

김 양식망의 파래류 제거 및 세척 효과 증대를 위한 공기방울처리장치의 활용

이학중, 김영희, 남지연, 김찬송, 허진석*

국립수산과학원 해조류연구소

Utilization of air bubble device to improve removal *Ulva linza* and cleaning effects from *Pyropia* nets

Hak-Jeung Lee, Young Hee Kim, Ji Yeon Nam, Chan Song Kim and Jin suk Heo*

Seaweed Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Haenam 59002, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- Through this study, we aim to protect the marine environment and contribute to improving the quality of *Pyropia* by reducing the use of activating treatment agents.

*Corresponding author

Jin suk Heo

Tel. 061-530-3908

E-mail. hjs6383@korea.kr

Received: 30 November 2023

Revised: 22 December 2023

Revision accepted: 27 December 2023

Abstract: At *Pyropia* farms, organic acid treatments have enhanced productivity and quality by removing pest algae (such as *Ulva* spp. and diatoms) and reducing the occurrence of diseases. *Ulva* spp. attaches to the *Pyropia* nets competing for inorganic nutrients & space and diminishing productivity. Additionally, the presence of attached contaminants (such as diatoms and middy particles) on the *Pyropia* nets negatively affects the quality of *Pyropia*. This study investigated the effects of removing *Ulva linza* and washing the *Pyropia yezoensis* nets using an activating treatment agent (organic acid and highly saline solution) with an air bubble device. The results of measuring the dead cell ratios after treatment under different conditions showed that the dead cell ratio of *U. linza* did not significantly increase when the air bubble device combined the activating treatment agent with the activating treatment agent alone. When washing the *P. yezoensis* nets, the air bubble device was about 19–37% more effective than the activating treatment agent alone. The findings of this study suggest that the air bubble device enhances the efficacy of the activating treatment agent, resulting in the effective cleaning of the *Pyropia* nets.

Keywords: air bubble device, highly saline solution, organic acid activating treatment agent, *Pyropia yezoensis*, *Ulva linza*

1. 서 론

김은 우리나라에서 산업적으로 가장 비중이 높은 해조류로서 2022년 생산량은 약 55만 톤, 생산액은 4,748억으로 전체 해조류 생산액의 64.7%를 차지하며, 수출금액은

6.56억 달러로 수산물 중에 가장 높은 수출량을 나타냈다. 우리나라 김 양식은 1980년대 부류식 양식기술이 개발되면서 생산량이 향상되었다(NIFS 2018). 그러나 계속 바다에 잠겨 있는 부류식의 경우 파래류, 규조류, 빨 입자 등이 부착되어 생산성과 품질을 저하시킬 수 있으며 이를 제거

하기 위한 인위적인 노동력이 필요하다(Song *et al.* 1993). 이러한 파래류 및 규조류 제거와 김 품질향상을 목적으로 산처리제를 사용하기 시작하였으나, 해양생태계에 영향을 미칠 수 있다는 우려가 제기되어 1994년부터 무기산 이용을 규제하고 식품 첨가물로서 승인된 유기산을 주성분으로 하는 김활성처리제를 고시로 지정하였으며, 2008년에는 산처리제를 활성처리제로 용어를 변경하여 “김 양식어장 활성처리제 사용기준”으로 개정하였다.

유기산활성처리 방법은 활성처리제를 위한 선박의 수조 내에 해수와 활성처리제를 첨가하여 김 세포에 영향을 미치지 않는 pH 농도로 조절하고, 일정 시간 김발을 침지시켜 김발과 김 엽체에 부착된 다른 생물(파래류, 규조류, 요각류 등)을 제거하거나 병해 발생을 억제하는 것이며, 김의 품질과 생산성을 향상시키는 목적으로 사용되고 있다(Fuseya *et al.* 1980; Kang and Shin 2002; Akizuki *et al.* 2009; Kim 2010). 2019년에는 소금을 주성분으로 하는 고염수활성처리제를 고시에 추가하였는데 Kwon *et al.* (2018)은 고염수활성처리제에 차아염소산, 염화칼슘 및 인산 첨가를 통해 방사무늬김의 성장과 찡자파래 제거 효과를 조사한 바 있다. 그러나, 최근에는 김 생산량 증대를 위해 밀식하거나 불법으로 김 양식장을 시설하고 하고 있어 파래류 및 규조류의 생물량이 증가하고 갯병 발생 빈도가 높아졌으며, 이를 저감시키기 위해 김활성처리제를 남용하는 악순환으로 연결되고 있다(Lee *et al.* 2019).

이러한 문제들을 해결하기 위해서 김활성처리제 사용을 줄이고자 활성처리제의 재사용에 관한 시도가 병행되고 있으나(Kotani 2006; Akizuki *et al.* 2009) 활성처리제의 효과와 활용도를 높이기 위해 활성처리제 사용과 함께 물리적 부가장치를 활용한 연구는 전무한 실정이다. 최근 버블 기술을 이용하여 식품과 과일, 채소 등을 세척하여 위생안전성과 저장성을 높이는 연구가 수행되고 있다(Lee *et al.* 2009; Kang *et al.* 2011; Kim *et al.* 2018). 일반적으로 공기방울은 센티미터 단위의 기포로 파열되며, 마이크로공기방울은 50 μm 이하의 미세한 기포로 생성되어 파열된다. 이러한 공기방울을 이용한 세척은 친환경적이고 위생적인 세척기술로 사용되고 있으며, 일반적으로 사용되는 용액 침지 방법으로는 세척하기 어려운 부분까지 세척 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 김활성처리제의 사용량과 횡수를 저감하기 위해 공기방울처리장치를 개발하였으며, 유기산활성처

리제와 고염수활성처리제에 공기방울처리를 혼합하여 김 양식망에 부착하는 파래의 제거와 부착 이물질 세척에 대한 효과를 구명함으로써, 양식장 환경을 보호하고 김의 품질 향상에 기여하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료 및 처리 조건

활성처리제와 공기방울처리장치의 효과를 조사하기 위해 전남 고흥군 도화면 구암리 김 양식장에서 방사무늬김 (*Pyropia yezoensis*) 양식망에 파래망(해남군 송지면 통호리 양식장에서 잎파래(*Ulva linza*)가 부착된 망 구매)을 겹쳐 설치한 후 2회에 걸쳐(2022년 3월, 2023년 2월) 활성처리를 실시하였다. 파래 제거 및 이물질 세척 실험을 위해 현재의 활성처리제 고시기준을 준용하여 유기산활성처리제는 구연산($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$, 수화물) 10%와 염산(HCl) 9.5%로 구성하고 고염수활성처리제는 소금 10%와 염산 9.5%로 구성하여 제조 후 사용하였다. 공기방울처리장치는

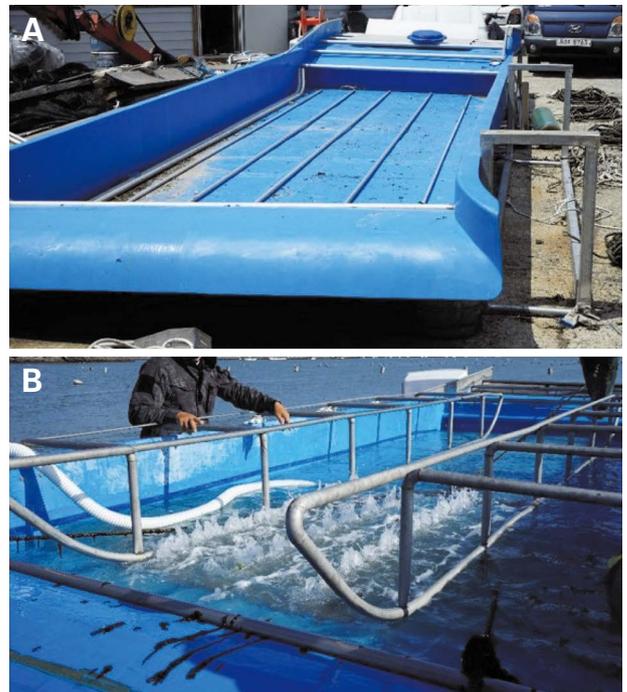


Fig. 1. Installation of air bubble device in activating treatment tank. A. Set up an air bubble line in the tank, B. Image of drive on air bubble device.

Fiber reinforced plastics (FRP)로 제작된 활성처리제 수조의 바닥에 50 cm 간격으로 4개의 사각형 스테인리스관 (길이 4.5 m, 폭 3.5 cm, 높이 2.5 cm)을 매립하여 제작하였다(Fig. 1). 사각형 스테인리스관에 공급되는 공기는 외부 전기를 이용하는 공기펌프 (220 V, 0.75 kW)를 사용하였고 4개의 스테인리스관은 25 cm 간격으로 2 mm의 구멍을 뚫어 FRP 활성처리제 수조에 공기방울이 고르게 분사되도록 제작하여 실험에 사용하였다. 활성처리제와 공기방울장치처리 조건은 대조구(control), 공기방울 처리(air bubble device), 유기산활성처리제(organic acid activating treatment agent), 유기산활성처리제와 공기방울장치 혼합처리(organic acid activating treatment agent + air bubble device), 고염수활성처리제(highly saline solution), 고염수활성처리제와 공기방울장치 혼합처리(highly saline solution + air bubble device) 조건으로 수행하였으며 각각의 활성처리제 농도는 20배 희석 조건으로 20초 동안 침지하여 처리하였으며 공기방울장치는 동일한 조건에서 혼합하여 처리하였다.

2.2. 사세포울 및 부착 이물질 세척 효과

각 조건별로 처리된 잎파래의 사세포울을 측정하기 위해 조건별 무작위로 5~20 cm 크기의 파래 엽체를 10개씩 채취하였으며 0.1% 에리트로신(erythrosine) 염색용액으로 1분간 염색하고 멸균해수로 3회 세척한 후 건조표본으로 만들었다. 건조된 개체들을 디지털카메라로 촬영한 후 염색부위 면적을 Image J 영상처리분석(National Institutes of Health, Bethesda, USA) 프로그램으로 측정하였다. 사세포울은 영상처리분석 프로그램으로 측정된 각 시료의 전체 면적과 사세포 면적(사세포 면적/전체 면적 × 100)을 분석하여 백분율(%)로 표시하였다.

이물질 세척 효과를 측정하기 위해 각 조건별로 처리된 해수 1L를 채수하였으며, 여과 전 각각의 필터 무게를 측정하고 상기 조건별 해수를 여과한 후 오븐에서 24시간 건조하였다. 건조된 필터의 중량에서 여과 전 필터의 중량을 빼고 이물질(규조류, 뿔 입자 등)의 건조량(mg L⁻¹)을 3반복 측정하여 세척 효과를 확인하였다.

2.3. 통계분석

대조구와 처리 조건에 대한 관계를 파악하기 위하여 SPSS (ver.20) 프로그램을 이용하였다. 활성처리제와 공기

방울장치 후 사세포울과 세척 효과에 대한 유의차 검정은 일원분산분석(one-way ANOVA)을 이용하였으며 사후 검정은 Tukey's HSD test로 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

2회에 걸쳐 활성처리제와 공기방울장치 혼합처리에 대한 잎파래 사세포울을 조사하기 위해 염색한 결과는 Fig. 2와 같다. 조건별 처리된 잎파래 엽체의 사세포울을 측정 한 결과(Fig. 3), 2022년(1차) 조사에서 대조구는 11.1%, 공기방울만 처리 시 8.56%, 유기산활성처리제만 처리 시 71.7%, 유기산활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 77.4%, 고염수활성처리제만 처리 시 53.5%, 고염수활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 68.0%로 나타났다. 2023년(2차) 조사에서 대조구는 13.5%, 공기방울만 처리 시 13.1%, 유기산활성처리제만 처리 시 69.3%, 유기산활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 82.8%, 고염수활성처리제만 처리 시 75.0%, 고염수활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 83.1%로 1차 조사와 유사한 결과를 나타냈다. 1, 2차 현장 조사 후 통계 분석한 결과 대조구와 공기방울만 처리 시 유의적인 차이는 없었으며($p > 0.05$), 대조구와 활성처리제 및 공기방울 혼합처리구 간에는 차이를 나타냈다($p < 0.001$). 그

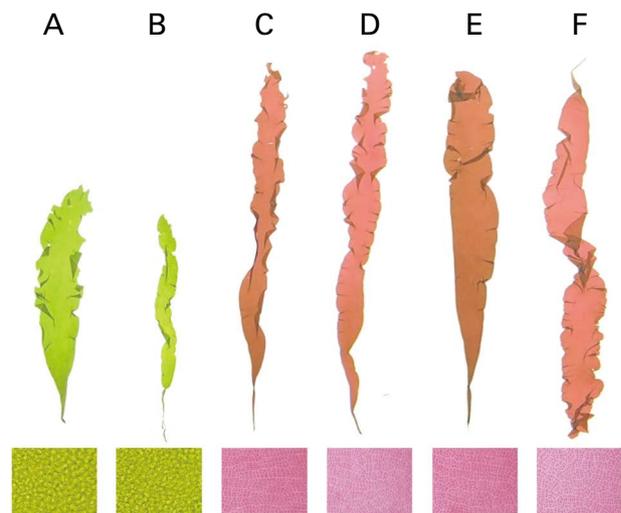


Fig. 2. *Ulva linza* thallus color change and cells by treatment with different activating treatment agents and an air bubble. A. control, B. air bubble device (AB), C. organic acid activating treatment agent (OA), D. organic acid activating treatment agent with an air bubble device (OA + AB), E. highly saline solution (HS), F. highly saline solution with an air bubble device (HS + AB).

러나 활성처리제에 공기방울을 혼합처리하였을 때 파래의 사세포율은 유의적인 차이를 나타내지 않았다($p > 0.05$).

pH는 조류의 성장에 큰 영향을 미칠 수 있는 중요한 환경 요인으로 작용하며 (Agrawal and Singh 2000; Dnailov and Ekelund 2001), 낮은 pH 조건은 녹조류의 광합성과 관련된 효소 활성이 감소시켜 녹조류를 제거할 수 있는 중요한 요소로 알려져 있다 (Zhao and Gao 1987; Xu *et al.* 2011). Park and Kim (2013)의 연구에서는 2010년 활성처리제 고시 기준(유기산 15%, 무기산 8.0~9.5%)에 맞춰 생육시기별 방사무늬김과 참흠파래에 유기산 활성처리제를 처리하였을 때 김은 대조구와 유의적인 차이가 없었으나, 참흠파래의 경우 모든 처리구에서 90% 이상 사멸하

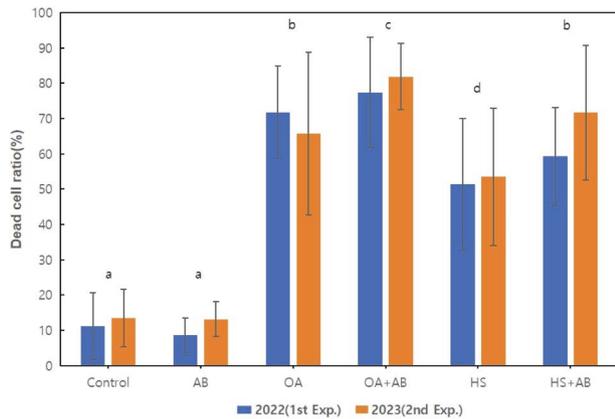


Fig. 3. The death cell ratio of *Ulva linza* by treatment with different activating treatment agents and an air bubble device in 2022 and 2023. AB: air bubble device; OA: organic acid activating treatment agent; OA + AB: organic acid activating treatment agent with an air bubble device; HS: highly saline solution; HS + AB: highly saline solution with an air bubble device. The statistical analysis was performed by integrating experiments conducted for two years. Different letters indicate significant differences ($p < 0.001$). Error bars represent SD for $n = 10$.

였다. 또한 파래 제거율은 유기산활성처리제 종류에 따라 88~93%의 제거 효과가 나타난다고 보고되어 있다 (Kang and Shin 2002). Park and Kim (2013)은 실내에서 참흠파래에 활성처리제를 40배 희석 후 1분 침지 시 90% 이상 사멸한다고 보고하였으며, Kwon *et al.* (2018)의 연구에서는 10배와 40배 희석된 고염수활성처리제를 창자파래에 처리 시 유엽기에는 각각 52.4%와 7.2%, 성엽기에는 80.2%와 37.9%로 사세포율이 나타났다. 본 연구에서 잎파래에 유기산활성처리제와 고염수활성처리제 처리 시 이전 연구 결과와 유사한 수준의 사세포율을 나타냈으나 공기방울을 혼합처리 시 유의적인 차이는 보이지 않았다. 이는 현장 조사시기에 따른 잎파래의 활성에 따라 차이가 있을 수 있어 추가적인 조사가 필요하다고 판단된다.

김 양식망에 부착된 이물질 세척 효과를 위해 활성처리제와 공기방울장치를 혼합처리한 해수를 필터하여 대조구 대비 차이를 비교하였다 (Fig. 4). 2022년(1차) 조사에서는 대조구의 부유물질 건중량은 4.7 mg L^{-1} 였고 공기방울만 처리 시 13.3 mg L^{-1} , 유기산활성처리제만 처리 시 25.2 mg L^{-1} , 유기산활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 30 mg L^{-1} , 고염수활성처리제만 처리 시 24.7 mg L^{-1} , 고염수활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 33.9 mg L^{-1} 로 측정되었으며 (Fig. 5) 활성처리제만 처리하였을 때보다 공기방울을 혼합처리하였을 때 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.001$). 2023년(2차) 조사에서는 대조구의 부유물질 건중량은 5.6 mg L^{-1} 였고 공기방울만 처리 시 20.7 mg L^{-1} , 유기산활성처리제만 처리 시 29.4 mg L^{-1} , 유기산활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 36.6 mg L^{-1} , 고염수활성처리제만 처리 시 23.3 mg L^{-1} , 고염수활성처리제와 공기방울 혼합처리 시 29.8 mg L^{-1} 로 2022년(1차) 조사 결과와 유사한 경향을 나타냈으며 ($p < 0.001$) 대조구와 처리구 간에도 유의적인 차

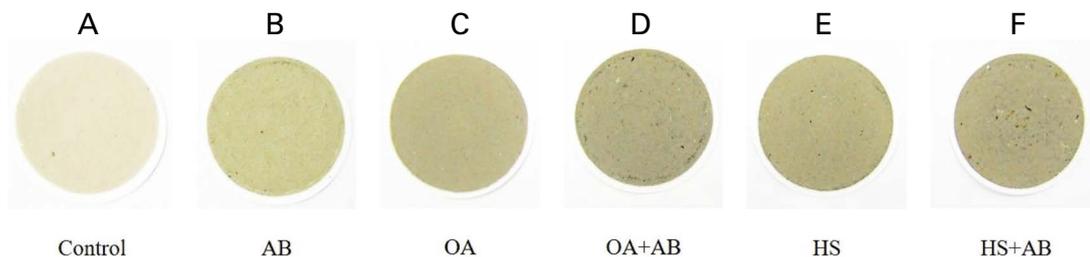


Fig. 4. Images of foreign matter after membrane filtration treated seawater with different activating treatment agents and an air bubble device. A. control, B. air bubble device (AB), C. organic acid activating treatment agent (OA), D. organic acid activating treatment agent with an air bubble device (OA + AB), E. highly saline solution (HS), F. highly saline solution with an air bubble device (HS + AB).

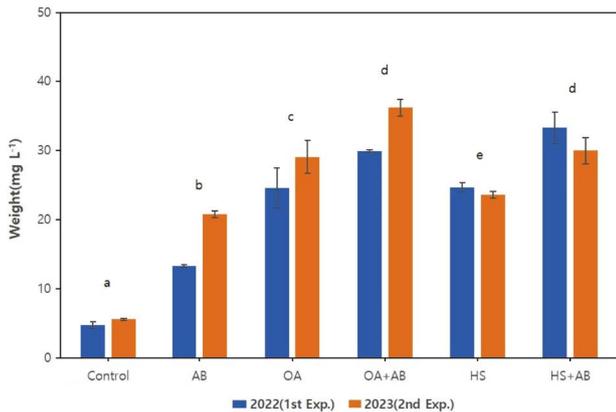


Fig. 5. Comparison of foreign matter weight after filtration of treated seawater by different activating treatment agents and an air bubble device in 2022 and 2023. AB: air bubble device; OA: organic acid activating treatment agent; OA + AB: organic acid activating treatment agent with an air bubble device; HS: highly saline solution; HS + AB: highly saline solution with an air bubble device. Statistical analysis was performed by integrating experiments conducted for two years. Different letters indicate significant differences ($p < 0.001$). Error bars represent SD for $n = 3$.

이를 확인하였다 ($p < 0.001$). 활성처리제만 처리하였을 때보다 공기방울을 혼합처리하였을 때 더 세척 효과가 높음을 알 수 있었으며, 세척 시 이물질 정도의 차이는 양식시기별 해수 내 부유물과 규조류의 농도에 따라 차이가 있을 것으로 판단된다. Kang and Kim (2022)은 HCl의 농도(0, 2, 4, 6, 8, 10%)와 처리시간(5, 10, 15, 20 sec)에 따라 방사무늬김 (*Pyropia yezoensis*), 규조류 (*Navicula* sp.), 잎파래 (*U. linza*)의 영향을 조사한 결과 김은 모든 처리 구간에서 영향이 없었으나 규조류는 HCl 6%에서 15초 이상, 파래는 4%에서 10초 이상 처리구부터 사멸하는 것으로 나타났다. 또한 Park and Kim (2013)의 연구에서는 김 양식장에서 고염수활성처리제를 처리하였을 때 규조류 탈락률은 60% 이상으로 나타났다. 본 연구 결과에서는 유기산활성처리제와 고염수활성처리제 처리 시 이물질 중량은 대조구 대비 약 1.89배, 1.85배 증가하였으며 공기방울을 혼합처리하면 2.25배, 2.54배로 더 증가하여 세척 효과가 높은 것으로 확인되었다. Kang et al. (2014)은 공기방울세척 시 오디의 일반세균과 효모 및 곰팡이가 30~40% 저감되었다고 보고하였으며, Kim et al. (2018)은 들깨 세척 시 일반 침지보다 공기방울세척 시 미생물 저감 효과가 높다고 보고하였다.

본 연구 결과를 통해 활성처리제만 처리할 때보다 활성처리제에 공기방울처리장치를 혼합처리할 경우 파래 제거

효과는 유의적인 차이가 없었으나 규조류, 빨 입자 등 이물질 제거율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 공기방울장치는 친환경적으로 활성처리제의 효과를 높이는 한편 활성처리제의 사용량을 줄이기 위한 물리적인 부가장치로 활용 가능성이 높을 것으로 판단되며 향후 파래의 성장 단계, 침지 시간 등을 고려하여 실내 및 현장실험들이 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구에서는 김활성처리제와 부가장치인 공기방울처리장치의 효과를 검증하고자 양식현장에서 잎파래 제거와 부착 이물질 세척 효과를 조사하였다. 그 결과 김활성처리제만 처리하였을 때보다 물리적 처리방법인 공기방울처리장치를 혼합하여 처리하였을 때 잎파래 제거에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었으나 김 양식장의 이물질 세척 효과는 향상되었다. 이러한 연구 결과를 통해 공기방울처리장치를 혼합 사용한다면 김활성처리제의 사용량을 줄일 수 있으며 친환경적으로 이물질을 제거하여 김의 생산성과 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

CRedit authorship contribution statement

HJ Lee: Investigation, Visualization, Writing - Original draft, Writing - Review & editing. **YH Kim:** Resources, Investigation. **JY Nam:** Resources, Investigation. **CS Kim:** Resources. **JS Heo:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing - Review & editing.

Declaration of Competing Interest

The researcher claims no conflicts of interest.

사 사

본 논문은 2023년도 국립수산물과학원의 연구비 지원(R2023022)으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Agrawal SC and V Singh. 2000. Vegetative survival, akinete formation and germination in three blue-green algae and one green alga in relation to light intensity, temperature, heat shock and UV exposure. *Folia Microbiol.* 45:439–446. <https://doi.org/10.1007/BF02817618>
- Akizuki A, K Kuno, Y Yoshida, Y Kawamura and M Tabata. 2009. Effect of reused acid treatment on *Pythium porphyrae* and recycling of acid treatment. *Bull. Saga Pref. Ariake Fish. Res. Devel. Cent.* 24:49–55.
- Dnalov RA and NGA Ekelund. 2001. Effects of pH on the growth rate, motility and photosynthesis in *Euglena gracilis*. *Folia Microbiol.* 46:549–554. <https://doi.org/10.1007/BF02818001>
- Fuseya M, N Takao and H Hibino. 1980. Experiment of red rot disease suppression by using citric acid. *Bull. Aich. Pref. Fish. Res. Inst.* 1:47–49.
- Kang EJ and JH Kim. 2022. Development of an efficiency criterion for the removal of pest organisms (ulvoid green algae and diatoms) from *Neopyropia* aquaculture using the acid wash (pH shock) method. *Aquaculture* 548:737677. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737677>
- Kang SP and JA Shin. 2002. An experiment of acid treatments for *Porphyra* cultivation. *Bull. Fish. Sci. Inst. Yeosu Natl. Univ.* 11:109–126.
- Kang SW, BH Lee, HJ Heo, JY Chun, TJ Seoung and SG Choi. 2011. Effect of air bubble washing with brine on quality characteristics of strawberries during storage. *J. Agric. Life Sci.* 45:81–88.
- Kang SW, SM Lee, JY Chun and SG Choi. 2014. Microbial reduction of mulberry treated by air bubble washing with co-washing agents. *J. Agric. Life Sci.* 48:329–340.
- Kim AN, KY Lee, MH Ha, MH Lee, JI Kim, D Kwak and SG Choi. 2018. The effect of air-bubble washing with natural sanitizers on microbial contamination and quality characteristics of perilla seeds. *Korean J. Food Preserv.* 25:797–803. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2018.25.7797>
- Kim SO. 2010. A development of cultivar and implication for disease prevention in the *Porphyra* farms. Ph.D. Dissertation. Mokpo National University. Mokpo, Korea.
- Kotani M. 2006. Processing efficient method of treatment with acid on seaweed net. *Bull. Fukuoka Fish. Mar. Tech. Res. Cent.* 16:159–161.
- Kwon ON, YR Yun and IS Shin. 2018. Effect of hypochlorous acid, calcium chloride and phosphoric acid in a highly saline solution on cell death rate and growth rate of *Porphyra yezoensis* and *Ulva intestinalis*. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 51:682–687. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0682>
- Lee SA, AR Youn, KH Kwon, BS Kim and HS Cha. 2009. Washing effect of micro-bubbles and changes in quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) during storage. *Korean J. Food Preserv.* 16:321–326.
- Lee SY, YH Kim, JE Lee and HI Yoo. 2019. Effect of marine environmental characteristics on a discoloration outbreak of *Pyropia yezoensis*. *Korean J. Environ. Biol.* 37:535–544. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.374.535>
- NIFS. 2018. Manual of *Pyropia* Aquaculture. National Institute of Fisheries Science. Busan, Korea. p. 108.
- Park SW and DH Kim. 2013. Effects of a commercial activating treatment agent on cultured *Porphyra yezoensis* thalli. *J. Fish. Pathol.* 26:275–282. <https://doi.org/10.7847/jfp.2013.26.3.275>
- Song HI, DH Kim, JR Kim and SU Kim. 1993. A study on the occurrence of the laver disease, with its environmental factors in the laver farming area. *Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Inst. Korea* 47: 177–195.
- Xu JL, SZ Ren, GX Zhang, MY Xu, XY Wu and GP Sun. 2011. Study on algae removal effect of sodium hypochlorite under different concentration and pH value. *J. Anhui. Agr. Sci.* 39: 10353–10355.
- Zhao DH and SD Gao. 1987. Studies of acid tolerance of *Porphyra* and *Ulva* 1. Effects of pH on respiration and growth of *Porphyra yezoensis* and *Ulva pertusa*. *J. Shandong College Oceanol.* 2:70–74.