단순가공 농산물의 미생물 안전성 향상 기술 및 향후 과제

Technology for Minimally Processed Agricultural Products Safety and Challenges

최송이[1,2*], 황인준[1,2], 현정은[1,2], 김세리[1,2]

Song-Yi Choi[1,2*], Injun Hwang[1,2], Jeong-Eun Hyun[1,2], Se-Ri Kim[1,2]

[1]농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물과, [2]농산물안전위생연구회

[1]Microbial Safety Division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

[2]The Korean Society of Agricultural Products Safety and Hygiene

최 송 이

Correspondence to

Song Yi Choi, Microbial Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 166 Nongsaengmyeopngro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Republic of Korea

Tel: +82-63-238-3396

Fax: +82-63+238-3840

E-mail: songechoi@korea.kr

1인 가구가 증가하고 여성의 경제활동이 활발해지는 등 사회구조가 변화하면서 농식품의 소비 유형도 변화하였다. 간편하게 조리할 수 있는 음식이나 포장 · 배달 등으로 편의성을 추구하는 식품에 관한 관심이 증가하였으며 최근에는 코로나바이러스감염증-19(COVID-19)로 인해 그 변화는 더욱 가속화되었다. 사회적 거리두기로 인하여 급식이나 외식으로 인한 농산물 소비는 줄어들고 가정에서 조리하여 섭취할 수 있는 즉석조리식품이나 간편조리세트 등 식품제조업을 통한 소비가 증가했다. 또한 온라인을 통한 식료품 구입이 증가하면서 신선 식재료 당일배송 또는 산지유통시설(APC)이나 생산자 직거래가 활발하게 이루어지고 신선하고 안전한 농산물에 대한 선호도가 증가하며 로컬푸드 구매가 활성화되고 있다. 이렇게 농산물을 유통 · 소비하는 형태가 변화하면서 농산물 안전관리에도 전환점을 맞이하고 있다.

가정간편식 시장은 2015년 1조 6,823억 원에서 2018년 32조 2천억 원 수준으로 급격하게 성장(90.5% 증가)하였다. 이에 2020년 7월 식품의약품안전처에서는 간편조리세트(밀키트)에 대한 식품 기준 · 규격을 신설(고시 제2020-98호, 2022.1.1.시행)하여 안전관리를 위한 기준을 제시하였다. 간편조리세트는 손질된 농 · 축 · 수산물과 소스 등 조리에 필요한 식재료와 양념이 패키지로 구성되어 소비자가 직접 조리해 섭취하도록 제조된 제품으로 단순하게 가공된 농산물을 포함하고 있다. 단순가공 농산물은 조리나 2차 가공 등을 목적으로 원형을 알아볼 수 있을 정도로 세척, 절단, 박피, 절임 등 단순하게 전처리 된 것으로 신선편의식품[1)]과는 다른 유형의 농산물로 분류할 수 있다. 단순가공 농산물에 대한 소비자 구매빈도를 살펴보면 2013년 46.6%에서 2019년 88.4%로 꾸준히 증가한 것으로 나타나 단순

가공 농산물 시장 규모가 더욱 성장할 것으로 예상할 수 있다.

한국농촌경제연구원에서 단순가공 업체를 대상으로 활용하는 공정을 조사한 결과 세척과 건조가 각각 21.7%로 가장 많은 것으로 조사되었으며, 다음으로 절단(15.9%), 박피(10.1%) 순이었다. 농산물이 세척, 절단, 박피 등의 과정을 거치면서 품질이 쉽게 변질되거나 미생물이 번식하기 쉬운 환경이 조성된다. 일반적으로 농산물의 표면에는 10^3~10^7 CFU/g의 미생물이 존재하는데 세척 단계에서 미생물이 제거되길 기대하나 단순하게 물로만 세척해서는 미생물 위해요소를 완전하게 제거하기 어려우며 적절하게 세척하지 않을 경우 오히려 교차오염이 일어날 수 있다. 그러나 신선 농산물의 품질 특성상 가열 살균을 할 수 없으므로 열을 가하지 않는 살균 · 소독제 세척이나 물리적 처리 등 농산물의 특성에 맞는 적절한 살균 방법이 필요하다.

살균 기술 현황 및 장단점

1) 식품용 살균 · 세척제

일반적으로 살균 · 세척제를 사용하여 농산물을 세척 할 때는 세척제의 효과를 높이기 위해 여러 단계의 세척 과정을 거친다. 농산물 표면에 묻어있는 유기물을 제거하는 1차 세척을 한 후 2차 세척 과정에서 미생물을 제어하기 위하여 살균제를 적용한다. 그리고 세척제가 농산물에 잔류하지 않도록 헹구는 과정을 거치게 된다. 농식품 표면의 미생물을 사멸시키기 위해 사용하는 살균제는 식품첨가물로 분류되어 있으며 식품위생법에 따라 「식품첨가물의 기준 및 규격」에 7가지의 살균제가 허용되고 있다. 허용된 살균제의 종류는 차아염소산나트륨(NaClO), 차아염소산수(HOCl), 과산화수소(H_2O_2), 차아염소산칼슘($Ca(ClO)_2$), 이산화염소수(ClO_2), 과산화초산($C_2H_4O_3$), 오존수(O_3)이다. 또한 과일이나 채소를 세척하기 위해 사용하는 세척제는 위생용품으로 분류되며 「위생용품의 기준 및 규격」에 1종 세척제로 구연산, 알코올 등 231종의 물질이 등록되어 있다.

표 1. 식품용 살균제 및 세척제 구분

구분	식품용 살균제	세척제
관련 법령	식품위생법 – 식품첨가물의 기준 및 규격	위생용품관리법 – 위생용품의 기준 및 규격
대상	과일류, 채소류 등 식품 식육(가금류, 포유류)	야채, 과일 등 (1종 세척제)
용도	미생물 사멸	세척
종류	7종	231종

이 중 가장 널리 사용되는 것은 차아염소산나트륨이며 염소계 소독제를 대신한 친환경적인 소독제로 차아염소산수(전해수)나 오존수도 활발하게 사용하고 있다.

① 차아염소산나트륨(Sodium hypochlorite, NaClO)

차아염소산나트륨(NaClO)은 비용이 경제적이고 사용방법이 어렵지 않아 농산물 세척뿐만 아니라 축산, 의료 등 다양한 분야에서 널리 사용하고 있다. 차아염소산나트륨은 수용액상에서 살균력을 나타내는 차아염소산(HOCl)을 형성하는데 이 물질이 미생물의 세포벽을 통과하여 DNA를 손상시키거나 효소를 불활성화하여 살균작용을 나타내는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 농산물 세척에는 유리염소의 농도가 100~200ppm이 되도록 하여 사용하고 있으며 낮은 pH에서 살균효과가 높아진다. 산성의 용액은 세척장비를 부식시킬 우려가 있기 때문에 유기산 등을 첨가하여 pH 6.5~7 정도로 조정하여 사용하면 차아염소산나트륨 세척의 효과를 높일 수 있다. 또한 세척수를

1) 농 · 임산물을 세척, 박피, 절단 또는 세절 등의 가공공정을 거치거나 이에 단순히 식품 또는 식품첨가물을 가한 것으로 그대로 섭취할 수 있는 샐러드, 새싹채소 등의 식품을 말한다. 신선편의식품에 대해서는 대장균(n=5, c=1, m=10, M=100), 황색포도상구균 · 바실루스 세레우스 · 클로스트리디움 퍼프린젠스(1g 당 100 이하), 살모넬라 · 장출혈성 대장균(n=5, c=0, m=0/25g)에 대한 미생물 규격이 정해져 있다(식품공전 2021)

40℃ 정도의 온도로 높여줄 경우 상온(23~25℃)이나 저온수 세척보다 미생물 저감 효과를 높일 수 있다.

그러나 유기물이 있는 경우 소독 효과가 급격하게 떨어지며 높은 농도에서는 염소가 유기물과 반응하여 트리할로메탄(trihalomethanes, THMs)이나 할로초산(haloacetic acids, HAAs)과 같은 발암성 할로겐화소독부산물(Disinfection by-products, DBP)을 형성할 수 있어 일부 유럽국가에서는 사용을 금지하고 있다. 또한 우리나라에서는 유기농산물의 경우 차아염소산나트륨 세척이 허용되지 않기 때문에 전해수나 오존수로 대체하기 위해 노력하고 있다.

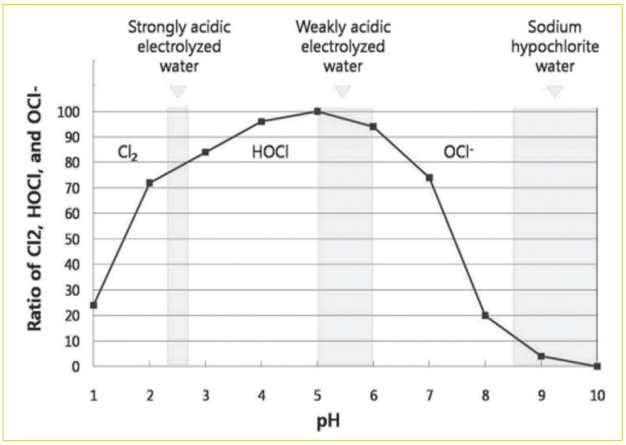

그림 1. pH에 따른 유효염소의 형태 및 비율
(Kyung-Seok Kang 등, 2010)

② 차아염소산수(전해수; Electrolyzed water)

차아염소산수는 전해수의 한 종류로 염산(HCl) 또는 염화나트륨(NaCl)을 전기분해 하여 얻어지는 것으로 산성도 및 유효염소 함유량에 따라 강산성, 약산성, 미산성 차아염소수로 분류할 수 있다. 유효염소는 pH에 따라 염소의 형태와 존재하는 비율이 달라지는데 그중 차아염소산(HOCl)이 가장 강력한 살균효과를 나타낸다고 알려져 있다. 강산성 전해수는 pH 2.7이하에 유효염소농도는 20~60 ppm으로 살균효과가 뛰어나지만, 금속을 부식시키거나 염소가스(Cl_2)가 발생하는 등의 단점이 있다. 또한 원수의 칼슘같은 경도 성분이 불용성의 산화칼슘(석회, CaO)으로 주요 부품에 침착하여 전해 효율을 떨어뜨리기 때문에 활용에 장애가 되고 있다. 미산성 전해수는 pH 5.0~ 6.5로 유효염소가 차아염소산(HOCl) 92~100%로 구성되어 있어(그림 1) 동일 농도에서 염소계 살균소독 제 중 가장 높은 살균력을 갖고 있으며, 중성에 가까워 금속기기의 부식에 미치는 영향도 낮다. 유효염소 농도는 10~80ppm을 함유하여야 하며 강산성 전해수의 단점을 보완하면서 유사한 살균력을 갖고 있으며 휘발성 염소를 포함하지 않아 염소취가 거의 없다. 150ppm의 차아염소산나트륨수와 비교했을 때 30ppm의 차아염소산수는 동일한 살균효과가 있는 것으로 나타났으며, 병원성 대장균을 대상으로 세척수의 온도에 따른 전해수의 살균효과를 비교했을 때 4℃(1.18 log CFI/ml 감소)에서 보다 40℃(5.46 log CFU/ml)의 온수에서 처리했을 때 효과가 더 높은 것으로 나타났다.

③ 오존수(Ozone water, O_3)

오존은 산화제로서 살균력이 염소에 비해 강하며 실온의 물속에서 반감기가 20분 정도이고 산소로 변하기 때문에 잔류 물질에 대한 염려가 없다. 고농도의 순수한 오존은 특이한 냄새를 지닌 푸른색 가스 또는 액체이지만 2% 이하의 농도에서는 무색으로 육안으로 식별이 불가능하다. 오존의 강력한 산화력은 살균작용뿐만 아니라 탈취, 탈색 등의 작용을 하여 폐수처리, 수영장, 식품 가공장비 살균, 공기살균 등에 사용되며 세균에 의해 생성되는 냄새를 제거하고 과일 저장 시 에틸렌가스를 제거하여 숙성을 억제하고 부패를 방지하는 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

오존은 미생물의 세포막을 산화시키고 효소와 핵산을 불활성화하여 살균작용을 나타낸다. 오존을 이용한 세척수는 여과 후 오존처리를 통해 다시 사용할 수 있고 염소처리 한 세척수와는 달리 잔류 화학물질이 없으며 살충제나 염소의 부산물 등을 분해할 수도 있어 환경친화적인 세척제이다. pH 6.0~8.5에서 살균력이 가장 높으며 pH가

낮을수록 불안정해지는 특성이 있고 온도에 민감하기 때문에 수온이 높아지면 오존의 용해도가 감소한다. 식품첨가물의 기준 · 규격 상 오존수의 오존의 농도는 1.0mg/L (1ppm)이상 함유하여야 한다.

오존수 처리 시 1~5ppm 이하의 저농도로 처리하는데 양배추, 당근, 파 등에 5ppm의 오존을 5분간 처리했을 때 100ppm의 차아염소산나트륨수를 처리한 것과 유사한 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 당근의 경우 저장 시 백화현상으로 품질이 쉽게 변할 수 있는데 염소수로 세척했을 때보다 품질 변화가 적은 것으로 나타났다.

그러나 오존은 물에 잘 녹지 않는데 염소와 비교했을 때 용해도가 12배 낮아 오존수를 제조하는 과정에서 물에 용존시키고 남은 오존가스가 대기 중으로 배출되는 배오존(off-gas) 문제가 있다. 작업환경 내에 배오존 농도가 높을 경우 주로 인체의 호흡기에 영향을 미칠 수 있으며 두통이나 수면장애를 유발 할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 장치 개발이 꾸준하게 이루어지고 있으며 적절하게 사용할 경우 소독 효과가 높고 친환경적이기 때문에 염소 세척을 대체하는 기술로 가능성이 높은 세척방법이다.

④ 이산화염소수(Chlorine dioxide, ClO_2)

이산화염소도 오존과 같이 강력한 산화제로 염소와 비교했을 때 냄새와 외형이 비슷한 연노란 색이이지만 산화력이 염소에 비해 2.5배 높다. 이산화염소 가스는 높은 온도와 압력에서 폭발성이 있으나 물에 쉽게 용해되어 염소에 비해 수용성이 10배 정도 높다. 이산화염소는 자외선에 의해 쉽게 분해되는데 시간이 경과하면서 용존 가스가 분해되거나 증발하여 농도가 감소하면 연노란색에서 무색으로 옅어진다. 염소와는 달리 유기물질과 반응하여 트리할로메탄류를 생성하지 않으며 pH 2~10의 광범위한 영역에서도 작용할 수 있다. 우리나라에서는 현재 식품위생법상 이산화염소수만 식품용 살균제로 등록되어 있으며 이산화염소가스는 살균제로 사용할 수 없고 밀가루 개량제로만 허용되어 있다.

표 2. 살균 소독제의 물리화학적 특성(S.M.E. Rahman 등, 2010)

구분	pH	ORP(mV)	유효염소농도 (mg/L)
미산성전해수	6.3±0.2	520±20	5±0.1
강산성전해수	2.5±0.3	1,130±20	50±2.2
차아염소산 나트륨	10.6±0.2	630±15	100±4.5
오존수	6.6±0.1	1,245±25	5.2± 0.2mgO_3/L
1%유기산	2.6±0.2	1,120±18	–

2) 물리적 처리

① 자외선 조사(Ultraviolet, UV)

자외선은 파장 100 nm와 400nm 사이의 전자기 에너지로 파장에 따라 UV-A, B, C로 나눌 수 있는데 그중 UV-C(200~280nm) 영역의 250~270nm 사이의 파장에서 강한 살균 능력을 나타낸다. 이 영역의 파장은 DNA와 단백질이 잘 흡수하는 파장으로 미생물에 조사했을 때 피리미딘(DNA: 시토신과 티민, RNA: 시토신과 우라실) 분자들이 서로 이중결합을 형성하게 되고 그 결과 DNA 복제가 이루어지지 않아 불활성화되는 것으로 알려져 있다. UV 살균은 적용이 용이하고 비용이 저렴하며 염소계 소독제와 달리 유해물질이 발생하지 않는다.

세척당근에 UV-C 10 kJ/m^2를 조사했을 때 병원성 대장균이 2.1 log CFU/g 감소하였으며 어린 시금치 잎에 24 kJ/m^2를 조사했을 때는 4.3~4.8 log CFU/g의 병원성 세균 감소 효과가 있었다. 그러나 자외선은 단파장으로 굴절이 거의 일어나지 않아 직접 조사되는 부위에서만 살균이 가능하며 농산물의 표면이 고르지 않을 경우 살균효과가 떨어질 수 있다. UV를 오랜 시간 처리할 경우 식품의 지질 산화 속도를 높이는 등 품질의 변화를 일으킬 수 있기 때문에 UV를 단독으로 사용하는 것보다 농산물로 침투할 수 있는 소독제와 병행하여 사용함으로써 처리시간을 줄이고 효과적으로 미생물을 살균할 수 있다.

표 3. 수은 UV 램프와 UV-LED 특성 비교(유형선, 2014)

	수은 UV 램프	UV-LED
파장 특징	단일파장	혼합파장
발열	낮음	높음
환경 친화성	유해 방전 가스 불필요	수은 등 유해 가스 사용
내구성	높음	낮음(석영관)
예열시간	필요 없음	필요
수명	~ 20,000시간	약 3,000시간

UV 램프는 일반적으로 수은 램프를 사용하는데 가스를 석영관에 봉입하고 양 끝의 전극을 통해 전압을 가해 방전시킨다. 주입된 방전 가스 원자가 반복적으로 전자를 잃고 얻는 과정에서 특정 파장의 빛이 발생하며 이때 자외선이 방출된다. 방전 램프에서는 가스가 안정적으로 방전되어 플라즈마 상태가 되는데 최대 광도에 이를 때까지 수 분의 예열시간이 필요하다. UV는 파장이 짧을수록 유리에 잘 흡수되므로 UV 램프는 석영관을 이용한다. 기존의 UV는 시간이 경과하면 램프의 효율이 떨어져 자주 교체해 주어여 하는 단점이 있었으나 최근에는 수명이 긴 LED를 이용한 UV 조사 기술을 이용해 단점을 개선한 연구가 활발하게 진행되고 있다. LED는 전류를 흘려주면 빛을 발생시키는 반도체 소자로 다양한 영역의 자외선을 방출하는 수은 램프와는 달리 반도체의 조성에 따라 특정 단일 파장을 만들어 낼 수 있다. 253.7nm의 UV-C 파장이 표면 살균에 일반적으로 쓰이고 있으나 405nm의 특정 파장이 리스테리아 식중독 세균에 특이적으로 효과를 나타내는 것으로 알려지며 UV-LED를 산업적으로 미생물 살균에 적용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

② 마이크로버블수

마이크로버블수는 직경이 50㎛이하의 미세한 기포로 부력이 낮아 수중에서 오래 머물면서 천천히 상승하여 파열하거나 나노 크기로 수축하여 내부의 기체를 완전히 용해하면서 소멸하기도 한다. 음전하를 띈 마이크로버블에 양전하를 띈 박테리아가 이끌리며 물리적 충격으로 미생물을 제어하기도 하고 나노 크기로 작아진 기포의 자체 파괴에 의해 순간적으로 오존 대비 2,000배의 산화력을 갖는 하이드록실 라디칼이 발생하여 미생물을 살균하게 된다. 마이크로버블은 물에 기체를 강한 압력으로 투입하여 발생시키는데 전기분해수를 이용해 마이크로버블을 생성하거나 오존 가스를 이용하는 등 다양하게 적용하여 살균력을 높일 수 있다. 깻잎이나 양상추 등을 대상으로 전기분해수와 살균 효과를 비교했을 때 전기분해수-마이크로버블 세척이 전기분해수 단일 세척에 비해 2 log CFU/g 이상의 저감 효과를 나타내기도 했다. 또한 버블의 물리적 충격으로 농산물 표면의 이물질을 떨어뜨리는 효과가 있으며 살균 소독제의 종류에 따라 조직의 손상도를 간접적으로 측정할 수 있는 전기전도도를 비교했을 때 이산화염소수나 전해수에 비해 마이크로버블수의 전기전도도가 낮게 측정 되었다. 전기전도도의 증가는 채소의 품질 손상이 된 것을 의미하는데 마이크로버블수가 상대적으로 품질에 미치는 영향이 적음을 나타낼 수 있다.

표 4. 미생물 저감 조건에 따른 비타민 채소의 미생물 저감 효과 및 전기전도도

구분	처리조건	일반세균	전기전도도
Control	비세척	1.6×10^{6}	2.8±0.7
차아염소산나트륨수	200ppm/2분	2.4×10^{5}	4.1±0.3
전해수	30ppm/2분	9.7×10^{5}	4.4±0.4
이산화염소수	50ppm/2분	6.2×10^{3}	6.8±1.2
마이크로버블	45℃/2분	9.5×10^{4}	3.6±0.9

단순가공 농산물 살균 기술의 향후 과제

단순 가공하는 농산물은 양상추, 청경채 등의 엽채류, 당근, 무 등의 근채류, 양파, 마늘 조미채소 등 종류가 다양하며 각각 다른 특성을 갖고 있다. 땅속에서 자라는 당근이나 무는 토양이 많이 묻어있기 때문에 토양에서 유입되는 유해미생물에 오염될 가능성이 높지만 조직이 단단하여 엽채류에 비해서는 세척 · 살균에는 용이하다. 엽채

류 중에서도 재배 방식에 따라 미생물의 초기 오염도가 다를 수 있는데 노지재배나 시설재배방식에 따라서 유해미생물에 노출될 확률이 다르다. 또한 같은 작물이라도 연한 잎을 목적으로 수확하는 새싹채소의 경우 조직이 연하기 때문에 세척 방법에 따라 품질이 크게 떨어질 수 있어 적절한 세척 방법을 선택하는 것이 중요하다. 농산물이 갖고 있는 물리화학적인 특성과 초기 미생물 오염농도를 고려하여 품질에 영향을 최소화하는 살균 · 세척 방법에 대한 체계적인 정리가 필요하다.

단순 가공 농산물은 구매 후 바로 섭취하는 신선편의식품과는 달리 법적으로 미생물 기준 · 규격이 정해져 있지 않다. 농산물의 재배 환경에서 유입되는 유해요인들을 완벽하게 차단하기 어렵기 때문이다. 살균 · 세척을 통해 미생물을 감소시킬 수는 있지만 초기 오염농도가 높을 경우 안전하게 제어하기 어려울 수 있다. 따라서 미생물의 초기 오염도가 높지 않도록 재배 단계에서부터 관리하는 것이 중요하다. 우수농산물관리(Good agricultural practice, GAP) 인증을 통해서 물, 토양 등의 재배환경으로 유입 될 수 있는 위해요소를 관리하여 농산물에 오염되지 않도록 해야 한다. 또한 박피, 절단, 세척 등의 가공 공정 중 가공 현장에서 오염되지 않도록 작업 환경에 대한 위생관리도 이행되어야 하며 가공 된 농산물은 원료농산물에 비해 품질 저하 및 미생물 증식이 용이하므로 온도관리 등 현장의 위생관리를 철저하게 해야 할 것이다.

참고 문헌

1. Ampiaw RE, Yaqub M, Lee W. Electrolyzed water as a disinfectant: A systematic review of factors affecting the production and efficiency of hypochlorous acid. Journal of Water Process Engineering. 2021;43:102228.
2. Bang I, Lee S, Han K, Min S. Microbial decontamination of black pepper powder using a commercial-scale intervention system combining ultraviolet-c and plasma treatments. Food Engineering Progress. 2018;22(4):386-391
3. Cho M, Jeong W-D, Yoon J-Y. Application of UV technology for surface disinfection. Journal of Korean Society of Environmental Engineers. 2007;29(9):1020-1026.
4. Choi J-K, Shin I-S, Kim DU, Kim H-Y. Control of microorganisms in school refectories and kitchens using ozone water and ozone gas. Korean Journal of Food Science and Technology. 2015;47(5):586-592.
5. Fukuzaki S. Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. Biocontrol science. 2006;11(4):147-157.
6. Green A, Popović V, Pierscianowski J, Biancaniello M, Warriner K, Koutchma T. Inactivation of Escherichia coli, Listeria and Salmonella by single and multiple wavelength ultraviolet-light emitting diodes. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2018;47:353-361.
7. Han Y, Linton R, Nielsen S, Nelson P. Reduction of Listeria monocytogenes on green peppers (Capsicum annuum L.) by gaseous and aqueous chlorine dioxide and water washing and its growth at 7 C. Journal of food protection. 2001;64(11):1730-1738.
8. Inatsu Y, Kitagawa T, Nakamura N, Kawasaki S, Nei D, Bari ML, et al. Effectiveness of stable ozone microbubble water on reducing bacteria on the surface of selected leafy vegetables. Food Science and Technology Research. 2011;17(6):479-485.
9. Jin Y-G, Kim T-W, Ding T, Oh D-H. Effect of electrolyzed water and citric acid on quality enhancement and microbial inhibition in head lettuce. Korean Journal of Food Science and Technology. 2009;41(5):578-586.
10. Kang K-S, Kim T-i, Lee H-i, Han H-j, Park S-g, Kim H-j, et al. Investigation on the Technology Trend in Electrolyzed Sterilizing Water by the Patent Analysis. Appl Chem Eng. 2010;21(2):188-194.
11. Kim HJ, Park KM, Jeong M, Park KJ, Koo M. Effect of combined washing with heat and microbubbles water on the quality of fresh-cut lettuce. Korean Journal of Food Preservation. 2020;27(2):170-177.
12. Kim HJ, Shin J, Kim J-e, Yang J-y. Effect of Gaseous Chlorine Dioxide on Sterilization in Industrial Food-holding Cabinets. Journal of Food Hygiene and Safety. 2019;34(2):170-177.

13. Kim J. Use of chlorine dioxide as a biocide in the food industry. Food Ind Nutr. 2001;6:33-39.

14. Kim J-G, Luo Y, Lim C-I. Effect of ozonated water and chlorine water wash on the quality and microbial de-contamination of fresh-cut carrot shreds. Korean Journal of Food Preservation. 2007;14(1):54-60.

15. Kim S-R, Ryu K-Y, Lee M-H, Jung C-S, Yoon Y-H, Shim W-B, et al. Evaluation of the bactericidal activity of electrolyzed water against Salmonella Typhimurium and Staphylococcus aureus on perilla leaves. Korean Journal of Food Science and Technology. 2012;44(4):467-471.

16. Kim Y-S, Park I-S, Kim A-Y, Jeon K-M, Seo Y-M, Choi S-H, et al. Application, Utilization and Management of Ozone Water in Food Manufacturing. Journal of Food Hygiene and Safety. 2008;23(2):98-107.

17. Koseki S, Yoshida K, Isobe S, Itoh K. Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water. Journal of food protection. 2001;64(5):652-658.

18. Lee JM, Chung H-J, Bang WS. Bactericidal Effect of Electrolyzed Activated Water Prepared at Different Water Temperatures on Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2016;45(8):1227-1232.

19. 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 Journal of Food Preservation. 2013;20(6):871-876.

20. Lee S-A, Youn A-R, Kwon K-H, Kim B-S, Kim S-H, Cha H-S. Wahsing Effect of Micor-Bubbles and Changes in Quality of Lettuce (Lacutuca sativa L.) during Storage. Korean Journal of Food Preservation. 2009;16(3):321-326.

21. Lee W-J, Lee C-H, Yoo J-Y, Kim K-Y, Jang K-I. Sterilization efficacy of washing method using based on microbubbles and electrolyzed water on various vegetables. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2011;40(6):912-917.

22. Rahman S, Ding T, Oh D-H. Inactivation effect of newly developed low concentration electrolyzed water and other sanitizers against microorganisms on spinach. Food control. 2010;21(10):1383-1387.

23. Simpson AM-A, Mitch WA. Chlorine and ozone disinfection and disinfection byproducts in postharvest food processing facilities: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2020:1-43.

24. Zhang H, Tikekar RV. Air microbubble assisted washing of fresh produce: Effect on microbial detachment and inactivation. Postharvest Biology and Technology. 2021;181:111687.

25. 김경필, 유정호, 임승주, 김지연, 명수환, 석준호. 가정간편식(HMR) 산업의 국내산 원료 사용 실태와 개선 방안, 한국농촌경제연구원. 2020:1-277.

26. 김성우, 박성진, 변승연. 단순가공 농산물의 품질 안전 관리방안, 한국농촌경제연구원 정책연구보고. 2014:1-199.

27. 김용수, 박인숙, 하상도. 식품위해미생물 제어를 위한 살균소독제의 활용. 식품과학과 산업. 2009;42(2):26-51.

28. 김지강. 신선편이 채소류의 살균 소독 및 세척 기술 방향. Food preservation and processing industry. 2012;11(2):19-21.

29. 박기재, 구민선, 정문철. 신선편이 농산물의 살균/세척 기술. Food preservation and processing industry. 2016;15(1):18-25.

30. 박지용, 나상열, 이연정. 비가열 식품가공기술의 현재와 미래. 식품과학과 산업. 2010;43(1):2-20.

31. 배호제, 강민경, 김경진, 이정기. 식품용 살균제(이산화염소, 차아염소산나트륨 등)에 대한 사용기준 개선 연구, 식품의약품안전처. 2018.

32. 식품공전, 식품의약품안전처. 2021

33. 유형선. UV LED 최신기술동향 및 시장기회분석, 한국과학기술 정보연구원. 2013.

34. 통계청 온라인쇼핑동향, https://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/12/3/index.board

35. 한정은. 최소가공농산물 보존을 위한 이산화염소. 식품기술. 2009;22(3):445-61.

36. 한정은. 총설: 유기농 신선편이제품의 세척. 소독법에 대한 고찰. 식품기술. 2010;23(1):15-27.

37. 황의식, 이명기, 순병민, 서홍석, 국승용, 정학균, 박기환, 엄진영, 박미성, 김병률, 홍연아, 김경필, 안석, 김광선, 김미복, 우성휘. 코로나19 대응 농업 · 농촌부문 영향과 대응과제. 한국농촌경제연구원. 2020:1-259.