

오존수 세척 처리에 의한 유자의 품질 특성 변화 및 저장기간별 살균 효과

이보배 · 김민환* · 윤창용** · 조윤섭** · †남승희***

전라남도농업기술원 과수연구소 농업연구사, *(주)캐스트 대표,
전라남도농업기술원 과수연구소 농업연구관, *전남대학교 농업생명과학대학 연구교수

Changes in the Quality Characteristics of Yuzu (*Citrus Junos* Sieb.) after Ozone Water Washing Treatment, Sterilization and Storage Period

Bo-Bae Lee, Min-Hwan Kim*, Chang-Yong Yoon**, Youn-sup Cho** and †Seung-Hee Nam***

Researcher, Fruit Research Institute of Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services, Haenam 59021, Korea

*CEO, CAST, Co., Ltd., Seoul 05587, Korea

**Senior Researcher, Fruit Research institute of Jeollanamdo Agricultural Research and Extension Services, Haenam 59021, Korea

***Research Professor, Dept. of Agricultural Science and Technology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of sterilization, storage period and washing yuzu, according to the washing method, during the storage period. The results showed that the fungus size increased as the storage period increased, and no mold occurred in the yuzu washed with ozone water until 20 days. After 30 days of storage, a mold of $124.1 \pm 13.9 \text{ mm}^2$ was observed. The no-treatment sample had a fungus of $814.5 \pm 72.8 \text{ mm}^2$ in size on day 0 and the fungus the largest fungus was $6,362 \pm 636.7 \text{ mm}^2$ on day 30. In the case of water treatment, the fungus was $286.4 \pm 31.5 \sim 4,836.4 \pm 484.6 \text{ mm}^2$ in size. The results of the study confirmed that washing yuzu with ozone water has a sterilizing effect.

Key words: yuzu, ozone water, sterilization, storage

서 론

식물 분류학상 유자(*Citrus junos* Sieb.)는 운향과(芸香科), 감귤속(柑橘屬), 후생 감귤아속(後生柑橘亞屬)에 속하며, 후생감귤아속 중에서 가장 오래된 과수로써 내한성과 내병성이 강한 겨울철 온난한 기후에 재배가 가능한 상록관목이다. 중국 양자강 상류지방이 원산지이며 한국, 중국, 일본 등지에서 재배되고 있다(Lee 등 2017a). 유자는 생과보다는 주로 가공을 통해 소비되고 있으며 가공을 하기 전에 저온저장을 하는데 저장하는 동안에 곰팡이가 발생하는 문제점이 야기되고 있다.

최근 농·식품분야에서 살균기술로 플라즈마에 대한 관심이 증가하고 있다. 플라즈마는 기체보다 높은 에너지를 가

지게 되었을 때 이온과 전자로 분리되면서 이들이 갖는 에너지가 서로 평형을 이루는 상태를 뜻하며, 하전입자뿐만 아니라 화학적 반응성이 큰 활성 라디칼, 자외선 등이 포함되어 있어 물리화학적 처리가 동시에 가능한 기술이다(Lee 등 2017b). 오존(O_3)은 강력한 산화력을 가지며 살균 및 탈색, 탈취 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 오존은 불안정한 상태의 고 에너지 분자이므로 상온에서 자연적으로 산소로 분해되기 때문에 처리 후 잔존에 대한 우려가 없고 2차 오염을 초래하지 않는 장점도 있어 식품산업 뿐 아니라 다른 산업에서의 이용도 증가하고 있는 추세이다. 최근 다양한 방전 방식의 플라즈마를 적용하여 곡류 및 그 가공품의 미생물 저감을 위한 연구는 시도된 바 있으나(Youn & Mok 2015; Kim & Lee 2016; Lee 등 2016), 유자 생과에 관한 연구는 전

† Corresponding author: Seung-Hee Nam, Research Professor, Dept. of Agricultural Science and Technology, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea. Tel: +82-62-530-0207, Fax: +82-62-530-0279, E-mail: namsh1000@jnu.ac.kr

무한 실정이다. 유자는 가공 전에 세척 단계를 거치게 되는데 가공업체에서는 수도물로 세척한다. 하지만 수도물 세척을 한 후 저장고에 저장하면서 곰팡이 발생의 문제가 야기되고 있다. Kim 등(2007)의 연구에 따르면 염소수로 세척시 품질변화가 심하였고 오존수 세척이 염소 세척을 대체할 수 있다고 보고된 결과에 따라 오존수를 이용하여 유자를 세척하였다. 유자에는 phenolic acid, flavonoid 등의 물질이 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있어(Park 등 2008), 저장기간별 세척처리에 따른 성분들의 변화를 조사하였다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 재배된 유자의 저장 안전성 확보를 위해 오존수를 이용하여 세척한 후 저장기간에 따른 미생물 발생률 및 항산화 활성, 주요 플라보노이드 조사를 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용된 유자(*Citrus junos* Sieb.)는 전라남도농업기술원 과수연구소 완도시험장(Wando, Korea)에서 2021년 11월에 수확한 '재래종' 품종을 사용하였다. 수확한 유자를 절반으로 자른 후 오존수 발생기(SWT series, CAST Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 식품의약품안전처 첨가물기준과에서 제공한 Ministry of Food and Drug Safety(2022)을 참고하여 오존수 농도 1 ppm에서 3분간 세척하였고 일반적으로 유자가공업체에서 사용하고 있는 방법인 수도물로 1분간 세척하였다. 세척 방법을 달리한 유자는 25°C에서 30일간 저장하면서 저장 중 성분 변화 및 곰팡이 발생을 조사하였다.

2. 총 페놀 및 플라보노이드 측정

유자의 총 페놀 함량은 Im 등(2021)의 방법으로 구하였다. 1 g 시료를 20 mL 80% 에탄올로 3시간 환류 추출하여 여과 후 사용하였다. 에탄올 추출물 30 µL에 증류수 32.5 µL를 첨가한 후 Folin-Denies reagent 12.5 µL를 첨가하여 6분간 암소에서 방치하고, 7%(w/v) sodium carbonate 12.5 µL와 증류수 250 µL를 첨가하여 60분간 암소에서 반응 후 분광광도계(Biotek Epoch, Winooski, VT, USA)로 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 농도별 검량곡선을 작성한 후 흡광도를 3회 반복 측정한 후 평균값과 표준편차를 나타내었다. 플라보노이드 함량은 에탄올 추출물 20 µL에 di-ethylene glycol 200 µL와 2 N NaOH 20 µL를 첨가한 후 37°C에서 30분 동안 방치하고 420 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 구하였다. 검량선은 표준물질로 rutin(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)을 사용하였다(Lee 등 2021).

3. 항산화 활성 측정

DPPH 라디칼 소거능은 Jin 등(2008)의 방법을 일부 변형하여 측정하였으며, 1 mM DPPH를 에탄올 100 mL에 용해시키고, 517 nm에서 DPPH 용액의 흡광도가 약 1.5가 되도록 희석하여 사용하였다. 표준물질로는 ascorbic acid를 사용하여 검량곡선을 작성하였으며, 96 well plate에 시료 50 µL, DPPH 용액 250 µL를 첨가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후 microplate reader(UV-1601, BioTek)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 3회 반복 측정하여 평균과 표준편차를 구하였으며, 다음의 식을 이용해 DPPH 라디칼 소거능을 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}}\right) \times 100$$

ABTS 라디칼 소거능 측정은 2.5 mM potassium per-sulfate 50 mL와 7 mM 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulphonic acid) 950 mL를 혼합한 ABTS 용액을 냉암소에서 12시간 동안 보관 후 실험에 사용하였다. 그 후 ABTS 용액은 735 nm에서 흡광도 0.75~1.05 값이 나올 때까지 에탄올에 희석하였다. 표준물질로는 비타민 C를 사용하여 0~10 mM로 검량곡선을 구한 후, 시료 50 µL에 ABTS 희석액 250 µL를 가한 후 암소에서 30분간 방치하고 735 nm에서 흡광도를 측정하여 ABTS 라디칼 소거능을 다음 식으로 구하였다(Im 등 2021).

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{control}}}\right) \times 100$$

4. 주요 플라보노이드 분석

유자의 주요 플라보노이드 함량 측정은 Seong 등(2021)의 방법으로 측정하였다. narirutin, naringin, hesperidin, 또는 neohesperidin을 측정하였으며 1216 Infinity LC(Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, USA)를 사용하였다. 분석용 컬럼으로는 C18(Eclipse plus C18, 4.6×250 nm, Zorbax, CA, USA)을 사용하여 280 nm에서 확인하였고, 시료 주입량은 10 µL, column oven은 35°C를 유지하였다. 이동상 용매로는 메탄올과 acetonitrile의 1:1 혼합물(A), 증류수에 formic acid를 0.1% 혼합한 water(B)를 사용하였으며, 유속을 0.5 mL/min을 유지한 상태에서 시작할 때 A: 20, B: 80; 5~10분일 때 A: 40, B: 60; 10~15분일 때 A: 50, B: 50; 15~20분일 때 A: 70, B: 30; 20~25분일 때 A: 100, B: 0으로 25분간 분석하였다. 표준품으로 사용된 narirutin, naringin, hesperidin, 또는 neohesperidin (ChromaDex, Irvine, CA, USA)사에서 구입하여 사용하였다.

5. 총 세균수 및 곰팡이 조사

총 세균수 및 곰팡이 조사는 Baek & Kim(2021) 방법을 변형하여 조사하였다. 처리된 시료를 1 g씩 취하여 생리식염수 10 mL를 가하여 2분간 교반하여 균질화하였다. 그 후 균질화한 용액의 상등액 0.5 mL와 10배 단계 희석액 0.5 mL씩을 각각 LB 고체 배지와 PDA 고체 배지에 도말하였다. LB 배지는 37°C에서 24시간 배양하였고, PDA 배지는 25°C에서 120시간 배양하였다. 배양 후 세균은 1개의 평판당 15~300개의 집락을 생성한 평판을 택하여 집락수를 계산하였고, 곰팡이의 면적은 ImageJ software(NIH ImageJ; NIH, Bethesda, MD, USA)를 이용하여 크기를 측정하였다.

6. 통계처리

본 연구에서 얻어진 결과는 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 23.0 SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 평균값과 표준편차를 계산하였다. 시료간의 유의성 검정은 one-way analysis of variance(ANOVA)를 한 후, $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하여 시료간의 유의적인 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 외관, 총페놀, 플라보노이드 또는 항산화 활성 측정 유자 세척 방법에 따른 저장 기간별 외관, 총 페놀, 플라보

노이드 또는 항산화 활성 측정 결과를 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 유자의 외관 변화는 30일째 수 처리한 유자의 경우 눈에 띄게 세균 및 곰팡이가 발생한 반면, 오존수 처리한 유자는 무 처리, 수 처리보다 육안으로도 상태가 양호한 것을 알 수 있었다. 노화와 성인병 질환의 주요 원인 중의 하나로 활성 산소류(reactive oxygen species)에 의한 산화적 대사 부산물들이 부각되는 가운데(Wiseman H 1996), 이들 활성 산소류의 제거능을 가진 항산화물질과 이들을 많이 함유하고 있는 식품에 많은 관심이 모아지고 있다. 천연 항산화물질로는 크게 vitamin, phenolic acid, tannin, and flavonoid 등이 보고되고 있는데(Oh 등 2005), 유자에는 phenolic acid, flavonoid 등의 물질이 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며(Park 등 2008), 최근 건강 유지와 비만에 대한 관심이 모아지면서 채소류의 수요와 공급이 확산되고 있다. 이러한 유자의 주요 성분이며 기능과 관련이 있는 항산화 활성이 있는 성분들이 세척 방법에 따라 영향을 받는지에 대해 조사하였다. 저장 기간이 경과 할수록 세척 방법 모두에서 총 페놀, 플라보노이드 함량, 항산화 활성이 감소하는 경향을 보였다. 총 페놀 함량은 처리구별 저장기간에 따라 유의적인 차이를 나타내었으며 30일째 오존수 처리가 g 당 5.5 mg으로 무 처리 ($6.9 \pm 0.0 \text{mg}$), 수 처리($6.2 \pm 0.1 \text{mg}$)보다 가장 낮은 함량을 보였다. 플라보노이드는 함량은 저장기간 0, 10, 30일에는 유의적인 차이를 나타내었지만 20일에는 각 처리구간의 유의미한 차이를 보이지 않았다. Jung 등(2008)의 연구 결과 중 오존수

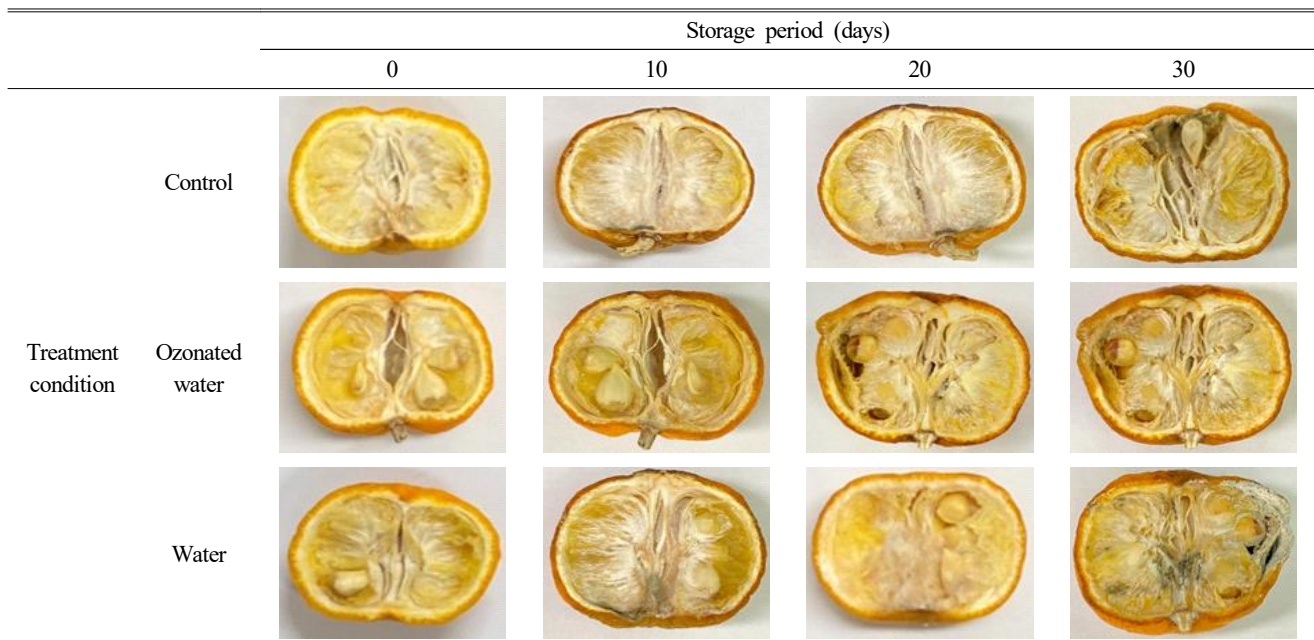


Fig. 1. Yuzu slices treated by different washing conditions and storage periods.

Table 1. Total phenolics, total flavonoids contents, and antioxidant activity of yuzu slices on different washing conditions and storage periods

Storage period (days)	Washing methods	Total phenolics (mg/g)	Total flavonoids (mg/g)	DPPH scavenging activity		ABTS scavenging activity (%)
				(%)	(Vit.C eq. µg)	
0	Control	9.3±0.0 ^{a1)}	43.5±1.1 ^a	66.8±2.2 ^a	21.1±0.7 ^a	73.0±1.2 ^a
	Ozonated water	7.1±0.1 ^b	36.6±1.5 ^b	59.1±2.2 ^b	18.7±0.2 ^b	59.1±0.5 ^b
	Water	8.7±0.2 ^a	37.4±2.8 ^b	61.3±2.0 ^b	19.3±0.6 ^b	71.0±1.2 ^a
	<i>F</i> -value	115.5 ^{***}	11.1 ^{**}	6.5 [*]	13.3 ^{**}	146.1 ^{***}
10	Control	8.4±0.0 ^a	36.7±0.0 ^a	57.7±2.4 ^{ns}	18.2±0.7 ^{ns}	68.2±0.7 ^a
	Ozonated water	6.4±0.1 ^b	30.7±1.5 ^b	55.9±0.8	17.7±2.1	55.4±0.9 ^c
	Water	6.8±0.1 ^b	32.7±1.9 ^b	56.0±4.8	17.7±1.4	59.9±0.5 ^b
	<i>F</i> -value	233.7 ^{***}	11.4 ^{**}	0.12	0.13	222.5 ^{***}
20	Control	7.1±0.1 ^a	32.7±1.9 ^a	55.2±2.9 ^{ns}	17.4±0.9 ^{ns}	66.7±0.8 ^a
	Ozonated water	6.2±0.1 ^b	28.9±1.7 ^b	53.5±2.7	16.9±0.8	53.7±1.0 ^c
	Water	6.3±0.1 ^b	32.7±1.0 ^a	54.8±4.3	17.3±1.3	59.3±0.5 ^b
	<i>F</i> -value	48.0 ^{***}	5.5 [*]	0.21	0.20	190.7 ^{***}
30	Control	6.9±0.0 ^a	27.1±0.6 ^a	50.5±4.2 ^a	16.0±1.3 ^a	65.2±1.3 ^a
	Ozonated water	5.5±0.0 ^c	20.7±0.8 ^b	38.4±1.1 ^b	12.2±0.3 ^b	49.7±0.5 ^c
	Water	6.2±0.1 ^b	25.8±0.8 ^a	46.2±1.7 ^a	14.7±0.5 ^a	52.7±0.7 ^b
	<i>F</i> -value	209.8 ^{***}	55.4 ^{***}	15.3 ^{**}	14.8 ^{**}	226.0 ^{***}

¹⁾ Mean with different letters within the same columns are significantly different from each other at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ by Duncan's multiple range test.

로 수침시킨 녹차 잎의 카테킨 함량은 일반 수돗물로 침지한 결과보다 카테킨 성분들의 감소율이 조금 높게 나타났지만, 유의적인 차이가 없는 것으로 보고하고 있으며, 본 연구 결과에서의 총 페놀, 플라보노이드 결과 또한 수돗물과 오존수로 세척시 유의적인 차이가 없어 본 연구 결과와 유사하게 나타난 것으로 확인되었다. 항산화능으로 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능을 측정된 결과 0, 10, 20일에서 DPPH는 유의적인 차이를 나타내지 않았지만 30일째 처리구간의 함량이 50.5±4.2%(무 처리), 46.2±1.7%(수 처리), 38.4±1.1%(오존수 처리)로 무 처리가 가장 높게 나타났다. 30일째 ABTS는 65.2±1.3%(무 처리), 52.7±0.7%(수 처리), 49.7±0.5%(오존수 처리)로 총 페놀, 플라보노이드 함량이 감소함에 따라 항산화능도 감소하였다. Kim 등(2014)의 연구 결과에 따르면 저장 기간에 따라 유자 마요네즈의 라디칼 소거능 변화는 낮아지는 경향을 나타냈다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다.

2. 주요 플라보노이드 분석

Naringin과 hesperidin은 감귤류에 특징적으로 발견되는 플라보노이드 성분으로 항산화, 항암 작용 또는 혈중 콜레스테

롤 저하 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Demonty 등 2010; Tong 등 2012). 또한, hesperidin은 통조림 제조시 시럽 백탁의 원인으로 알려져 있고 naringin은 감귤류에서 쓴맛을 내는 물질로 알려져 있다(Hwang 등 2014). 세척 방법 또는 저장 기간에 따라 유자의 플라보노이드(naringin, narirutin, hesperidin, 또는 neohesperidin) 함량을 HPLC로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 전체적으로 저장 기간이 경과할수록 유자의 기능성 성분의 함량이 감소하였다. Narirutin 함량은 저장 기간에 따라 처리구별로 유의적인 차이를 나타내었고 저장 기간 20일째에서만 g 당 무 처리(3.8 mg), 수 처리(3.6 mg), 오존수 처리(3.6 mg)으로 유의미한 변화를 보이지 않았다. Naringin 함량도 narirutin과 비슷한 경향으로 0, 10, 30일에서는 처리구간의 함량 차이를 나타냈지만 20일에서는 차이를 나타내지 않았다. Hesperidin 함량은 20일까지는 무 처리 > 수 처리 > 오존수 처리순이었지만 30일에는 수 처리와 오존수 처리 함량의 차이가 나타나지 않았다. 이 연구 결과는 위에서 언급했듯이 총 페놀, 플라보노이드, DPPH 또는 ABTS 라디칼 소거능의 경향과 유사했다. Jo 등(2015)의 연구 결과에서도 저장 기간에 따라 오렌지의 비타민 C 함량은 유의적으로 감소하였다고 보고된 바 본 연구 결과와 유사한 것으로

Table 2. Functional flavonoid contents of yuzu slices by HPLC analysis on different washing conditions and storage periods

Storage period (days)	Washing methods	Flavonoid contents (mg/g DW)				
		Narirutin	Naringin	Hesperidin	Neohesperidin	Total
0	Control	4.7±0.1 ^{a1)}	2.4±0.0 ^a	3.7±0.0 ^a	2.0±0.0 ^a	12.8±0.1 ^a
	Ozonated water	4.2±0.0 ^c	2.2±0.0 ^c	3.3±0.0 ^c	1.7±0.0 ^c	11.4±0.0 ^c
	Water	4.5±0.0 ^b	2.3±0.0 ^b	3.4±0.0 ^b	1.8±0.0 ^b	12.1±0.0 ^b
	<i>F</i> -value	111.6 ^{***}	194.9 ^{***}	345.5 ^{***}	582.2 ^{***}	234.7 ^{***}
10	Control	4.1±0.0 ^a	2.2±0.0 ^a	3.3±0.0 ^a	1.8±0.0 ^a	11.4±0.0 ^a
	Ozonated water	3.6±0.1 ^c	2.0±0.0 ^c	2.8±0.0 ^c	1.5±0.0 ^c	9.9±0.1 ^c
	Water	3.9±0.1 ^b	2.1±0.0 ^b	3.1±0.1 ^b	1.6±0.0 ^b	10.7±0.2 ^b
	<i>F</i> -value	37.1 ^{***}	50.2 ^{***}	143.4 ^{***}	112.3 ^{***}	69.5 ^{***}
20	Control	3.8±0.1 ^a	2.0±0.0	3.0±0.0 ^a	1.5±0.0 ^a	10.3±0.0 ^a
	Ozonated water	3.6±0.1 ^b	2.1±0.0	2.7±0.0 ^c	1.4±0.0 ^b	9.8±0.1 ^c
	Water	3.6±0.1 ^b	2.0±0.0	2.9±0.1 ^b	1.5±0.0 ^a	10.0±0.2 ^b
	<i>F</i> -value	10.2 [*]	3.53	106.5 ^{***}	19.8 ^{**}	13.5 ^{**}
30	Control	3.7±0.0 ^a	2.1±0.0 ^a	2.8±0.0 ^a	1.5±0.0 ^a	10.0±0.0 ^a
	Ozonated water	3.2±0.1 ^b	1.9±0.0 ^b	2.7±0.0 ^b	1.4±0.0 ^b	9.1±0.1 ^b
	Water	3.2±0.1 ^b	1.8±0.0 ^c	2.7±0.1 ^b	1.3±0.0 ^c	9.1±0.2 ^b
	<i>F</i> -value	294.8 ^{***}	613.9 ^{***}	551.6 ^{***}	190.6 ^{***}	484.9 ^{***}

¹⁾ Mean with different letters within the same columns are significantly different from each other at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ by Duncan's multiple range test.

확인되었다.

3. 총 세균수 및 곰팡이 조사

세척 방법에 따라 미생물학적 위해에 대한 어떠한 영향을 끼치는지 더욱 정확하게 구명하고자 하였다. 유자에 무 처리, 오존수 또는 수 처리한 후 저장하면서 세균 수, 곰팡이 크기 또는 발생율을 조사한 결과는 Fig. 2, Fig. 3과 Table 3에 나타내었다. 세균수는 0일째 무 처리, 오존수, 수 처리는 각각 g 당 5.5 ± 0.5 , 2.0 ± 0.0 , $4.5 \pm 0.5 \times 10^3$ CFU로 나타났으며 저장 기간이 증가할수록 세균수도 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2, Table 3). 저장 10일까지는 무 처리 > 오존수 > 수 처리 순으로 세균수가 발생하였지만 20일부터는 무 처리 > 수 처리 > 오존수 순으로 세균 수가 증가하였다. 저장 30일에는 무 처리, 오존수, 수 처리한 유자에서 각각 g 당 970.0 ± 10.0 , 65.6 ± 3.5 , $295.0 \pm 5.0 \times 10^3$ CFU로 오존수로 세척한 유자에서 세균이 가장 적게 발생함을 알수 있었다. Park & Shin (2010)은 양상추를 오존수에 침지하는 방법으로 세척한 결과 미생물의 성장이 더 느리게 진행되어 본 실험의 결과와 유사하였다. 세척 방법에 따른 유자의 곰팡이 크기와 발생율은 Fig. 3, Table 3과 같다.

오존수로 세척한 유자에서는 저장 기간 20일까지 곰팡이가 발생하지 않았고 30일째에 $124.1 \pm 13.9 \text{ mm}^2$ 크기의 곰팡이가 발생하였다. 무 처리와 수 처리의 경우 저장 기간이 경과할수록 균 크기가 커진 것을 확인할 수 있었다. 무 처리는 0일째부터 30일째까지 균 크기가 $814.5 \pm 72.8 \sim 6,362.0 \pm 636.7 \text{ mm}^2$ 로 가장 컸으며 수 처리의 경우 $286.4 \pm 31.5 \sim 4,836.4 \pm 434.6 \text{ mm}^2$ 로 나타났다. Park & Shin(2010)의 선행연구에 따르면 병원성 미생물들을 식품에 집중하고 수돗물과 오존수로 세척한 후 식품의 미생물 변화를 확인하였는데 수돗물보다 오존수 세척시에 높은 미생물 감소 효과를 확인하였다고 보고했다. Oh 등(2005)의 보고에서도 짬 채소를 0.3 ppm 오존수를 시료 중량의 10배로 하여 세척시에 약 1.2~1.4 Log CFU/mL 살균 효과를 나타냈으며 수돗물 세척 시에 살균 효과가 나타나지 않았다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 선행연구 결과와 유사하게 무 처리와 수돗물로 세척한 유자에서는 곰팡이가 발생되었지만 오존수로 세척한 유자에서는 곰팡이가 20일째까지 발생하지 않아 오존수의 강력한 산화력이 미생물을 사멸시켜 이 같은 결과에 영향을 끼쳤다고 판단되며 식품에서 일어날 수 있는 미생물학적 위해를 안전하게 예방할 수 있다고 판단된다.

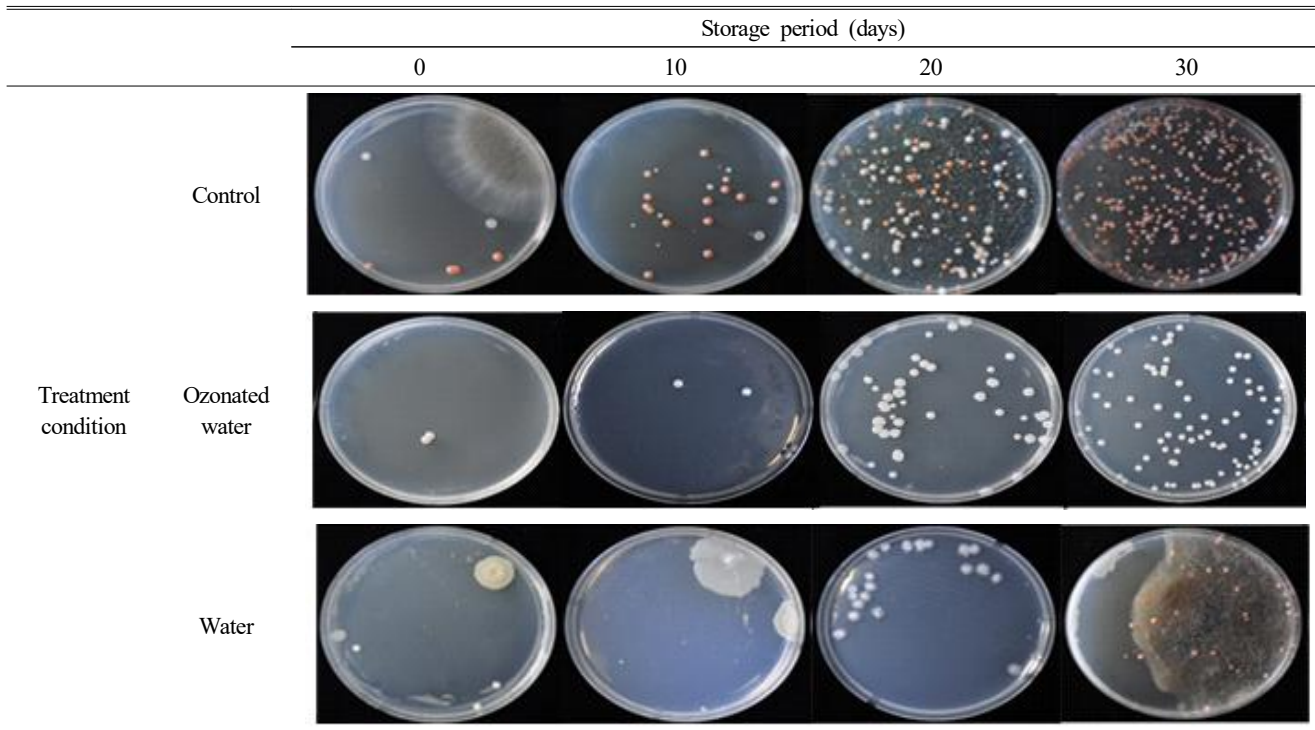


Fig. 2. Bacterial occurrence in yuzu slices treated by different washing conditions and storage periods.

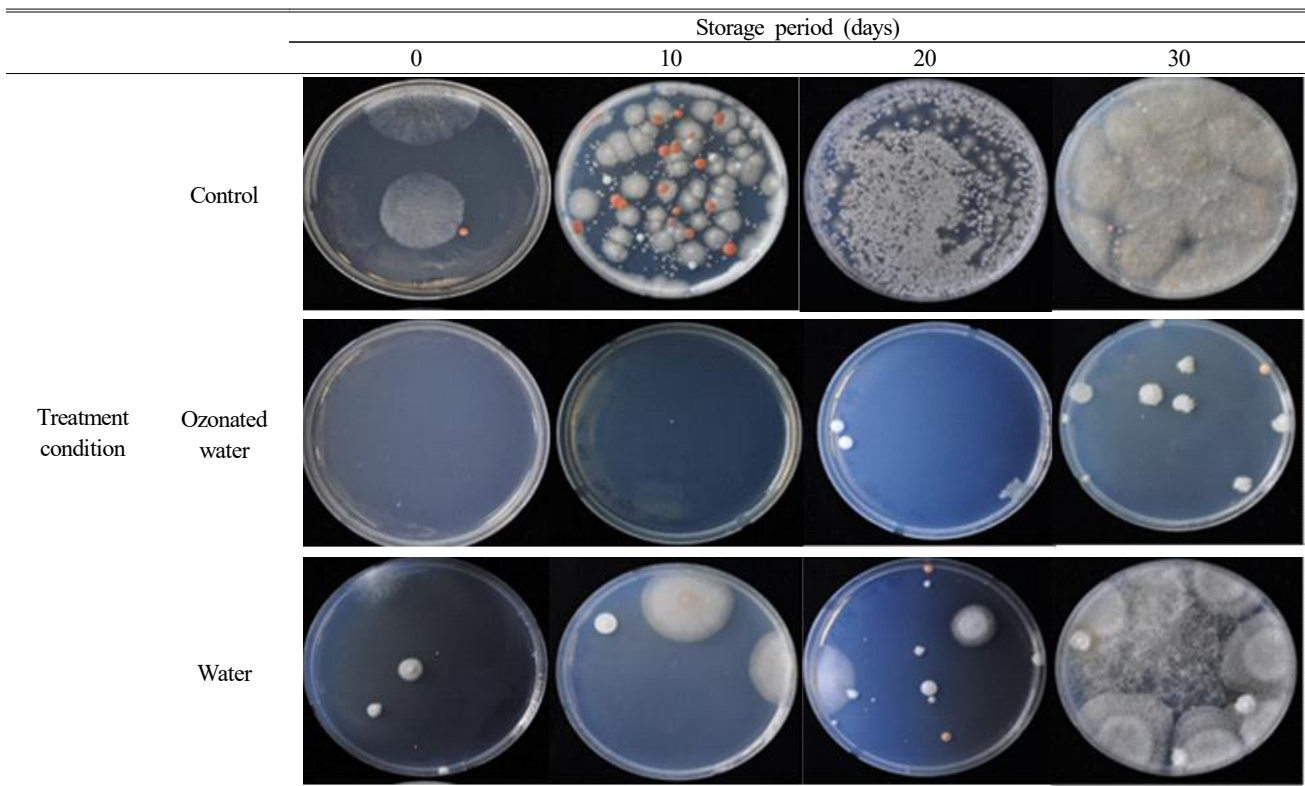


Fig. 3. Fungal occurrence in yuzu slices treated by different washing conditions and storage periods.

Table 3. Bacterial and fungal occurrence in yuzu slices on different washing conditions and storage periods

Storage period (days)	Washing methods	Bacterial counts (10^{-3} CFU/g)	Mycelial growth (mm^2)	Disease incidence (%)	
				Bacterial	Mycelial
0	Control	5.5±0.5 ^{a1)}	814.5±72.8 ^a	100.3±0.6 ^a	100.7±0.4 ^a
	Ozonated water	2.0±0.0 ^c	-	36.3±0.3 ^c	-
	Water	4.5±0.5 ^b	286.4±31.5 ^b	81.9±0.6 ^b	35.3±0.6 ^b
	F-value	58.50 ^{***}	247.71 ^{***}	12,838.2 ^{***}	34,965.5 ^{***}
10	Control	25.5±0.5 ^a	1,993.4±200.7 ^a	98.9±0.5 ^a	99.5±1.3 ^a
	Ozonated water	5.5±0.5 ^c	-	21.6±0.6 ^c	-
	Water	15.5±0.5 ^b	689.2±69.9 ^b	60.8±0.3 ^b	34.0±0.2 ^b
	F-value	1,200.0 ^{***}	206.8 ^{***}	19,942.1 ^{***}	12,860.1 ^{***}
20	Control	580.0±10.0 ^a	4,187.1±419.6 ^a	99.2±1.0 ^a	99.5±1.3 ^a
	Ozonated water	41.5±1.5 ^c	-	7.2±0.2 ^c	-
	Water	210.0±10.0 ^b	1,898.5±78.0 ^b	36.2±0.5 ^b	45.2±0.7 ^b
	F-value	3,376.5 ^{***}	218.1 ^{***}	15,031.2 ^{***}	10,091.9 ^{***}
30	Control	970.0±10.0 ^a	6,362.0±636.7 ^a	99.1±1.0 ^a	99.5±1.3 ^a
	Ozonated water	65.6±3.5 ^c	124.1±13.9 ^c	6.4±0.4 ^c	2.2±0.2 ^c
	Water	295.0±5.0 ^b	4,836.4±484.6 ^b	30.7±0.2 ^b	75.9±0.9 ^b
	F-value	14,806.8 ^{***}	148.9 ^{***}	15,881.8 ^{***}	8,805.9 ^{***}

¹⁾ Mean with different letters within the same columns are significantly different from each other at ^{***} $p < 0.001$ by Duncan's multiple range test.

요약 및 결론

저장 중 유자의 곰팡이 발생을 억제하기 위하여 세척방법 (무 처리, 수 처리, 오존수 처리)을 달리하면서 유자의 곰팡이 및 세균 발생률과 유용성분을 조사하였다. 그 결과 저장기간이 경과함에 따라 유자의 기능성분인 narirutin, naringin, hesperidin, 또는 neohesperidin 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 오존수 세척시 곰팡이 발생률은 저장기간 20일까지 나타나지 않다가 30일에 6.8% 발생하였다. 반면에 무 처리와 수 처리의 경우 저장 30일에 각각 100%, 76%의 곰팡이 발생률을 보였다. 본 연구결과를 통해 오존수로 세척하는 것이 유자의 저장 중 품질 유지에 효과적이라고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2023년도 농촌진흥청의 「수출용 농산물의 생산성 향상 및 수확 후 관리 기술개발(RS-2023-00236699)」 연구비에 의하여 수행된 결과의 일부로, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

Baek D, Kim HT. 2021. Resistance to SDHI fungicides of

Botrytis cinerea causing gray mold in various crops. *Korean J Pestic Sci* 25:237-245

Demonty I, Lin Y, Zebregs YEMP, Vermeer MA, van der Knaap HCM, Jäkel M, Trautwein EA. 2010. The citrus flavonoids hesperidin and naringin do not affect serum cholesterol in moderately hypercholesterolemic men and women. *J Nutr* 140:1615-1620

Hwang SH, Jang JS, Kim MJ, Kim KS. 2014. The change of free sugar, hesperidine, naringin, flavonoid contents and antihypertensive activities of yuzu variety according to harvest date. *Korean J Food Nutr* 27:1051-1058

Im AE, Cho HS, Lee BB, Cho YS, Nam SH. 2021. Production of green yuzu peel tablet and its physiochemical or functional characterization. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 50:971-980

Jin TY, Wang MH, Yin Y, Eun JB. 2008. Effect of *Citrus junos* peel on the quality and antioxidant activity of traditional rice wine, Jinyangju. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:76-82

Jo Y, Chung N, Gao Y, Kwon JH. 2015. Quality changes and factors in Valencia oranges during storage under different temperatures. *Korean J Food Preserv* 22:629-635

Jung KH, Seo IW, Nam HJ, Shin HS. 2008. Effects of ozonated

- water treatment on pesticide residues and catechin content in green tea leaves. *Korean J Food Sci Technol* 40:265-270
- Kim JG, Luo Y, Lim CI. 2007. Effect of ozonated water and chlorine water wash on the quality and microbial decontamination of fresh-cut carrot shreds. *Korean J Food Preserv* 14:54-60
- Kim KM, Lee JE, Kim JS, Choi SY, Jang YE. 2014. Quality characteristics of mayonnaise with varied amounts of yuzu juice added during the storage period. *Korean J Food Preserv* 21:799-807
- Kim MJ, Lee JN. 2016. A study on *Peucedanum japonicum* thunberg extract on anti-oxidation and cell activities as cosmetic additive. *J Korean Soc Cosmetol* 22:1135-1143
- Lee BB, Lee JW, Park JO, Cho Y, Nam SH. 2021. Effect of browning inhibitor treatment on sliced citron storage (*Citrus junos* Sieb.). *Korean J Food Nutr* 34:390-397
- Lee JE, Kim KM, Kim JS, Kim GC, Choi SY, Kim SB. 2017a. Chemical compositions and antioxidant activities depending on cultivation methods and various parts of yuzu. *Korean J Food Preserv* 24:802-812
- Lee KH, Kim HJ, Woo KS, Jo C, Kim JK, Kim SH, Park HY, Oh SK, Kim WH. 2016. Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT* 73:442-447
- Lee SJ, Song YS, Park YR, Ryu SM, Jeon HW, Eom SH. 2017b. Sterilization of food-borne pathogenic bacteria by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *J Food Hyg Saf* 32:222-227
- Ministry of Food and Drug Safety. 2022. Guidelines for food sanitizer field. Available from <https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/board/boardDetail.do> [cited 27 April 2022]
- Oh S, Choi S, Kim J, Lim C. 2005. Removal effects of washing treatments on pesticide residues and microorganisms in leafy vegetables. *Korean J Horticult Sci Technol* 23:250-255
- Park JH, Kang BW, Kim JE, Seo MJ, Lee YC, Lee JH, Joo WH, Choi YH, Lim HS, Jeong YK, Lee BK. 2008. Effect of ethanol extract from peel of *Citrus junos* and *Poncirus trifoliata* on antioxidant and immune activity. *J Life Sci* 18:403-408
- Park JM, Shin HS. 2010. Influence of ozonated water and washing method using ozonated water for controlling food-borne disease bacteria. *Food Eng Prog* 14:316-321
- Seong HJ, Lee BB, Kim DH, Ha JY, Lee SH, Nam SH. 2021. Production of yuzu granules using enzyme treated yuzu pulp powder and evaluation of its physicochemical and functional characterization. *Korean J Food Sci Technol* 53:382-390
- Tong L, Zhou D, Gao J, Zhu Y, Sun H, Bi K. 2012. Simultaneous determination of naringin, hesperidin, neohesperidin, naringenin and hesperetin of *Fructus aurantii* extract in rat plasma by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *J Pharm Biomed Anal* 58:58-64
- Wiseman H. 1996. Dietary influences on membrane function: Importance in protection against oxidative damage and disease. *J Nutr Biochem* 7:2-15
- Youn GA, Mok C. 2015. Microbial inactivation of grains used in Saengshik by corona discharge plasma jet. *Korean J Food Sci Technol* 47:70-74

Received 14 June, 2023

Revised 25 July, 2023

Accepted 26 July, 2023