의 경우, Table 2와 같이 자외선 처리 후 균수는 무처리군(8.3±0.1 Log CFU/mL)과 유사한 수준을 나타내어 뚜렷한 저감 효과가 확인되지 않았다. 반면 초음파 처리 및 음성 대조군에서는 7.2±0.1 Log CFU/mL 수준으로 약 1.1 Log CFU/mL 감소하였다. *S. aureus*는 자외선 및 초음파 처리 후 각각 7.9-8.0 Log CFU/mL로 음성 대조군(8.0±0.1 Log CFU/mL)과 유사한 수준을 나타내어 제한적인 저감 효과를 보였다. *B. cereus*는 자외선 처리에서 3.7±0.1 Log CFU/mL, 초음파 처리에서3.4±0.6 Log CFU/mL로 감소하여 음성 대조군(4.0±0.1 Log CFU/mL) 보다 상대적으로 높은 저감 효과가 나타났다.

화학적 처리에서는 *E. coli*가 20% 에탄올, 10 ppm 이산화염소수 및 10% 식초 처리에서 각각 7.2±0.1 Log CFU/mL, 7.4±0.1 Log CFU/mL, 7.2±0.1 Log CFU/mL로 물리적 처리와 유사한 수준의 저감 효과를 나타냈다. 반면 80 ppm

Table 2. Microbial reduction by physical and chemical disinfection methods (Log CFU/mL)

Disinfection treatments		Bacteria		
		Escherichia coli	*Staphylococcus aureus*	*Bacillus cereus*
Control	0.85% NaCl	8.3±0.1^{a,*,**}	8.4±0.3^{a}	4.8±0.1^{a}
	Water	7.2±0.1^{b}	8.0±0.1^{ab}	4.0±0.1^{b}
Physical cleaning	Ultraviolet (30W)	8.3±0.1^{a}	7.9±0.2^{b}	3.7±0.1^{c}
	Ultrasonic (40 kHz)	7.2±0.3^{b}	8.0±0.1^{ab}	3.4±0.6^{c}
Chemical cleaning	20% Ethanol	7.2±0.1^{b}	7.8±0.1^{b}	3.2±0.3^{c}
	10 ppm Chlorine dioxide	7.4±0.1^{b}	8.1±0.3^{a}	3.2±0.3^{c}
	80 ppm Sodium hypochlorite	3.4±0.6^{c}	7.5±0.6^{c}	ND***
	1% Citric acid	3.7±0.1^{c}	7.0±0.1^{d}	ND
	1% Malic acid	3.5±0.1^{c}	7.1±0.2^{d}	ND
	10% Vinegar	7.2±0.1^{b}	7.9±0.1^{b}	ND

*Values are expressed as mean±SD (n=3).
**Different letters within the same column indicate significant differences (P<0.05).
***ND: Not detected (<0.7 Log CFU/mL).

차아염소산나트륨, 1% 구연산 및 1% 사과산 처리에서는 *E .coli*가 각각 3.4±0.6 Log CFU/mL, 3.7±0.1 Log CFU/mL, 3.5±0.1 Log CFU/mL로 무처리군 대비 4.6-4.9 Log CFU/mL 감소하여 높은 저감 효과가 확인되었다.

*S. aureus*는 20% 에탄올, 10 ppm 이산화염소수 및 10% 식초 처리에서 각각 7.8±0.1 Log CFU/mL, 8.1±0.1 Log CFU/mL, 7.9±0.1 Log CFU/mL로 무처리군(8.4±0.3 Log CFU/mL) 대비 약 0.3-0.6 Log CFU/mL 감소하여 제한적인 효과를 보였다. 반면 80 ppm 차아염소산나트륨(7.5±0.6 Log CFU/mL), 1% 구연산(7.0±0.1 Log CFU/mL), 1% 사과산(7.1±0.2 Log CFU/mL)은 약 1 Log CFU/mL 감소 효과를 나타냈다. *B. cereus*는 20% 에탄올 및 10 ppm 이산화염소수 처리에서 무처리군(4.8±0.1 Log CFU/mL) 대비 약 1.6 Log CFU/mL 감소하였으며, 80 ppm 차아염소산나트륨, 1% 구연산, 1% 사과산 및 10% 식초 처리에서는 불검출 수준으로 감소하였다.

이러한 결과는 기존 연구에서 보고된 어린잎 채소 세척 효과와 유사한 경향을 나타낸다. Choi 등[14]은 적무 어린잎 채소를 0.015% 차아염소산나트륨으로 5분 처리 시 *E. coli*가 약 2.3 Log CFU/g 감소함을 보고하였으며, Han 등[26]은 유기산 처리 시 채소류의 미생물 감소 효과를 확인하였다. 차아염소산나트륨은 산화 반응을 통해 DNA 손상 및 세포 대사 억제를 유도하며[23], 구연산 및 사과산과 같은 유기산은 세포 내 pH 변화 및 세포막 손상을 통해 미생물 증식을 억제하는 것으로 알려져 있다[24]. 그러나 균액 수준에서의 저감 효과는 실제 식품 표면 적용 시 차이가 있을 수 있으므로, 이후 실험에서는 실제 무순 시료에 적용하여 평가하였다.

화학적 방법의 단일 또는 혼합 처리 후 미생물 저감 효과 확인

화학적 방법의 단일 처리 및 혼합 처리에 따른 미생물 저감 효과를 비교하기 위해, 3.2에서 높은 저감 효과를 나타낸 차아염소산나트륨(80 ppm), 구연산(1%) 및 사과산(1%)을 이용하여 실험을 수행하였다. 혼합 처리는 차아염소산나트륨-구연산, 차아염소산나트륨-사과산, 구연산-사과산의 세 가지 조합으로 수행하였다. 기존 연구에서는 새싹 채소의 미생물 저감 시 단일 소독제보다 혼합 처리 시 높은 소독 효과가 나타나는 것으로 보고된 바 있다[15,25].

미생물 저감 효과 평가 결과(Table 3), *E. coli*는 무처리군(9.2±0.1 Log CFU/mL)에 비해 단일 처리 시 약 3.6-4.1 Log CFU/mL 수준으로 감소하였다. 차아염소산나트륨과 구연산 또는 사과산 병용 처리에서는 단일 처리와 유사한 수준의 저감 효과가 나타났으며, 구연산-사과산 혼합 처리에서는 가장 낮은 수준(2.7±0.1 Log CFU/mL)이 확인되었다.

*S. aureus*의 경우에도 무처리군(8.9±0.1 Log CFU/mL)에 비해 단일 처리군은 7.7-7.8 Log CFU/mL 수준으로 감소하였으며, 차아염소산나트륨과 유기산의 병행 처리에서는 단일 처리와 유사한 저감 효과를 나타냈다. 반면 구연산-사과산 혼합 처리에서는 *E. coli*와 동일하게 가장 낮은 수준(6.5±0.1 Log CFU/mL)의 균수가 확인되었다. *B. cereus*는 모든 화학적 처리 조건에서 불검출로 확인되었다.

이러한 결과는 차아염소산나트륨과 유기산의 병행이 항상 상승적 효과를 나타내지는 않음을 시사하며, 특히 구연산–사과산 조합에서 가장 높은 저감 효과가 나타났다. 이는 차아염소산나트륨이 알칼리성 염소계 산화제로 작용하는 반면, 유기산은 산성 환경을 조성하여 세포막이 손상되기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 모든 혼합 처리가 단일 처리보다 높은 저감효과를 나타내는 것은 아니라는 것을 보여주며, 특히 차아염소산나트륨과 유기산의 병행 시에는 용액 간 pH 차이에 따른 활성 성분의 변화 등으로 미생물 저감 효과가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

추가적으로 농도에 따른 미생물 저감 효과를 확인하기 위해 차아염소산나트륨(80, 160, 200 ppm) 및 구연산-사과산 혼합 용액(1%, 3%, 5%)을 적용하였다(Table 4). *E. coli*는 무처리군(9.8±0.1 Log CFU/mL) 대비 80 ppm 처리 시 3.1±0.1 Log CFU/mL로 감소하였으며, 160 ppm 이상에서는

Table 3. Microbial reduction by combined chemical disinfection treatments (Log CFU/mL)

Disinfection treatments		Bacteria		
		Escherichia coli	*Staphylococcus aureus*	*Bacillus cereus*
Control		9.2±0.1[a,*,**]	8.9±0.1[a]	6.9±0.1[a]
Chemical cleaning	80 ppm Sodium hypochlorite	3.9±0.1[c]	7.8±0.2[b]	ND[***]
	1% Citric acid	4.1±0.1[c]	7.7±0.1[b]	ND
	1% Malic acid	3.6±0.2[c]	7.7±0.1[b]	ND
	80 ppm Sodium hypochlorite - 1% Citric acid	6.2±0.2[b]	7.7±0.1[b]	ND
	80 ppm Sodium hypochlorite - 1% Malic acid	4.0±0.1[c]	7.8±0.2[b]	ND
	1% Citric - Malic acid	2.7±0.1[d]	6.5±0.1[c]	ND

[*]Values are expressed as mean±SD (n=3).
[**]Different letters within the same column indicate significant differences (P<0.05).
[***]ND: Not detected (<0.7 Log CFU/mL).

Table 4. Microbial reduction by adjusting concentrations of combined chemical disinfectants (Log CFU/mL)

Disinfection treatments		Bacteria		
		Escherichia coli	*Staphylococcus aureus*	*Bacillus cereus*
Control		9.8±0.1[a,*,**]	8.8±0.1[a]	6.4±0.1
Chemical cleaning	80 ppm Sodium hypochlorite	3.1±0.1[b]	6.8±0.1[b]	ND[***]
	160 ppm Sodium hypochlorite	ND	3.7±0.1[c]	ND
	200 ppm Sodium hypochlorite	ND	2.9±0.1[d]	ND
	1% Citric - Malic acid	2.7±0.2[b]	6.1±0.1[b]	ND
	3% Citric - Malic acid	1.3±0.5[c]	3.4±0.1[c]	ND
	5% Citric - Malic acid	ND	3.0±0.1[c]	ND

[*]Values are expressed as mean±SD (n=3).
[**]Different letters within the same column indicate significant differences (P<0.05).
[***]ND: Not detected (<0.7 Log CFU/mL).

Table 5. Microbial reduction effects of radish sprouts by different washing methods (Log CFU/g)

Disinfection treatments		Cleaning time	Microorganism			
			Coliform	*Escherichia coli*	*Staphylococcus aureus*	*Bacillus cereus*
Control	Uncleaned	-	5.9±0.2[a,*,**]	5.0±0.1[a]	ND[***]	5.7±0.2[a]
Chemical cleaning	80 ppm Sodium Hypochlorite	5 min	4.9±0.1[b]	4.2±0.1[b]	ND	4.8±0.1[b]
		10 min	4.8±0.1[b]	4.0±0.1[b]	ND	4.6±0.1[b]
	160 ppm Sodium Hypochlorite	5 min	4.0±0.1[b]	4.0±0.1[b]	ND	4.2±0.1[b]
		10 min	3.9±0.1[c]	3.7±0.1[c]	ND	3.9±0.1[c]
	1% Citric - Malic acid	5 min	3.5±0.1[d]	3.2±0.1[c]	ND	1.7±0.1[d]
		10 min	2.6±0.2[e]	2.4±0.1[d]	ND	1.6±0.1[d]
	3% Citric - Malic acid	5 min	2.7±0.1[e]	2.5±0.1[d]	ND	ND
		10 min	ND	ND	ND	ND

[*]Values are expressed as mean±SD (n=3).
[**]Different letters within the same column indicate significant differences (P<0.05).
[***]ND: Not detected (<0.7 Log CFU/g).

불검출로 확인되었다. 구연산-사과산 혼합 용액에서는 농도가 증가함에 따라 2.7±0.2 Log CFU/mL, 1.3±0.5 Log CFU/mL로 감소하였고, 5%에서는 불검출 수준을 나타냈다.

*S. aureus*는 농도 증가에 따라 저감 효과가 증가하여 차아염소산나트륨 처리 시 6.8±0.1 Log CFU/mL, 3.7±0.1 Log CFU/mL, 2.9 Log CFU/mL로 감소하였으며, 구연산-사과산 혼합 용액에서도 6.1±0.1 Log CFU/mL, 3.4±0.1 Log CFU/mL, 3.0±0.1 Log CFU/mL로 감소하였다. *B. cereus*는 모든 처리에서 불검출 수준을 나타냈다.

기존 연구에서도 소독 용액의 농도, pH 및 처리 조건에 따라 미생물 저감 효과가 달라진다고 보고된 바 있으며[26], 본 연구에서도 농도 증가에 따른 저감 효과 향상이 확인되었다. 5% 구연산-사과산 혼합 용액은 가장 높은 미생물 저감 효과를 나타냈으나, 강산성에 가까운 pH로 인해 어린잎 채소 적용 시 품질 손상 가능성이 우려되었다[27]. 또한, 실제 적용 가능성을 고려하여 처리 효율과 적용 안정성을 종합적으로 평가한 결과, 이후 실험에서는 차아염소산나트륨(80, 160 ppm)과 구연산-사과산 혼합 용액(1%, 3%)을 최종 처리 조건으로 선정하였다.

무순의 화학적 방법 처리 시간에 따른 미생물 저감 효과

유통 중인 무순의 초기 미생물 오염도 조사 결과, 대장균군, *E. coli* 및 *B. cereus*는 모든 시료에서 검출되었으며, *S. aureus*는 총 33.3% (3/9) 시료에서 검출되었다. 이에 따라 3.3에서 선정된 화학적 처리 조건인 차아염소산나트륨(80 ppm, 160 ppm)과 구연산-사과산 혼합 용액(1%, 3%)을 실제 무순에 적용하여 처리 시간에 따른 미생물 저감 효과를 확인하였다. 처리 전 무순의 미생물 오염도는 대장균군, *E. coli* 및 *B. cereus*에서 약 5.0-5.7 Log CFU/g 수준으로 확인되었다. 80 ppm 차아염소산나트륨 처리 시 5분 처리에서는 4.2-4.9 Log CFU/g, 10분 처리 시 4.0-4.8 Log CFU/g으로 감소하여 농도 증가에 따른 저감 효과 향상이

확인되었다.

구연산-사과산 혼합 용액 처리에서는 보다 높은 저감 효과가 나타났다. 1% 혼합 용액 처리 시 5분 처리에서 대장균군 및 *E. coli*는 3.2-3.5 Log CFU/g, *B. cereus*는 1.7±0.1 Log CFU/g, 10분 처리 시 각각 2.4-2.6 Log CFU/g 및 1.6±0.1 Log CFU/g으로 확인되었다. 특히 3% 구연산-사과산 혼합 용액 처리에서는 5분 처리 시 대장균군 및 *E. coli*가 2.5-2.7 Log CFU/g으로 감소하고 *B. cereus*는 불검출 수준을 나타냈으며, 10분 처리 시 모두 불검출로 확인되었다(Table 5).

차아염소산나트륨 처리에서는 농도 증가에 따른 저감 효과 향상이 나타났으나 처리 시간을 5분에서 10분으로 연장하였을 때 유의미한 저감 효과는 확인되지 않았다. 반면, 구연산-사과산 혼합 용액에서는 농도 및 처리 시간 증가에 따라 저감 효과가 지속적으로 향상되는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 유기산 처리의 경우 접촉 시간에 따라 미생물 저감 효과가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 종합적으로 3% 구연산-사과산 혼합 용액 10분 처리와 160 ppm 차아염소산나트륨 5분 처리가 무순의 미생물 저감에 효과적인 조건으로 판단되었다.

화학적 방법으로 처리된 무순의 저장 기간에 따른 미생물 생장과 품질 변화

미생물 저감 효과가 우수하게 확인된 차아염소산나트륨(160 ppm)과 3% 구연산-사과산 혼합 용액을 적용한 후 저장 기간 동안 미생물 생장 및 품질 변화를 확인하였다. 저장 조건 설정을 위해 기존 연구에서 어린잎 채소의 저장 기간에 따른 품질 변화 및 저장성을 비교한 결과를 참고하여[19,28], 무순을 4°C에서 4일간 보관하며 24시간 간격으로 분석하였다. 대조군으로는 처리하지 않은 무순과 단순 수돗물로 처리한 무순을 사용하였다.

대장균군의 경우 처리하지 않은 무순은 초기 균수가 6.1±0.1 Log CFU/g, 수돗물로 처리한 무순은 5.3 Log CFU/g, 차아염소산나트륨(160 ppm)으로 처리한 무순은 4.6±0.1 Log CFU/g으로 감소하였다. 3% 구연산-사과산 혼합 용액으로 처리한 무순은 초기부터 불검출 수준을 나타냈다. 저장 기간 동안 무처리군과 구연산-사과산 처리군에서는 균수 증가가 관찰되지 않았으나, 차아염소산 나트륨 처리군에서는 저장 3일차 이후 5.1±0.1 Log CFU/g으로 약 0.5 Log CFU/g 증가하였다.

*E. coli*는 무처리군에서 5.2±0.2 Log CFU/g으로 나타났으며, 3% 구연산-사과산 처리군에서는 저장 기간 동안 불검출 상태를 유지하였다. 반면 수돗물로 처리한 무순과 차아염소산나트륨으로 처리한 무순에서는 저장 3일차 이후 각각 5.1±0.1 Log CFU/g 및 4.1±0.1 Log CFU/g으로 증가하는 경향을 나타냈다.

*B. cereus*는 무처리군에서 6.0±0.1 Log CFU/g, 수돗물 처리군에서 5.5±0.1 Log CFU/g으로 확인되었으며, 구연산-사과산 처리군에서는 저장 기간 동안 불검출 상태를 유지하였다. 차아염소산나트륨 처리군에서는 초기 4.6±0.1 Log CFU/g에서 저장 3일차 이후 5.1±0.1 Log CFU/g으로 증가하였다.

*S. aureus*는 차아염소산나트륨 및 구연산-사과산 처리군에서 저장 기간 4일 동안 검출되지 않았다. 무처리군에서는 2일차까지 2.2±0.1 Log CFU/g으로 유지되었으나 3일차에 2.4±0.1 Log CFU/g으로 증가하였으며, 수돗물 처리군도 동일하게 3일차부터 3.1±0.2 Log CFU/g으로 급격히 증가하였다.

이러한 결과는 유기산 혼합 처리에서 초기 미생물 저감 효과가 높고 저장 기간 동안 재증식 억제 효과가 유지됨을 시사한다. 반면 차아염소산나트륨 처리군에서는 일부 잔존 미생물이 저장 후반부에 증가하는 경향을 나타냈으며, 이는 처리 과정에서 조직 손상 및 영양분 유출 등이 미생물 증식 환경에 영향을 미쳤을 가능성이 있다[11].

한편, 3% 구연산–사과산 처리군에서는 저장 중 잎의 갈변, 조직 연화 및 탈수와 같은 품질 변화가 육안 관찰을 통해 확인되었다. 다만, 본 연구의 품질 평가는 정성적 관찰에 기반하여 해석되었다. 이러한 결과를 고려할 때, 해당 처리 방법은 장기간 저장 처리보다는 소비 직전에 적용하는 방식이 보다 적절하며, 무순 구입 후 냉장(4°C) 보관 후 섭취 직전에 적용하는 것이 미생물 안전성 확보에 도움이 될 것으로 판단된다.

국문 요약

무순은 재배 및 유통 과정에서 토양, 용수 및 작업자 등에 의해 미생물 교차 오염이 발생할 가능성이 높아 미생물학적 안전성 문제가 지속적으로 제기되고 있다.

본 연구에서는 유통 중인 무순의 미생물 오염도를 조사하고, 주요 오염 미생물(대장균군, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*)에 대해 물리적 처리(자외선, 초음파) 및 화학적 처리(에탄올, 이산화염소수, 차아염소산나트륨, 구연산, 사과산, 식초)를 적용하여 미생물 저감 효과를 비교하였다.

그 결과, 3% 구연산–사과산 혼합 용액으로 10분간 처리 시 *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus*가 모두 불검출 수준으로 감소하였다. 또한 동일 처리 후 수돗물 세척 및 4°C에서 4일간 저장하는 동안 미생물 재증식은 확인되지 않았다. 그러나 3% 구연산–사과산 처리 후 1일 이상 저장 시 무순의 신선도가 저하되는 경향이 관찰되었다.

이상의 결과를 종합하면, 무순과 같은 어린잎 채소는 섭취 전까지 냉장(4°C) 보관 후 소비 직전에 3% 구연산–사과산 혼합 용액으로 10분간 처리하고 수돗물로 세척하는 방법이 미생물학적 안전성 향상에 효과적인 것으로 판단된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Hye-Jin Kim https://orcid.org/0009-0005-4147-6691
Ik-Jun Choi https://orcid.org/0000-0001-6586-3956
Hee-Kyeong Yang https://orcid.org/0009-0006-1139-502X
Dong-Gyu Lee https://orcid.org/0000-0001-8214-585X
Ho-Jin Song https://orcid.org/0009-0004-9152-3284
Jeong-Eun Lee https://orcid.org/0000-0002-0790-8578
Won-Bo Shim https://orcid.org/0000-0003-1800-6091

References

1. Lee, E., Jung, H., Jang, J., A study on diet perceptions and trends before and after COVID-19 using big data analysis. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **52**, 659-671 (2023).
2. Lee, C., Study of the stabilization of baby leaf supply and demand in fresh-cut industry for market extension and export. *Food Sci. Ind.*, **46**, 12-18 (2013).
3. Kwack, Y., Kim, D.S., Chun, C., Growth and quality of baby leaf vegetables hydroponically grown in plant factory as affected by composition of nutrient solution. *J. Bio-Environ. Control*, **24**, 271-274 (2015).
4. Chang, T.E., Moon, S.Y., Lee, K.W., Park, J.M., Han, J.S., Song, O.J., Shin, I.S., Microflora of manufacturing process and final products of Saengshik. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **36**, 501-506 (2004).
5. Kim, Y., Park, H., Han, H., A study on the production and marketing of sprouts and leaf vegetables. *Korea Rural Econ. Inst.*, **26**, 5-6 (2006).
6. Hanlon, P.R., Barnes, D.M., Phytochemical composition and biological activity of 8 varieties of radish (*Raphanus sativus* L.) sprouts and mature taproots. *J. Food Sci.*, **76**, C185-C192 (2011).
7. Choi, K., Kim, S., Kim, J., Yoo, H., Kim, I., Effect of light control on growth of baby leaf vegetables using rice seedling tray. *J. Agric. Life Sci.*, **28**, 55-62 (2016).
8. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, 2016. 2016 Status of processed food market (Ready-to-eat food market), Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, Naju, Korea, pp. 15-29.
9. Oh, T.Y., Baek, S.Y., Choi, J.H., Jeong, M.C., Koo, O.K., Kim, S.M., Kim, H.J., Analysis of foodborne pathogens in *Brassica campestris* var. *narinosa* microgreen from harvesting and processing steps. *J. Appl. Biol. Chem.*, **59**, 63-68 (2016).
10. Kim, S.R., Chu, H., Yi, S.W., Jang, Y.J., Shim, W.B., Nguyen, B.H., Kim, W.I., Kim, H.J., Ryu, K., Investigation of hazardous microorganisms in baby leafy vegetables collected from a Korean market and distribution company. *J. Food Hyg. Saf.*, **34**, 526-533 (2019).
11. Lynch, M.F., Tauxe, R.V., Hedberg, C.W., The growing burden of foodborne outbreaks due to contaminated fresh produce: risks and opportunities. *Epidemiol. Infect.*, **137**, 307-315 (2009).
12. Jung, Y., Jang, H., Matthews, K.R., Effect of the food production chain from farm practices to vegetable processing on outbreak incidence. *Microb. Biotechnol.*, **7**, 517-527 (2014).
13. Srisamran, J., Atwill, E.R., Chuanchuen, R., Jeamsripong, S., Detection and analysis of indicator and pathogenic bacteria in conventional and organic fruits and vegetables sold in retail markets. *Food Qual. Saf.*, **6**, fyac013 (2022).
14. Choi, S.Y., Chu, H.J., Rajalingam, N., Chae, H.B., Yoon, J.H., Hwang, I., Kim, S.R., Growth of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on radish microgreens washed with sodium hypochlorite during storage. *Korean J. Food Preserv.*, **27**, 850-858 (2020).
15. Cho, S.K., Park, J.H., Bacterial biocontrol of sprouts through ethanol and organic acids. *Korean J. Food Nutr.*, **25**, 149-155 (2012).
16. Park, S.H., Kang, D.H., Effect of temperature on chlorine dioxide inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* on spinach, tomatoes, stainless steel, and glass surfaces. *Int. J. Food Microbiol.*, **275**, 39-45 (2018).
17. Allende, A., McEvoy, J., Tao, Y., Luo, Y., Antimicrobial effect of acidified sodium chlorite, sodium chlorite, sodium hypochlorite, and citric acid on *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro. *Food Control*, **20**, 230-234 (2009).
18. Beuchat, L.R., Adler, B.B., Lang, M.M., Efficacy of chlorine and a peroxyacetic acid sanitizer in killing *Listeria monocytogenes* on iceberg and romaine lettuce using simulated commercial processing conditions. *J. Food Prot.*, **67**, 1238-1242 (2004).
19. Yemmireddy, V., Adhikari, A., Moreira, J., Effect of ultraviolet light treatment on microbiological safety and quality of fresh produce: an overview. *Front. Nutr.*, **9**, 871243 (2022).
20. Neto, L., Millan-Sango, D., Brincat, J.P., Cunha, L.M., Valdramidis, V.P., Impact of ultrasound decontamination on the microbial and sensory quality of fresh produce. *Food Control*, **104**, 262-268 (2019).
21. Lee, S., Moon, H.K., Lee, S.W., Moon, J.N., Lee, S.H., Kim, J.K., Enhanced antimicrobial effectiveness of Omija (*Schizamdra chinesis* Baillon) by ClO_2 (chlorine dioxide) treatment. *Korean J. Food Preserv.,* **20**, 871-876 (2013).
22. Lim, S.W., Choe, D.J., Kang, M.J., Kim, J.H., Kim, M.J., Kim, M.J., Microbial safety and quality of fresh carrot juice prepared with different environmentally-friendly washing methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **46**, 1225-1233 (2017).
23. Kim, A.N., Lee, K.Y., Ha, M.H., Lee, M.H., Kim, J.I., Kwak, D., Choi, S.G., The effect of air-bubble washing with natural sanitizers on microbial contamination and quality characteristics of perilla seeds. *Food Sci. Preserv.*, **25**, 797-803

(2018).
24. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2024. Korean food code (Notification no. 2024-20), MFDS, Cheongju, Korea.
25. Park, H.J., Lee, J.E., Kim, S.A., Shim, W.B., Microbial risk assessment for mixed vegetable salad and fresh and frozen fruits distributed in Korea. *J. Food Hyg. Saf.*, **36**, 324-330 (2021).
26. Han, E., Yang, J., Microbial reduction in Kimchi cabbage leaves by washing with citric acid and ethanol. *Food Eng. Prog.*, **23**, 112-117 (2019).
27. Kim, D.H., Kim, S.A., Lee, J.E., Lee, S.M., Shim, W.B., A study on the reduction of microorganisms in the small-scale traditional Yugwa manufacturing process. *J. Agric. Life Sci.*, **57**, 99-106 (2023).
28. Kim, Y.S., Park, I.S., Ha, S.D., Application sanitizer for the control of microorganisms in food. *Food Sci. Ind.*, **42**, 26-51 (2009).
29. Estrela, C., Estrela, C.R., Barbin, E.L., Spanó, J.C.E., Marchesan, M.A., Pécora, J.D., Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz. Dent. J.*, **13**, 113-117 (2002).
30. Park, K.M., Baek, M., Kim, H.J., Kim, B.S., Koo, M., Susceptibility of foodborne pathogens isolated from fresh-cut products and organic vegetable to organic acids and sanitizers. *J. Food Hyg. Saf.*, **28**, 227-233 (2013).
31. Kang, J.H., Song, K.B., Non-thermal treatment of postharvest strawberry and establishment of its optimal freezing condition. *J. Appl. Biol. Chem.*, **58**, 55-60 (2015).
32. Lee, J.S., Kim, J.G., Park, S., Effects of chlorine wash on the quality and microbial population of 'Tah Tasai' Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *narinosa*) microgreen. *Hortic. Sci. Technol.*, **27**, 625-630 (2009).
33. Zhang, S., Farber, J., The effects of various disinfectants against *Listeria monocytogenes* on fresh-cut vegetables. *Food Microbiol.*, **13**, 311-321 (1996).
34. Kim, J.S., Cho, J.S., Lee, C.H., Effect of environmental factors on sprout germination, growth, and storage of six *Aster* species. *Hortic. Sci. Technol.*, **33**, 638-646 (2015).