

고염수 처리제에 차아염소산, 염화칼슘 및 인산 첨가가 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)과 창자파래(*Ulva intestinalis*)의 사세포율과 엽체 성장에 미치는 영향

권오남 · 윤영랑¹ · 신일식²

강릉원주대학교 동해안생명과학연구소, ¹호남남서부김활성처리제사업협동조합, ²강릉원주대학교 해양식품공학과

Effects 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*

O-Nam Kwon, Yeoung-Rang Yun¹ and Il-Shik Shin²

East Coastal Life Science Institute, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

¹Honam South-Eastern Laver Complex Solution Business Cooperation, Haenam 59031, Korea

²Department of Marine Food Science and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

We investigated the effects of a highly saline solution (HS) containing hypochlorous acid, calcium chloride (CaCl₂), and phosphoric acid (H₃PO₄) on cell death and growth rate of laver *Porphyra yezoensis* and green laver *Ulva intestinalis*. Cell death rates of laver treated with HS and HS plus hypochlorous acid (HS + HOCl) in the harvesting stage were less than 0.5%, and there were no significant differences between the HS and HS + HOCl treatments. However, cell death of green laver treated with HS + HOCl in the harvesting stage was greater than 81.2%. These results indicate that the addition of HOCl is highly effective to eradicate noxious green laver without causing damage to laver. The addition of HOCl and H₃PO₄ to HS did not increase the area or weight of laver blades. A combination treatment of CaCl₂ and HS, however, significantly increased the area and weight of laver lades compared to controls (P<0.05).

Key words: laver, green laver, hypochlorous acid, calcium chloride, phosphoric acid

서 론

김(Laver *Pyropia* sp.)은 우리나라를 포함해서 전세계적으로 즐겨먹는 기호품으로서 탄수화물과 단백질을 각각 약 40%와 30-40% 정도를 함유하고 있으며, 이 중 탄수화물의 대부분은 다당류에 속하는 식물성 섬유질이어서 다이어트 식품으로도 각광받고 있다(Jimenez-Escrig and Sanchez-Muniz, 2000). 또한 칼슘, 마그네슘, 요오드, 철분, 아연 및 망간 등과 같은 무기질도 약 10% 함유하고 있어 국내 해조류 중에서도 가장 많이 소비되고 있다(KTSP, 2017). 생산량에 있어서도 해조류 총 생산량 약 120만톤 중 약 40만톤(약 33%)이 김 생산량으로, 단일 품종으로는 해조류 양식산업에서 두 번째로 큰 부분을 차지

고 있다(FAO, 2016). 이에 따라 김 관련 수출 금액은 2007년 600억원, 2011년 1600억원, 2016년에는 3500억으로 매년 수출이 증대되어 전체 식품 중 3번째로 높은 수출 액을 기록하였다(KTSP, 2017).

김양식은 크게 지주식, 부유식으로 구분되고, 부유식은 다시 뜬말식과 침지식으로 구분된다. 전통방식인 지주식으로 양식하는 경우 노출선 5시간 지점에서 자연노출에 의해 파래, 규조류 등 잡조를 탈락시켜 최고 품질의 김을 생산하는 방법이지만 생산량이 많지 않다. 부유식의 하나인 뜬말식은 생산량은 많지만 뜬말을 뒤집어서 인위적인 간출로 잡조 구제를 하게 되기 때문에 일손이 많이 든다. 그리고 침지식의 경우 24시간 해수에 담가져 있기 때문에 김 생산량은 가장 많지만 파래, 매생이 등

*Corresponding author: Tel: +82. 33-640-2346 Fax: +82. 33-640-2340

E-mail address: shinis@gwnu.ac.kr



This is an Open Access article 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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0682>

Korean J Fish Aquat Sci 51(6), 682-687, December 2018

Received 20 November 2018; Revised 4 December 2018; Accepted 11 December 2018

저자 직위: 권오남(연구교수), 윤영랑(이사장), 신일식(교수)

의 잡조와 규조류 및 뽕뚝의 부착이 많아서 김의 품질이 저하되는 단점이 있다(Song et al., 1993). 이 침지식의 단점을 보완하기 위해서 활성처리제 처리로 잡조를 제거하여 김의 품질을 향상시키고 있다. 이러한 김의 품질향상을 위한 활성처리제로서 1980년대부터 35% 염산인 무기산을 주로 사용하여 왔는데, 무기산은 인체에 대한 독성과 부식성이 강하며, 해양에 배출되면 어패류가 폐사하게 되고 해양생태계를 파괴시키는 등 좋지 않은 영향을 미친다는 연구결과(MAFF, 1995)로부터 농림수산식품부(현 해양수산부)는 1998년부터 고시로 지정된 유기산을 주성분으로 하는 활성처리제를 개발하여 무기산의 이용을 규제하고 있다(MIFAFF, 2008). 하지만 유기산을 주성분으로 하는 활성처리제는 무기산에 비해 사용량이 월등히 많아서 김양식 어업인들에게 외면 받고 있는 실정이다.

이에 새로운 김 활성처리제에 대한 수요가 급증하고 있어 2017년 9월 해양수산부에서는 소금을 주성분으로 하는 고염수처리제를 고시에 적용하여 사용하도록 권장하고 있다. 이 고염수처리제는 소금을 주성분으로 하면서 잡조 제거율을 높이기 위해서 차아염소산을 첨가하고 있으며, 김 엽체의 성장을 촉진하기 위해서 칼슘과 인산을 첨가하고 있다(MOF, 2017). 하지만 차아염소산, 칼슘 및 인산의 함유가 고염수처리제에서의 역할이 확실하게 밝혀져 있지 않으며 이에 대한 연구도 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 고염수처리제(high salty solution, HS)에 차아염소산(hypochlorous acid, HOCl), 염화칼슘(calcium chloride, CaCl₂) 및 인산(phosphoric acid, H₃PO₄) 첨가가 김의 사세포율과 성장에 미치는 영향을 규명하기 위하여 정제염 10%, 염산(HCl) 9.0%를 함유한 고염수처리제에 차아염소산을 첨가, 김과 파래 엽체의 사세포율 변화를 조사하였으며, 또한 차아염소산, 염화칼슘 및 인산의 첨가가 김 엽체의 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

시료

실험에 사용된 방사무늬김(*Laver Pyropia yezoensis*)과 창자파래(*Green laver Ulva intestinalis*)는 2016년 12월에 전라남도 해남군 황산면 한자리 소재 김양식장의 김밭에서 채취하였다. 유엽기에는 김 엽체를 기준으로 1.5 cm 이하의 김과 파래가 부착되어 있는 김밭을 채취하였으며, 김 수확기(성엽기)에는 15 cm 이상의 엽체와 김밭에 붙은 파래를 채취하여 해남군 옥천공단의 대성케미칼 공장의 연구실로 옮겨서 실험하였다.

사세포율 측정

차아염소산 첨가에 따른 김과 파래의 사세포율은 사전 실험에서 정해진 10%의 정제염과 9.0%의 염산(HCl)을 함유하는 고염수처리제(high salty solution, HS)와 HS에 유효염소농도 200 ppm의 강산성차아염소산수(strong acidic hypochlorous

water)를 첨가하여 사전 실험에서 정해진 차아염소산의 최종 농도가 4%가 되도록 조절한 처리제(HS containing HOCl, 이하 HS+HOCl)를 제조(Table 1)하여 측정하였다. 실험은 일정 크기로 절단된 김과 파래 엽체 3개 이상을 10, 20 및 40배 희석된 각각의 처리제로 김양식장에서 처리하는 방법과 동일하게 15초간 처리한 후, 즉시 멸균 해수로 세척하였다. 세척한 엽체들은 0.1% erythrosine으로 염색하여 붉은색으로 염색된 세포(사세포)를 측정하였다. 염색된 사세포율의 측정은 100 혹은 200배율의 광학현미경(Leica CME, Wetzlar, Germany)으로 엽체별 3장 이상의 사진을 촬영(스마트폰 거치대 활용)하여 ImageJ (NIH, Bethesda, USA) 프로그램으로 전체 면적당 사세포 면적을 계산하여 사세포율을 백분율(%)로 나타내었다.

엽체 성장을 측정

차아염소산, 칼슘, 인산의 첨가가 김의 엽체 성장에 미치는 영향을 조사하기 위하여 10%의 정제염과 9%의 염산을 함유하는 대조구(control)에 각각 다른 농도의 차아염소산, 칼슘, 인산을 첨가하여 활성처리제를 제조하였다(Table 2). 김의 엽체 성장 측정은 김 엽체를 1 cm × 1 cm 크기로 절단하고, 절단한 엽체를 각각의 시료 용액에 15초간 침지 처리한 후, 깨끗한 해수로 세척하고 멸균해수를 넣은 250 mL 삼각플라스크에 넣어 형광등으로 명도를 2,500 lux로 조정된 15°C의 인큐베이터(JeioTech, Seoul, Korea)에서, 1일 3회 이상 교반하면서 배양하였다. 배양 1주 후, 위의 침지 처리를 다시 1회 실시한 후 같은 조건에서 1주일간 더 배양하였다. 침지 처리는 실험 시작할 때와 배양 1주 후 총 2회 실시하였으며, 김 엽체 꼬임으로 측정하기 힘들기 직전인 배양 14일 후에 엽체의 면적과 중량을 측정하였다.

통계처리

본 연구에서 모든 실험은 세 번 반복으로 행하였으며, 수치는 세 실험값의 평균값으로 나타내었다. 통계프로그램은 SPSS version 21 software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)에서 one-way ANOVA 중 Duncan's multiple range test (10)를 사용하여

Table 1. Composition (%) of high salty complex solution used for measurement of death cell ratio of *Laver Pyropia yezoensis* and *Green laver Ulva intestinalis* blade

| Component | Concentration of component (%) | |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | High salty solution (HS) | HS containing HOCl (HS+HOCl) |
| Purified salt | 10.0 | 10.0 |
| HCl | 9.0 | 9.0 |
| HOCl | 0.0 | 4.0 |
| Water ¹ | 81.0 | 81.0 |

¹Underground water without hypochlorous acid in Okchun industrial complex in Haenam-Gun, Jeollanam-do Province.

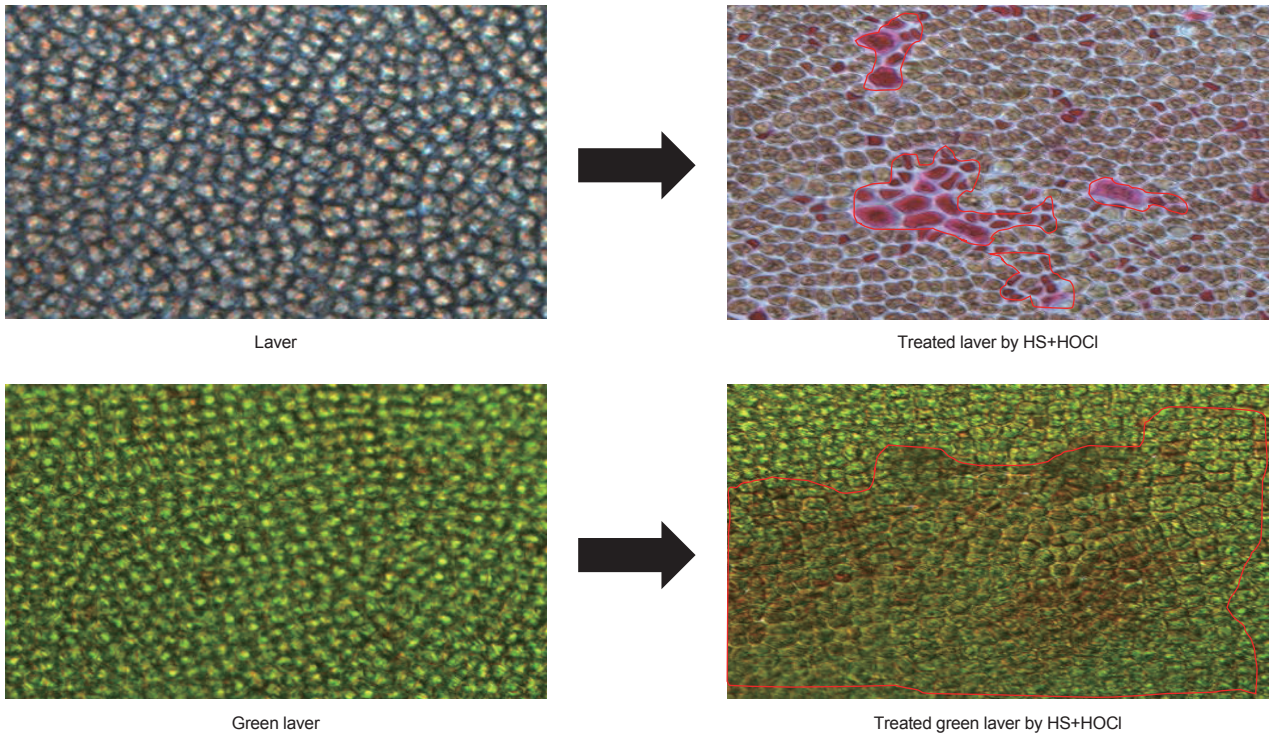


Fig. 1. Change of Laver *Pyropia yezoensis* and Green laver *Ulva intestinalis* cells by treatment with HS+HOCl on early and harvest stage of Laver. HS, High salty solution.

(Duncan, 1955) $P < 0.05$ 에서 유의성을 조사하였다.

결과 및 고찰

사세포율

고염수처리제(HS)에 차아염소산 첨가에 따른 방사무늬김(Laver *Pyropia yezoensis*)과 창자파래(Green laver *Ulva intestinalis*)의 사세포율을 유엽기와 성엽기(수확기)로 구분하

여 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 10배와 40배로 희석한 HS로 처리한 유엽기 김의 사세포율은 각각 32.1%, 3.1%이었으며, 10배와 40배로 희석한 HS+HOCl 처리구의 사세포율은 각각 35.2%, 5.0%로, HS 처리구와 유사한 경향을 나타내었으며 유의적인 차이는 없었다($P < 0.05$). 반면 김의 유엽기에 출현한 파래의 경우, 10배와 40배로 희석한 HS 처리구의 사세포율은 각각 52.4%, 7.2%이었으나 10배와 40배로 희석한 HS+HOCl 처리구의 사세포율은 각각 79%, 11%로 HOCl을 첨가한 처리

Table 2. Composition (%) of high salty complex solutions used for measurement of growth rate of Laver *Pyropia yezoensis* leaves in this study

| Component | Final concentration of component (%) | | | | | | | | | | MOF's Official notification ¹ | |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|-----------|
| | Control | Solution 1 | Solution 2 | Solution 3 | Solution 4 | Solution 5 | Solution 6 | Solution 7 | Solution 8 | Solution 9 | | |
| Purified salt | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0-13.0 |
| HCl | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 8.5-9.5 |
| HOCl | - ² | 1.0 | 2.0 | 4.0 | - | - | - | - | - | - | - | 0.25-4.0 |
| H ₃ PO ₄ | - | - | - | - | 1.5 | 2.7 | 3.8 | - | - | - | - | 0.1-0.6 |
| CaCl ₂ | - | - | - | - | - | - | - | 0.1 | 0.3 | 0.5 | - | 1.5-4.0 |
| Water ³ | 81.0 | 80.1 | 81.0 | 81.0 | 80.9 | 80.7 | 80.5 | 79.5 | 78.3 | 77.2 | - | 68.9-79.7 |

¹Standards of Ministry of Oceans and Fisheries. ²Not added. ³Underground water without hypochlorous acid in Okchun industrial complex in Haenam-Gun, Jeollanam-do Province.

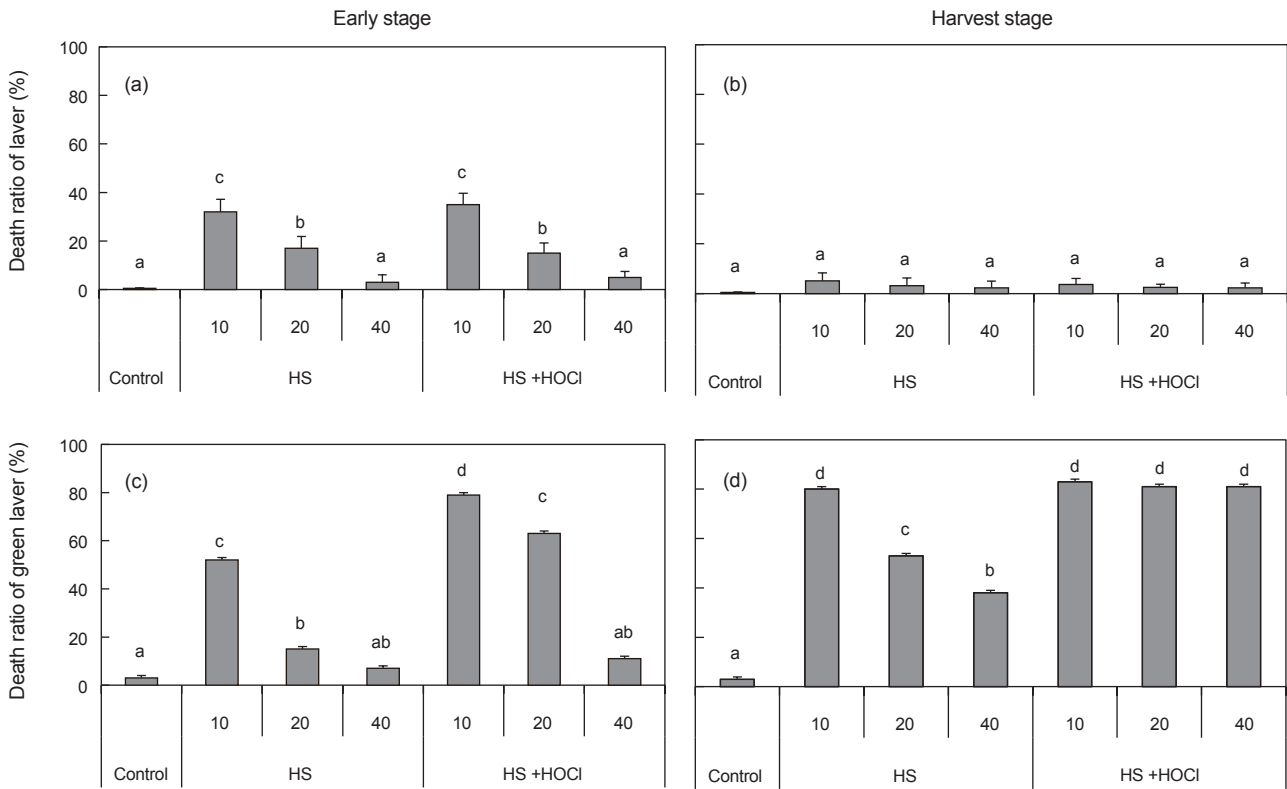


Fig. 2. The death cell ratio of Laver *Pyropia yezoensis* and Green laver *Ulva intestinalis* by treatment with HS and HS+HOCl at early and harvest stage of laver. Values with different characters are significantly different ($P < 0.05$). (a) early stage of laver; (b) harvest stage of laver; (c) early stage of green laver; (d) harvest stage of green Laver. HS, High salty solution.

구의 사세포율이 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 그리고 HS+HOCl 처리구의 경우, 김보다 파래의 사세포율이 약 2배 높게 나타났다.

성엽기 김의 경우 HS 처리구와 HS+HOCl 처리구 모두 사세포율이 0.5% 이하로 처리구 간의 유의적인 차이는 없었다. 그러나 김의 성엽기에 출현한 파래의 경우, 10배와 40배로 희석한 HS 처리구의 사세포율은 각각 80.2%, 37.9%이었으나 HS+HOCl 처리구에서는 희석배수와 관계없이 81.2% 이상의 높은 사세포율을 나타내어, HOCl을 첨가한 처리구의 사세포율이 HS 처리구보다 유의적으로 높게 나타났으며($P < 0.05$), 파래의 구제효과도 뛰어난 것을 알 수 있었다.

김은 우리나라를 포함하여 극동아시아(FAO, 2016)뿐만 아니라 뉴질랜드(Liu and Gordon, 1987)와 남아프리카(Griffin et al., 1999)에서도 양식되고 있으며 특히 국내 김은 일본과 북미를 포함하여 2017년 수출량이 4억 5000만 달러에 달하기도 하였다(KMI, 2017). 이들 김의 양식은 바다 양식장에 김발을 설치하고 김발에 붙은 포자가 성장하여 김발 설치 후 1.5-2개월이면 수확할 수 있을 만큼 성장한다. 하지만 바다 환경은 영양염 등의 조절이 안 되기 때문에, 이들의 성장과 저해 실험을 위

해서는 조절된 환경 내에서 실험 할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 고염수처리제에 차아염소산의 첨가에 따른 김과 김발 부착 생물인 파래의 사세포율 변화와 고염수처리제에 함유되어 있는 차아염소산, 칼슘 그리고 인산이 김 엽체의 성장에 미치는 영향에 대한 조사를 하였다. 국내의 경우, 김의 붉은갯병 감염 여부에 대한 차아염소산과 칼슘의 영향에 대한 연구는 있지만(Kim, 2013), 파래 구제효과 또는 엽체의 성장 등에 대한 연구는 없다. Mckenna and Davies (1988)는 미생물을 사멸시킬 수 있는 차아염소산의 최소 농도를 0.104-0.156 ppm으로 제시하고 있다. 본 연구에서는 차아염소산을 2% 함유한 고염수처리제를 사용하였는데, 10배에서 40배 희석하는 과정에서 차아염소산의 최종 농도는 0.1-0.4 ppm으로 희석된다. 이 경우 Mckenna and Davies (1988)가 제시한 단세포 생물인 미생물 살균의 최소농도 범위에 해당하여 단세포층 엽체(McArthur and Moss, 1977)인 창자파래(*Ulva intestinalis*)에 대한 살균력을 예상할 수 있는 농도가 된다. 이 결과는 Dukan and Touati (1996)의 대장균(*Escherichia coli*)을 대상으로 했던 연구에서도 같은 결과가 보고되어 단세포 생물인 대장균의 사멸과 김 양식장의 해적 생물인 파래의 사세포율이 유사한 경향을 나타내었다. 창자파

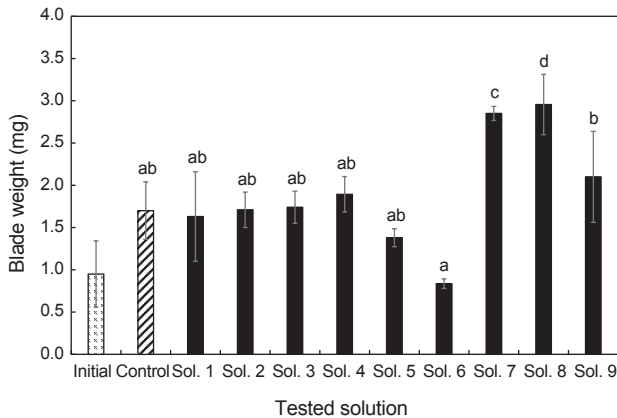


Fig. 3. The effects of addition of HOCl, CaCl₂ and H₃PO₄ to HS on increase of Laver *Pyropia yezoensis* blade area. Values with different characters are significantly different ($P<0.05$). HS, High salty solution.

래는 단세포층 엽체인 반면, 방사무늬김은 다세포층 엽체(Ueki et al., 2008)로 외부 환경요인에 의한 영향을 적게 받는다. 따라서 고염수처리제에 차아염소산을 적정 농도 첨가하였을 때 김에서는 유엽기와 수확기 모두에서 차아염소산을 첨가하지 않은 고염수처리제와 사세포율에 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 파래의 경우 희석농도에 따라 정도의 차이는 있었지만 차아염소산의 첨가에 따른 사세포율이 유의적으로 높게 나타났다(Fig. 2).

엽체 성장률

소금과 무기산만을 함유한 고염수처리제(control)에 차아염소산, 칼슘, 인산의 첨가가 김의 엽체 성장(면적 증가)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 배양 초기의 엽체 면적은 $100.0 \pm 0.00 \text{ mm}^2$ 이었으며 차아염소산과 인산의 첨가는 김 엽체의 면적 증가에 유의할 만한 효과를 나타내지 않았다 ($P>0.05$). 특히 인산의 경우, 2.7% 이상 첨가구(solution 5, 6)에서는 대조구보다 오히려 면적이 감소하는 경향을 나타내었다. 칼슘 첨가구의 경우, 0.1% 첨가구(solution 7)와 0.3% 첨가구(solution 8)의 김 엽체 면적은 각각 179.2, 204.7 mm²으로 대조구(135.0 mm²)보다 유의적으로 높은 면적 증가($P<0.05$)를 보였으나, 0.5% 첨가구(solution 9)는 대조구보다 오히려 면적이 감소하였다.

차아염소산, 칼슘, 인산의 첨가가 김의 엽체 성장(중량 증가)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 대조구의 엽체 중량은 1.7 mg/blade이었으며 차아염소산(solution 1, 2, 3)과 인산(solution 4, 5, 6)을 첨가하였을 때 김 엽체의 중량은 1.4-1.9 mg/blade로 유의할 만한 증가 효과를 나타내지 않았다 ($P>0.05$). 그러나 칼슘 첨가구의 경우, 세 첨가구(solution 7, 8, 9)의 엽체 중량이 각각 2.8, 3.0, 2.1 mg/blade로 세 첨가구 모두

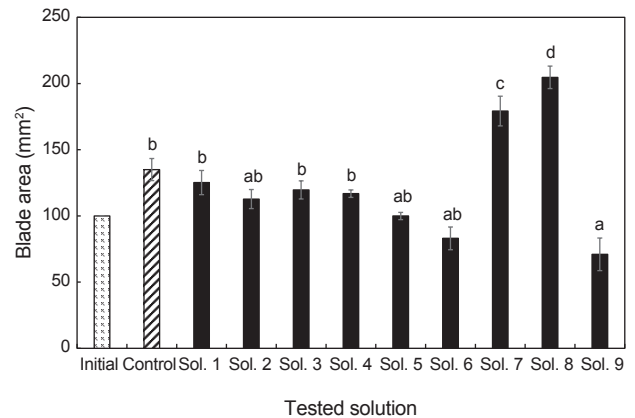


Fig. 4. The effects of addition of HOCl, CaCl₂ and H₃PO₄ to HS on increase of Laver *Pyropia yezoensis* blade weight. Values with different characters are significantly different ($P<0.05$). HS, High salty solution.

대조구(1.7 mg)보다 유의적으로 중량이 증가하였다($P<0.05$). 해조류의 배양 촉진을 위해서 칼슘, 인과 같은 무기질을 배지에 포함하는 것은 이미 잘 알려져 있다(Kuffner and Paul, 2001). Iwasaki (1967)는 0.1-5 mg%의 인산과 10-100 mg% 칼슘 첨가가 김의 성장을 극대화 되는 것으로 보고한 바 있는데, 본 연구의 결과도 이와 유사한 경향을 나타내었다. 하지만 인산의 경우, 2.7% 이상 첨가구(solution 8, 9)에서 오히려 성장 저해가 확인되었는데, 이는 주로 식물체 배양에는 Na₂HPO₄의 형태로 인산이 제공되지만 본 연구에서 H₃PO₄의 형태로 제공되었던 것에 기인한 것으로 판단된다. 하지만 인(P) 공급원에 따른 성장 촉진 혹은 저해와 관련된 다양한 실험들이 없기에 향후 더 많은 실험을 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

또한 고염수처리제에 기능성을 부여하기 위해 차아염소산(차아염소산에 의한 파래의 선택적 괴사와 병원성세균의 살균), 칼슘과 인(김엽체 영양공급)을 추가하였는데 이들의 과도한 첨가는 시험 용액에 침전이 생기는 결과를 초래하여 경우의 수를 무한정 많게 할 수가 없었다. 이에 5가지 원료 중 2가지(정제염, 염산)의 농도를 고정하고, 3가지 factor(차아염소산, 염화칼슘, 인산)의 영향을 one-way ANOVA test로 측정하였다. 추후 인산의 양을 줄이고, 칼슘의 양을 늘려 김엽체 성장에 도움을 주는 최적의 배합비를 찾는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

영양염의 부족과 과잉 모두 김(*Pyropia umbilicalis*)의 광합성과 호흡에 저해를 가져올 수 있다(Wiencke and Läuchli, 1980). 특히 지나친 농도의 영양염은 세포 내 액포(vacuoles)의 크기를 줄여서 성장에 저해를 주게 되어 배지를 사용하는 경우 지나치게 과도한 영양염 공급을 지양하도록 하고 있다. 또한 Tait et al. (1990)은 김(*Pyropia umbilicalis*) 성장에 있어서 질소 부족은 피해야 하며, 최종 수확기에 있어서 탄소원 공급을 위한 유기완충용액(organic buffer)의 추가가 수확량 증가에 도움이 된

다고 하였다. 따라서 김의 성장 촉진을 위해서 고염수처리제 뿐만 아니라 김발에 처리하게 되는 영양제에 대한 과학적 접근도 필요할 것으로 사료된다. 하지만 국내에서 양식되고 있는 김은 본 연구에서 사용한 방사무늬김 뿐만 아니라 전라남도를 중심으로 개량되고 있는 종과 지역별로 김의 종류와 특성이 다르기 때문에 모든 지역과 모든 김 종류에서 같은 결과를 보이는 것은 아니기 때문에 보다 다양한 연구결과들이 추가적으로 필요하다고 판단된다.

사 사

이 논문은 2017년도 강릉원주대학교 전임교원 연구년 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Dukan S and Touati D. 1996. Hypochlorous acid stress in *Escherichia coli*: resistance, DNA damage, and comparison with hydrogen peroxide stress. *J Bacteriol* 178, 6145-6150. <https://doi.org/10.1128/jb.178.21.6145-6150.1996>.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F-tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. The state of world fisheries and aquaculture 2016. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/sofia/2016/en/?platform=> on Jun 2, 2017.
- Griffin NJ, Bolton JJ and Anderson RJ. 1999. The effects of a simulated harvest on *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) in South Africa. *Hydrobiologia* 398, 183-189. <https://doi.org/10.1023/A:1017034028769>.
- Iwasaki H. 1967. Nutritional studies of the edible seaweed *Porphyra tenera*. II. Nutrition of *Conchocelis*. *J Phycology* 3, 30-34. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1967.tb04625.x>.
- Jiménez-Escrig and Sánchez-Muniz FJ. 2000. Dietary fibre from edible seaweeds: Chemical structure, physicochemical properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutrition Res* 20, 585-598. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(00\)00149-4](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(00)00149-4).
- Kim MH. 2013. Development of fungicide for red rot disease of cultivated *Porphyra*. Master Thesis of Kongju University, Kongju, Korea.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2017. The monthly review of fishery export information. Dec. 2017. K-Fish Information Center, Pusan, Korea.
- KTSP (Korea Trade Statistics Promotion Institute). 2017. Trade Statistics Service. Retrieved from <http://www.trass.or.kr/service/statistic/StatisticsViewServlet?mainServiceURL=P02M02D010> on Jun 25, 2017.
- Kuffner IB and Paul VJ. 2001. Effects on nitrate, phosphate and iron on the growth of macroalgae and benthic cyanobacteria from Cocos Lagoon, Guam. *Mar Ecol Prog Ser* 63, 63-72.
- Liu X and Gordon ME. 1987. Tissue and cell culture of New Zealand *Pterocladia* and *Porphyra* species. *Hydrobiologia* 151, 147-154.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries in Japan). 1995. Reports of acid treatment on Nori aquaculture. MAFF, Tokyo, Japan.
- McArthur DM and Moss BL. 1977. The ultrastructure of cell walls in *Enteromorpha intestinalis* (L.) Link. *Br Phycol J* 12, 359-368.
- McKenna SM and Davies KJA. 1988. Bacterial killing by phagocytes: Potential role(s) of hypochlorous acid and hydrogen peroxide in protein turnover, DNA synthesis, and RNA synthesis. *Basic Life Sci* 49, 829-832.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2008. A notice about standard of active agent on Nori aquaculture. Retrieved from on Oct 1, 2018.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2016. Statistical Yearbook of Fisheries Production. Retrieved from http://www.fips.go.kr/jsp/sf/ss/ss_kind_law_list.jsp?menuDepth=070104 on Jun 1, 2017.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2017. <http://www.mof.go.kr/article/-/view.do?articleKey=17528&searchSelect=title&boardKey=35&searchStartDate=2017-09-22&searchEndDate=2017-10-23&menuKey=402¤tPageNo=2>. on Oct 1, 2018.
- Song HI, Kim DH, Kim JR and Kim SU. 1993. A study on the occurrence of the laver disease, with its environmental factors in the laver farming area. *Bull Nat'l Fish Res Dev Inst Korea* 47, 177-195.
- Tait MI, Milne AM, Grant D, Somers JA, Staples J, Long WF, Williamson FB and Wilson SB. 1990. *Porphyra* cell cultures: isolation, growth and polysaccharide production. *J Appl Phycol* 2, 63-70.
- Ueki C, Nagasato C, Motomura T and Saga N. 2008. Reexamination of the pit plugs and the characteristic membranous structures in *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta). *Phycologia* 47, 5-11. [https://doi.org/10.2216/0031-8884\(2008\)47\[5:ROTPPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2216/0031-8884(2008)47[5:ROTPPA]2.0.CO;2).
- Wiencke C and Läuchli A. 1980. Growth, cell volume, and fine structure of *Porphyra umbilicalis* in relation to osmotic tolerance. *Planta* 150, 303-311. <https://doi.org/10.1007/BF00384660>.