

신선 연어 중 *V. parahaemolyticus* 생물막에 대한 차아염소산나트륨 및 부유전극 유전체 장벽 방전 (floating electrode-dielectric barrier discharge) 플라즈마의 제어 효과

김소희 · 홍혁수 · 박신영[†]
경상국립대학교(학생) · [†]경상국립대학교(교수)

Efficacy of Sodium Hypochlorite and Floating Electrode-Dielectric Discharge Plasma against *V. parahaemolyticus* Biofilms on Fresh Salmon

So-Hee KIM · Hyuk-Soo HONG · Shin-Young PARK[†]
Gyeongsang National University(student) · [†]Gyeongsang National University(professor)

Abstract

This study investigated the antibacterial effects of sodium hypochlorite (NaOCl, 50~200 ppm of Cl₂) and floating-electrode barrier discharge (FE-DBD) plasma (1.1 kV, 43 kHz, 1.5 L/min N₂) on *V. parahaemolyticus* biofilms on fresh salmon. In the case of NaOCl, when treated for 5 min at 50, 100, 150 and 200 ppm, it decreased by 0.48, 0.61, 0.83 and 1.09 log₁₀ CFU/cm², respectively. In addition, when treated with FE-DBD plasma for 5, 10, 30 and 60 min, it decreased by 0.41, 0.66, 0.82 and 1.06 log₁₀ CFU/cm². *V. parahaemolyticus* biofilms were significantly reduced (P < 0.05) with increasing treatment concentration and time. According to these results, NaOCl and FE-DBD plasma treatment for raw salmon can be used as an antimicrobial biofilm agent by inhibiting *V. parahaemolyticus* biofilm formation, which is a problem in seafood, and can be applied in the seafood industry to increase food safety.

Key words : NaOCl, FE-DBD plasma, *V. parahaemolyticus*, Biofilm, Salmon

I. 서론

*Vibrio parahaemolyticus*는 대표적인 해양세균으로 급성위장염을 유발할 수 있는 식중독균이며, 덜 익힌 어패류 섭취로 인해 감염사례가 많은 것으로 알려져 있다(Chen et al., 2019). 또한, 플랑크톤 또는 미생물 군집 내에서 생물막(biofilm)을 형성한다(Rosa et al., 2018). 생물막은 미생물들의 복합체로 대사과정에서 스스로 분비한 세포외 고분자 물질(Extracellular Polymeric Substance, EPS)로 이루어져 있으며(Park et al., 2015; Karygianni

et al., 2020), 세균 감염의 약 60-80%는 생물막에 의해 발생한다(Gilmore et al., 2018). EPS는 세포외 다당류, 핵산(DNA 및 RNA), 단백질, 지질 및 기타 생체분자로 구성되어 있으며, 생물학적 및 미생물학적 표면에 대한 미생물의 부착을 강하게 하여 외부자극 요인으로부터 세포들을 보호한다(No and Park, 2009). 생물막 형성은 미생물의 표면부착, 미생물 응집, 미생물집단 성숙, 생물막의 해체 및 분산의 4단계 과정으로 이루어져 있으며(Lee et al., 2023), 식품 가공 및 보관 중에 형성된다. 이는 외부환경 자극에 대한 방어를 증가시

[†] Corresponding author : 055-772-9143, sympark@gnu.ac.kr

키기 때문에 항균제 및 항생제에 대한 내성이 10-1,000배 정도로 강해진다(Wang et al., 2022). 비가열 섭취 식품인 수산식품 중의 식중독균을 저감화하기 위해 일반적으로 사용하는 식품용 살균제인 차아염소산나트륨(NaOCl)은 식품첨가물의 기준 및 규격에 품목별 사용 기준이 정해져 있으며, 식품첨가물공전(MFDS, 2024)에 의하면 200 mg/L 이하로 제시되어 있다. 일반적으로 락스에 포함되어 있는 것으로 알려진 NaOCl은 식품용 살균·소독제 중 구하기 쉬우며, 가격이 저렴하여 다루기 쉬운 장점을 가지고 있다(Kim and Bang, 2023). 또한, Lee et al.(2009)에 따르면 메티실린 내성 황색포도상구균(Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA)과 같은 항생제 내성균도 1분 이내에 사멸시킬 수 있는 NaOCl의 뛰어난 살균효능을 입증하였다. 현재 NaOCl의 생물막 감소효과에 대한 연구는 이루어지고 있지만 연어 중 *V. parahaemolyticus* 생물막 감소에 대한 시도는 없었다.

최근에는 식품의 품질에 영향을 미치지 않으면서 미생물을 감소시킬 수 있는 플라즈마를 이용한 비열살균기술에 관한 연구가 이루어지고 있다. 플라즈마는 기체가 높은 에너지를 가졌을 때 에너지가 서로 평형을 이루는 자연상태의 제 4의 물질이다(Jeon et al., 2020). 플라즈마에는 화학적 반응성이 큰 활성라디칼, 자외선 및 적외선 등이 포함되어 있으며, 생성되는 온도에 따라 열 플라즈마와 저온 플라즈마로 분류될 수 있다(Lee, 2022). 그중에서도 저온 플라즈마는 식품의 품질 및 영양소 등에 영향을 거의 미치지 않는다. 또한, 활성종들의 발생으로 인해 미생물의 세포 외피 및 세포 성분에 영향을 주어 살균효과를 나타내기 때문에(Rod et al., 2012; Song et al., 2023) 생물학, 의학 및 식품산업에 적용되고 있다(Kim et al., 2019). 비열플라즈마의 일종인 부유전극 유전체장벽방전(floating electrode-dielectric barrier discharge, FE-DBD) 플라즈마는 두 전극 중 하나로 시료를 사용하여 시료에 직접

플라즈마를 형성하기 때문에 기존의 유전체장벽방전(dielectric barrier discharge, DBD) 플라즈마보다 더 강한 살균효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Adil et al., 2020).

따라서 본 연구에서는 식품업계에서 일반적으로 사용하는 화학적 소독제인 NaOCl과 신살균기술인 물리적 비가열 FE-DBD 플라즈마 처리를 통해 수산식품산업에서 문제가 되는 *V. parahaemolyticus* 생물막의 저감화 효과에 대하여 생연어를 수산식품모델로 하여 조사하였다.

II. 연구 방법

1. 시험 균주 준비 및 접종

실험에서 사용된 *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 27969는 American Type Culture Collections (Manassas, VA, US)에서 분양받아 사용하였다. *V. parahaemolyticus* 원액(10^8 - 10^9 log₁₀ CFU/mL)을 2.5% NaCl이 포함된 tryptic soy broth (TSB, BD Difco Franklin Lakes, NJ, US)와 30% glycerol이 함유된 phosphate-buffered saline (PBS, Oxoid, Basingstoke, UK)에 넣고 -80℃의 냉동고에서 보관하였다. 시험균주 100 μL를 2.5% NaCl이 포함된 TSB에 접종하여 30℃에서 24시간 동안 배양한 후 배양시킨 균주 100 μL를 새로운 TSB 10 mL에 접종하고 동일한 조건에서 배양하였다. 이후 배양액을 원심분리(11,000×g, 10분, 4℃)하여 PBS로 2회 세척하였고, 최종 균주 배양액에 peptone water (PW, BD Difco)를 첨가하여 최종농도를 10⁵ log₁₀ CFU/mL로 희석하여 접종원을 준비하였다.

2. 시료 준비 및 생물막 형성

생물막 형성을 위한 시료 준비과정은 이전의 연구를 바탕으로 수행하였다(Roy et al., 2022). 실험에 사용된 식품인 생연어는 온라인을 통해 구매하였다. 생연어를 멸균된 칼을 이용하여 2×2

cm²로 잘랐으며, 자른 시료는 증류수로 세척하였다. *V. parahaemolyticus* 접종 전에 시료의 각 면을 15분 동안 UV-C에 노출시켜 멸균한 후 잔존 미생물을 제거하였다. 멸균이 끝난 시료를 TSB 10 mL와 *V. parahaemolyticus* (10⁵ log₁₀ CFU/mL) 100 μL가 들어있는 50-mL 코니칼 튜브(SPL Life Science, Pocheon, Korea)에 넣고 30°C에서 24시간 배양하였다.

3. NaOCl 및 FE-DBD 플라즈마 처리

본 연구에서는 시중에 유통되고 있는 24.5% NaOCl (Yuhan Co., Seoul, Korea)을 구매하여 사용하였다. *V. parahaemolyticus* 생물막이 형성된 각 시료를 증류수로 두 번 세척하여 부착되지 않거나 느슨하게 부착된 세포를 제거한 후 50, 100, 150 및 200 ppm의 NaOCl 10 mL에 5분 동안 침지하여 처리하였다.

FE-DBD 플라즈마 처리를 위해 Plasma Biomedicine Institute (Plasma Bioscience Research Center, Seoul, Korea)로부터 장치를 공급받아 사용하였다. FE-DBD 플라즈마는 0.7 mm 두께의 유리 위에 고전압 전극으로 10 μm 두께의 은 전극과 100 μm 두께의 SiO₂로 구성된 유전체로 이루어져 있다. 작동전압은 진폭 2.8 kV의 47 kHz 사인파를 생성시키는 인버터로 지지하였고, 질소가스를 분당 1.5 L의 유량을 유입시켜 전기 전극 아래 유리 와 연어의 표면 사이에 플라즈마를 발생시켰다. 처리 시 플라즈마 방출 전극과

연어 사이의 거리는 3 mm를 유지하였다. FE-DBD 플라즈마 방전은 1 kV에서 발생하였으며, 피크 방전 전류는 16 mA, 전력은 0.55 W로 측정하였다. RMS (root mean square) 전압 및 전류는 각각 2.0 kV 및 13.5 mA로 측정하였다. 플라즈마의 전기적 전압 및 전류 특성은 고전압 프로브(P6015A, Tektronix)와 픽업프로브(P6021A, Tektronix)를 사용하였다.

4. 생물막 분리

각 처리 후 연어 중 생물막 분리하는 과정은 Roy et al.(2022)의 연구를 바탕으로 수행하였다. 연어를 0.1% PW 10 mL와 15개의 멸균된 비드가 담긴 50-mL 코니칼 튜브에 넣고 1분 이상 섞어 주었다. *V. parahaemolyticus* 계수는 10배 연속 희석한 후 희석액 100 μL를 2.5% NaCl이 포함된 tryptic soy agar (TSA, BD Difco)에 도말하고 30°C에서 24시간 배양하여 수행하였다.

III. 연구 결과

1. NaOCl 처리농도에 따른 저감화 효과

살균 및 소독제로 사용되는 NaOCl 처리 농도에 따른 연어 중 *V. parahaemolyticus* 생물막 저감화 결과를 <Table 1>에 나타내었다. 본 연구에서는 NaOCl 처리농도를 식품공전에 제시되어 있는 NaOCl 사용기준(200 mg/L 이하)하에 50, 100,

<Table 1> Effect of NaOCl on *V. parahaeolyticus* biofilms on fresh salmon

<i>V. parahaemolyticus</i>	NaOCl (ppm)				
	0	50	100	150	200
log ₁₀ CFU/cm ²	7.41±0.07 ^a	6.93±0.16 ^b	6.80±0.19 ^{bc}	6.58±0.05 ^c	6.32±0.14 ^d
log ₁₀ reduction	-	0.48±0.09 ^D	0.61±0.12 ^C	0.83±0.02 ^B	1.09±0.07 ^A

The data indicate means ± standard deviation of three treatment. Letters (a-d for log₁₀ CFU/cm², A-C for log₁₀ reduction) in the same row are significant differences (P < 0.05) by Duncan's multiple range test at 5% probability.

150 및 200 ppm으로 설정하였다. NaOCl을 처리하지 않은 연어의 *V. parahaemolyticus* 생물막은 7.41 log₁₀ CFU/cm² 검출되었으며, 50, 100 및 150 ppm 처리군의 경우 0.48, 0.61 및 0.83 log₁₀ CFU/cm² 감소하였다. NaOCl 200 ppm으로 처리 시 1.09 log₁₀ CFU/cm²로 가장 많이 감소하였으며, 처리농도가 증가할수록 *V. parahaemolyticus* 생물막이 유의적으로 감소하였다(P < 0.05). NaOCl의 생물막에 대한 살균효능은 이전의 연구들을 통해 입증되었다(Kim et al., 2016; Choi, 2021). NaOCl의 작용 메커니즘은 가수분해를 통해 살균력이 강한 차아염소산(HOCl)을 생성하는데 HOCl의 생성이 pH를 증가시키고 번역 및 전사에 관여하는 단백질과의 반응으로 인해 단백질 및 DNA 합성을 억제하여 박테리아 성장을 방해하게 된다(Raval et al., 2019; Choi, 2021). Roy et al.(2021)은 차아염소산나트륨(50, 100, 200 및 300 ppm, 5분) 사용 시 새우 및 게 껍질표면 중 *V. parahaemolyticus* 생물막이 각각 0.54-2.59, 0.64-2.32 log CFU/cm² 감소하였다고 보고하였다. 본 연구의 결과보다 더 많이 감소하였는데, 이는 연구에 사용된 시료 및 처리조건의 차이로 인해 나타난 것으로 생각된다. 한편, Kim and Bang(2023)은 100 mg/kg 농도의 차아염소산나트륨 처리로 인해 16종의 엽경채소에 대한 대장균 개체수가 1-2 log CFU/g 감소되었으며, 잎의 표면면적이 넓고 부드러울수록 더 우수한 살균효능이 나타났다고 하였다. 위의 두 연구 모두 본 연구

와 유사하게 처리농도가 높을수록 더 많이 저감화되었다.

NaOCl의 살균효능은 여러 연구들을 통해 입증되었지만 미생물의 완전한 불활성화를 위해서는 고농도의 NaOCl이 필요하다. NaOCl을 고농도로 사용하는 경우 공기, 빛 등에 노출 시 활성을 잃게 되며(Choi, 2021), 독성 물질 잔류 및 미생물 생물막의 저항성 증가와 같은 문제가 있다. 이로 인해 최근에는 화학적 살균소독제인 NaOCl과 함께 여러 다른 살균기술을 추가적으로 처리한 허들기술을 많이 사용하고 있다(Singh and Shalini, 2016; Choi, 2021). 위의 두 연구 모두 본 연구와 유사하게 처리농도가 높을수록 더 많이 저감화되었다.

2. FE-DBD 플라즈마 처리시간에 따른 저감화 효과

비가열 살균기술인 FE-DBD 플라즈마 처리시간(5, 10, 30 및 60분)에 따른 연어 중 *V. parahaemolyticus* 생물막 저감화 결과를 <Table 2>에 나타내었다. FE-DBD 플라즈마 처리를 하지 않은 연어의 *V. parahaemolyticus* 생물막은 7.28 log₁₀ CFU/cm²이었으며, 5, 10 및 30분 처리 시 각각 0.41, 0.66 및 0.82 log₁₀ CFU/cm² 감소하였다. FE-DBD 플라즈마 60분 처리 시 1.06 log₁₀ CFU/cm² 감소하였으며, 처리시간이 증가할수록 *V. parahaemolyticus* 생물막이 유의적으로 감소하였다(P < 0.05).

<Table 2> Effect of FE-DBD plasma treatment on *V. parahaemolyticus* biofilms on fresh salmon

<i>V. parahaemolyticus</i>	FE-DBD plasma treatment (min)				
	0	5	10	30	60
log ₁₀ CFU/cm ²	7.28±0.02 ^a	6.87±0.18 ^b	6.62±0.09 ^c	6.46±0.14 ^c	6.22±0.05 ^d
log ₁₀ reduction	-	0.41±0.16 ^C	0.66±0.07 ^B	0.82±0.12 ^B	1.06±0.03 ^A

The data indicate means ± standard deviation of three treatment. Letters (a-d for log₁₀ CFU/cm², A-C for log₁₀ reduction) in the same row are significant differences (P < 0.05) by Duncan's multiple range test at 5% probability.

Song et al.(2023)은 명계 중 *V. parahaemolyticus*에 대해서 1.1 kv, 43kHz 조건으로 FE-DBD 플라즈마 5, 15, 30, 45 및 60분 처리 시 0.16, 0.18, 0.40, 0.62 및 0.75 log CFU/g 감소하였으며, 처리 시간이 길어질수록 유의적으로 감소하였다고 보고하였다(P < 0.05). 이는 본 연구의 결과와 유사한 경향을 보였다. Cui et al. (2018)의 다양한 야채 중 *Escherichia coli* O157:H7 생물막에 대한 저온 질소 플라즈마 효과 연구에 따르면 120초 동안 400, 500 및 600 W 처리 시 각각 0.40, 1.46 및 1.52 log CFU/cm² 감소하였으며, 일정한 전력 조건(500 W)에서 60, 120 및 180초 처리 시 1.13, 1.58 및 1.70 log CFU/cm² 감소하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 결과보다 더 많이 감소하였으며, 대기압 플라즈마의 살균효과가 전력 및 처리시간이 증가함에 따라 향상될 수 있다고 하였다. Gupta and Ayan(2019)은 비열플라즈마의 효능이 플라즈마의 노출전극과 시료 사이의 거리에 따라 달라지며 거리가 증가함에 따라 미생물 생물막의 생존율이 증가함을 증명하였다. 플라즈마의 주요 활성 물질인 라디칼, 하전 입자, 활성산소종(ROS-O, O₂, O₃, OH) 및 활성 질소종(RNS-NO, NO₂)으로 인해 항균활성능이 나타난다. 특히, ROS 및 RNS는 세포 구조에 강력한 산화 효과를 가지고 있으며, ROS는 미생물의 지질 과산화, DNA 손상, 단백질 조절 및 세포 사멸을 유발한다(Karki et al., 2017; Gupta and Ayan, 2019). 이러한 효능으로 인해 FE-DBD 플라즈마는 다양한 미생물 생물막을 제거하는데 유망한 기술로 여겨진다.

IV. 결론

본 연구는 대표적인 화학적 살균소독제인 NaOCl 및 비가열 물리적 살균기술인 FE-DBD 플라즈마를 사용하여 연어 중 *V. parahaemolyticus* 생물막에 대한 살균효과에 대해 조사하였다.

NaOCl 및 FE-DBD 플라즈마의 처리농도 및 시간이 증가할수록 *V. parahaemolyticus* 생물막이 유의적으로 더 감소하는 것을 확인하였다(P < 0.05). NaOCl과 FE-DBD 플라즈마는 연어와 같은 수산물에 대한 미생물 생물막 저감화 효과가 있는 것으로 나타나 수산식품산업에 있어서 살균기술로서 적용될 가능성이 있음을 확인하였다. 그러나, 추가적으로 물리·화학적, 영양학적 및 관능적 분석을 통해 수산 품질에 미치지 않는 최적의 처리 조건을 설정하여 잠재적 사용 가능성 여부를 타진해 보아야 한다.

References

- Adil BH, Al-Shammari AM and Murbat HH(2020). Breast cancer treatment using cold atmospheric plasma generated by the FE-DBD scheme. *Clinical Plasma Medicine* 19–20, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2020.1000103>.
- Chen P, Wang JJ, Hong B, Tan L, Yan J, Zhang Z, Liu H, Pan Y and Zhao Y(2019). Characterization of mixed-species biofilm formed by *Vibrio parahaemolyticus* and *Listeria monocytogenes*. *Frontiers in Microbiology* 10, 2543. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02543>.
- Choi J(2021). Inactivation of Bacillus spores by sodium hypochlorite and sodium hypochlorite/phytic acid treatment and evaluation of sensory quality characteristics of food materials. Unpublished master's thesis, Chonbuk National University at Jeonju.
- Cui H, Bai M, Surendhiran D and Lin L(2018). Sequential effect of phages and cold nitrogen plasma against *Escherichia coli* O157:H7 biofilms on different vegetables. *International Journal of Food Microbiology* 268, 1~9. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.01.004>.
- Gilmore BF, Flynn PB, O'Brien S, Hickok N and Freeman T(2018). Cold plasmas for biofilm control: Opportunities and challenges 36(6), 627~638. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.03.007>.
- Jeon EB, Choi MS, Kim JY and Park SY(2020).

- Combined effects of low-temperature heating and atmospheric plasma on the populations of *Escherichia coli* and sensorial quality of red pepper powder. *Journal of Food Hygiene and Safety* 35(1), 68~74.
<https://doi.org/10.13103/JFHS.2020.35.1.68>.
- Karki SB, Gupta TT, Yildirim-Ayan E, Eisenmann KM, and Ayan H(2017). Investigation of non-thermal plasma effects on lung cancer cells within 3D collagen matrices. *Journal of Physics D: Applied Physics* 50(31), 315401.
<https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa7b10>.
- Karygianni L, Ren Z, Koo H and Thurnheer T(2020). Biofilm matrixome: Extracellular components in structured microbial communities. *Trends in Microbiology* 28(8), 668~681.
<https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.03.016>.
- Kim JH, Park CJ and Kim CK(2019). Atmospheric pressure floating electrode-dielectric barrier discharges (FE-DBDs) having flexible electrodes. *Korean Chemistry Engineering Research* 57(3), 432~437.
<https://doi.org/10.9713/kcer.2019.57.3.432>.
- Kim M, Park SY and Ha SD(2016). Synergistic effect of a combination of ultraviolet-C irradiation and sodium hypochlorite to reduce *Listeria monocytogenes* biofilms on stainless steel and eggshell surfaces. *Food Control* 70, 103~109.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.003>.
- Kim SJ and Ban WS(2023). Efficacy of sodium hypochlorite against *E. coli* various leafy green and stem vegetables. *Journal of Food Hygiene and Safety* 38(1), 31~36.
<https://doi.org/10.13103/JFHS.2023.38.1.31>.
- Kim SY(2022). Evaluation of the effect of chlorine dioxide gas in inactivating biofilm cells of foodborne pathogens. Unpublished master's thesis, University of Kongju at Gongju.
- Lee D, Howlett J, Pratten J, Mordan N, McDonald A, Wilson M and Ready D(2009). Susceptibility of MRSA biofilms to denture-cleansing agents. *FEMS Microbiology Letters* 291, 241~246.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2008.01463.x>.
- Lee JY(2022). Antibacterial effects of non-thermal atmospheric pressure plasma on dental microcosm biofilm. Unpublished master's thesis, University of Gachon at Seongnam.
- Lee SG, Kim HS and Cho SJ(2023). Inhibitory effects of *Stewartia koreana* extracts on *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation. *Journal of Life Science* 33(11), 936~943.
<https://doi.org/10.5352/JLS.2023.33.11.936>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety)(2024). Food additive standards. Cheongju, Korea.
<https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FA> on January 9.
- No AR and Park KS(2009). Factors that influence biofilm formation in *Vibrio parahaemolyticus*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science* 42(5), 456~460.
- Park SJ, Oh YH, Jo BY, Lee JS, Lee SW and Jeong JH(2015). Study of formation factor of biofilm on aluminum surface and removal efficiency of biofilm by antimicrobials. *Korean Chemistry Engineering Research* 53(6), 730~739.
<http://dx.doi.org/10.9713/kcer.2015.53.6.730>.
- Raval YS, Mohamed A, Zmuda HM, Patel R and Beyenal H(2019). Hypochlorous -peroxide-generating electrochemical scaffold eradicates methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* biofilms. *Global Challenges* 3(6), 1800101.
<https://doi.org/10.1002/gch2.201800101>.
- Rod SK, Hansen F, Leipold F and Knochel S(2012). Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology* 30, 223~238.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.018>.
- Rosa JVD, Conceição NVD, Conceição RDCDS and Timm CD(2018). Biofilm formation by *Vibrio parahaemolyticus* on different surfaces and its resistance to sodium hypochlorite. *Ciência Rural* 48, e20180612.
- Roy PK, Mizan MFR, Hossain MI, Han N, Nahar S, Ashrafudoulla M, Toushik SH, Shim WB, Kim YM and Ha SD(2021). Elimination of *Vibrio parahaemolyticus* biofilms on crab and shrimp surfaces using ultraviolet C irradiation coupled with sodium hypochlorite and slightly acidic electrolyzed water. *Food Control* 128, 108179.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108179>.
- Roy PK, Park SH, Song MG and Park SY(2022).

- Antimicrobial efficacy of quercetin against *Vibrio parahaemolyticus* biofilm on food surfaces and downregulation of virulence genes. *Polymers* 14, 3847.
<https://doi.org/10.3390/polym14183847>.
- Singh S and Shalini R(2016). Effect of hurdle technology in food preservation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56, 641~649.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761594>.
- Song MG, Jeon EB, Kim SH and Park SY(2023). Antifungal effects of floating electrode-dielectric barrier discharge plasma against on katsuobushi. *The Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education* 35(1), 174~179.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2023.2.35.1.174>.
- Song MG, Kim SH, Jeon EB, Ha KS, Cho SR, Jung YJ, Choi EH, Lim JS and Choi J and Park SY(2023). Inactivation of human norovirus GII.4 and *Vibrio parahaemolyticus* in the sea squirt (*Halocynthia roretzi*) by floating electrode-dielectric barrier discharge plasma. *Foods* 12(5), 1030.
<https://doi.org/10.3390/foods12051030>.
- Wang D, Flint SH, Palmer JS, Gagic D, Fletcher GC and On SL(2022). Global expansion of *Vibrio parahaemolyticus* threatens the seafood industry: Perspective on controlling its biofilm formation. *LWT* 158, 113182.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113182>.
-
- Received : 19 March, 2024
 - Revised : 12 April, 2024
 - Accepted : 18 April, 2024