

〈Original article〉

색차계를 이용한 방사무늬김(*Pyropia yezoensis* Ueda)의 황백화 평가

이상용 · 김영희 · 이지은 · 황은경*

국립수산과학원 해조류연구센터

Evaluation of the Discoloration of *Pyropia yezoensis* Ueda Using a Colorimeter

Sang Yong Lee, Young Hee Kim, Jee Eun Lee and Eun Kyoung Hwang*

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

Abstract - *Pyropia yezoensis* is one of the most extensively cultivated seaweeds used as food in Korea. However, the quality and yield of *Pyropia* farms are frequently affected by outbreaks of thallus discoloration. The objective of this study was to develop a simple and rapid method to evaluate *P. yezoensis* discoloration caused by nutrient deficiencies. A colorimeter was used to quantify the color of *P. yezoensis* in nutrient deficient media over 10 days. Quantitative values of lightness (*L*), redness (*a*), and yellowness (*b*) measured with a colorimeter were used as indicators of *P. yezoensis* discoloration. The vacuoles of *P. yezoensis* were observed at 4 days and swelled gradually from 6 days onward. The three colorimeter parameters *L*, *a*, and *b* values showed significantly different values with culture period. The lightness (*L*) value was darker initially, and continued to lighten over culture period. The yellowness (*b*) value increased, but the redness (*a*) value decreased throughout this study. The *a/b* ratio and redness (*a*) values from the colorimeter were important *P. yezoensis* color change indicators. The discoloration group of *P. yezoensis* had quantitative values for parameters of *L* above 70, *a* below 2.6, and *b* above 15.0. The results of this study showed that quantitative colorimetric measurements can be used as tools for simple and rapid detection of *P. yezoensis* discoloration.

Keywords : discoloration, colorimeter, *Pyropia yezoensis*

서 론

김속(Genus *Pyropia*)은 홍조식물문의 원시홍조강, 김과래과에 속하는 분류군으로서 현재까지 140여 종이 알려져 있으며, 열대에서 한대에 이르기까지 전 세계의 해안에 널리 분포한다(Yoshida *et al.* 1997). 우리나라의 김 양식은 서해안의 인천, 경기 충남, 전북과 전남 서부에서부터 남해안의 전남 동부와 부산의 낙동강 하구까지 폭넓은 지역에서

이루어지고 있다(Kang and Koh 1977). 양식 김의 종류로는 잇바디돌김(*Pyropia dentata*), 모무늬돌김(*P. seriata*), 참김(*P. tenera*)과 방사무늬김(*P. yezoensis*)이 양식되고 있으며(Kang 1970; Hwang and Lee 2001), 방사무늬김이 대부분의 생산량을 차지한다(KOSIS 2018). 김 생산량은 2010년대 초 30만톤 규모에서 2017년에 45만톤의 5,000억원 규모로 성장하였으며, 김 시설량은 양식지역의 면허의 확대에 따라 2017년 101만 8,000책(1책=2.2 m×40 m 기준)까지 증가하였다(KMI 2018). 김 수출은 크게 증가하여 2017년 5억 불을 달성하였으며, 세계 최고의 김 수출국가의 자리를 차지

* Corresponding author: Eun Kyoung Hwang, Tel. 061-530-3904, Fax. 061-532-5806, E-mail. ekh215@korea.kr

하고 있다(KCS 2017). 2010년 이후 지속적인 김 양식 산업의 팽창과 더불어 생산과잉에 따른 김의 가격하락, 질병발생과 품질저하뿐만 아니라 김 황백화 현상도 발생하고 있다(NFRDI 2015).

김 황백화 현상은 해수 중의 영양염 결핍에 따른 김 엽체의 색상 변화 및 탈락 유발로 김의 품질 저하뿐만 아니라 생산량 저하를 유발하는 것을 말한다(Amano and Noda 1987; Sakaguchi *et al.* 2003; Nishikawa and Yamaguchi 2006). 김 황백화로 인한 피해 사례로는 2010년 서해중부에서부터 서해남부 해역까지 발생하여 약 280억원의 피해를 주었으며, 2016년에는 충남, 전북과 전남 고흥의 김 양식장에서 양식 초기 약 8억원의 피해가 발생한 바 있다(KMI 2018). 김 엽체에 발생하는 꺾병의 경우 유기산활성처리제 사용과 김 망관리 등을 통한 대응이 가능하지만, 황백화 현상은 김 양식 어장 전역에 발생하여 김 생산에 피해를 유발하므로, 김 양식 산업 자체에 큰 피해를 준다.

김 황백화의 발생 원인에 대해서는 일본의 경우 구조류의 대발생, 고염분 저영양 수괴의 이동, 하천수 유입 감소에 따른 영양염 부족 등으로 알려져 있으나(Hori *et al.* 2008; Ishii *et al.* 2008; Tanda and Harada 2012), 우리나라의 경우는 영양염 부족 등이 주 원인으로 일본의 발생양상과는 다소 차이를 보이고 있다. 따라서 김 황백화 발생을 조기에 진단하고 대책을 마련하기 위해서는 해수 중 영양염의 모니터링과 함께 김 엽체를 대상으로 정확한 황백화 진단 방법의 개발이 필요한 실정이다.

일본에서는 마른김의 등급 평가에 색차계 자료 활용을 시도하였으며, 김 엽체 색도변화에 대한 육안평가 값을 수치화하기도 하였다(Kotani 2000). 색차계를 이용하여 수치화된 색도 차이는 육안 관찰을 통한 평가의 한계를 극복할 수 있는 방법으로 의료(Chang *et al.* 2012; Shin and Park 2015), 가공식품(Lee and Lee 1992; Lim *et al.* 1994; Sung *et al.* 2012), 농업(Park *et al.* 1995; Kim and Hong 2002; Morton *et al.* 2010; Chang and Kim 2011), 산업재료(Kwon *et al.* 2011; Baek *et al.* 2014; Lee *et al.* 2018) 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

따라서 이 연구에서는 빈영양 해수에서 배양한 김 엽체의 색도 변화 측정에 색차계를 이용하여 이를 세포학적 변화 정도와 비교하여 김 황백화 조기 진단을 위한 색차계의 유효성 여부를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 방사무늬김(*P. yezoensis*)은 해조류연구

센터의 유전자원은행에 보관중인 유리사상체(SRI-00105)를 5~6주간 PES (Provasoli's Enriched Seawater) 배지로 통기 배양(15°C, 14 L:10D)한 후 평균 엽장 약 5 cm의 엽체들을 선발하였다. 황백화 유도를 위해 사용한 배지는 영양성분이 제거(N, P-free)된 표준해수(Standard seawater, OSIL, U.K.)를 이용하였다. 김 엽체의 황백화 유도 실험은 빈영양 해수 배지에서 배지 교체 없이 10일까지 incubator(EYELA MTI-202B, Japan)에서 수행하였으며, 김 엽체의 색도변화는 대조구(0일)와 2일 간격(2일, 4일, 6일, 8일과 10일)으로 현미경 세포사진과 색차계 자료를 확보하였다.

김 엽체의 세포 사진은 현미경(BX51, Olympus, Japan) 및 영상장치(DP73, Olympus, Japan)로 촬영하여 영상자료(CellSens Dimension 1.8, Olympus, Japan)를 확보하였다. 김 엽체의 색도 변화는 색차계(CR-300 Colorimeter, Konica Minolta, Japan)를 이용하여, 배양 일수별로 김 엽체의 상, 중, 하부에서 각각 1회씩 측정하였다. 색도값은 CIE system에 따라 명도(Lightness, L), 적색정도(Redness, a), 노란색정도(Yellowness, b)와 ab 비 값을 평가하였다.

색차계로 수치화된 적색강도(a)와 노란색강도(b)는 Munsell Color Chart (ASM Standard D 1535-96, 1980)에 위치하여 표현하였다. 자료의 통계처리는 SPSS Window Program (Release 10.0, SPSS Inc.)을 이용하였고, 시간적인 변이 결과들의 유의성을 검정하기 위하여 일차분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 사후분석(Tukey's test)을 통해 유의한 차이($p < 0.05$)를 확인하였다. 분석한 모든 값들은 평균±표준오차로 표시하였다. 배양 일수에 따른 색차계 결과와의 상관관계는 선형회귀분석을 적용하여 유의성($p < 0.05$)을 파악하였다.

결과 및 고찰

고품질의 양식 김은 피코시아닌과 피코에리스틴 색소로 인해 짙은 검은색으로 보인다. 그러나 황백화 김은 20~50%의 낮은 색소 함량으로 인하여 황백색으로 보이고 품질 저하를 나타내게 된다(Amano and Noda 1987; Sakaguchi *et al.* 2003). 이 연구에서는 빈영양 해수에서 10일간 배양한 방사무늬김 엽체에서 세포 내 액포의 증가와 함께 현저한 퇴색 현상이 나타나는 것을 보였다. 빈 영양상태에서 배양일수의 경과에 따라 김 엽체는 현저하게 퇴색(Fig. 1A-E)을 보였으며, 액포의 증대가 관찰되었다(Fig. 1E-1). 세포의 액포는 4일차(Fig. 1C-1)부터 출현하였으며, 6일차(Fig. 1D-1)부터 액포의 증대가 관찰되었다.

색차계의 L 값의 측정범위는 0에서 100까지이며, a 와 b 값

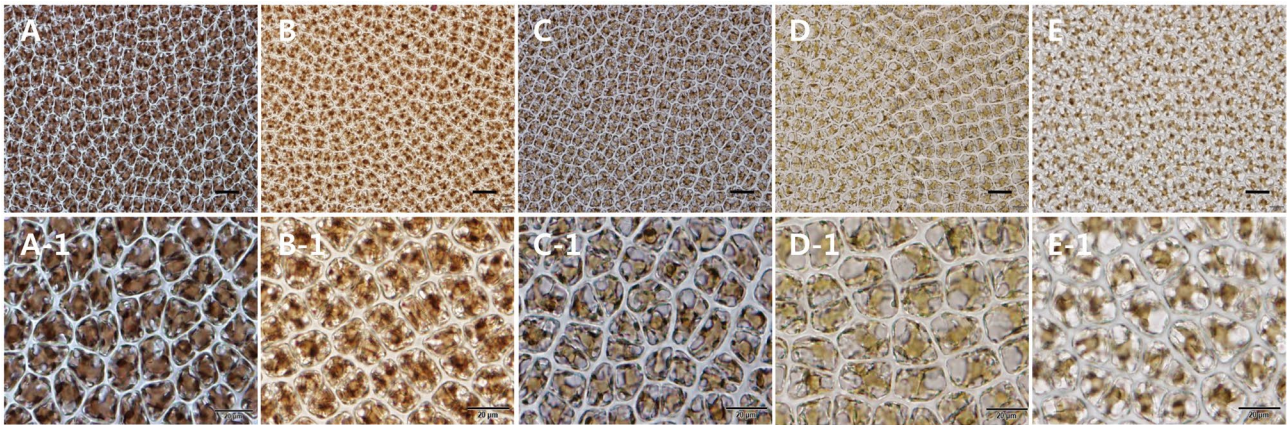


Fig. 1. Light microscopic images of cells of *Pyropia yezoensis* cultured in nutrient deficient medium (0 day: A, A-1; 2 days: B, B-1; 4 days: C, C-1; 6 days: D, D-1; 8 days: E, E-1). Scale bars are 50 μm (A-E) and 20 μm (A-1-E-1).

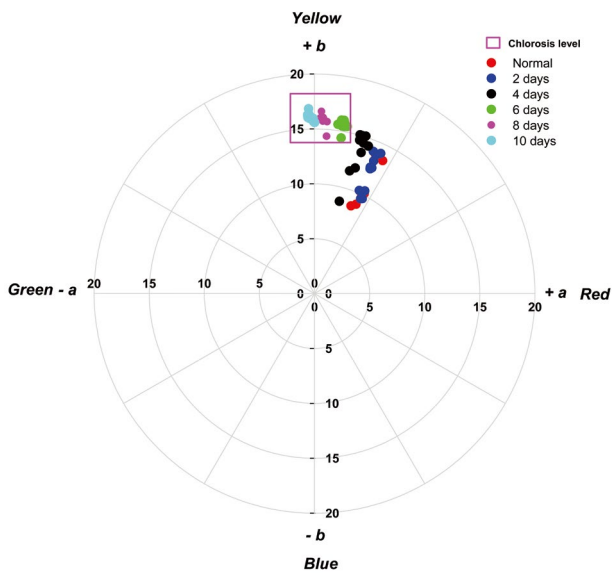


Fig. 2. Location of redness (a) and yellowness (b) values of *Pyropia yezoensis* on the chromaticity diagram from 0 to 10 days of culture.

은 색상과 채도가 종합된 것으로 각각 +60에서 -60까지 120등급으로 분류된다. 색차계의 a 값이 +인 경우는 측정 시료의 색이 적색(Red)의 강도를 나타내며, -인 경우 녹색(Green)의 강도를 나타낸다. 또한 색차계의 b 값이 +인 경우 노란색(Yellow)의 강도를 보이며, -인 경우 청색(Blue)의 강도를 반영한다. 색차계로 측정된 방사무늬김 엽체의 적색강도(a)와 노란색강도(b)를 chromaticity diagram에 나타내었다(Fig. 2). 대조구에서 배양 후 4일까지 적색강도 4.1 ± 0.2 에서부터 5.0 ± 0.2 까지의 범위를 보였으며, 노란색강도는 9.7 ± 0.7 (대조구)에서부터 15.3 ± 0.1 (4일)까지 증가하였다.

반면에 배양 후 6일부터 배양 후 10일까지 적색강도는 2.6 ± 0.1 (6일)에서부터 -0.4 ± 0.1 (10일)까지 감소하였으며, 노란색강도는 15.3 ± 0.1 에서부터 16.1 ± 0.1 까지의 범위로 나타났다.

배양 일수별 김 엽체에 대한 색차계 명도(L) 값은 유의한 차이($p < 0.01$)를 보였으며, 대조구(0일), 배양 후 2일과 4일 그룹은 배양 후 8일 및 10일 그룹보다 낮은 값을 보였다. 배양 후 6일 그룹은 대조구(0일), 2일, 4일 그룹과 유의한 차이가 없었으나, 배양 후 8일 및 10일 그룹보다 낮은 값을 보였다(Table 1). 김 엽체의 명도(L)는 배양기간 동안 어두운색에서 밝은색으로 증가하였다. 김 엽체의 명도는 6일 (70.1 ± 0.4)을 기준으로 밝은색 그룹과 어두운색 그룹으로 구분되었다.

김 엽체에 대한 색차계 a 값은 측정시기에 따라 유의한 차이($p < 0.01$)를 보였으며, 대조구(0일)와 2일 그룹, 4일, 6일, 8일과 10일이 각각 그룹으로 구분되었다. a 값은 대조구(0일)와 2일 그룹이 4일, 6일, 8일, 10일 그룹보다 높은 값을 보였으며, 10일이 가장 낮은 값을 보였다(Table 1). 배양기간 동안 김 엽체의 적색강도(a)는 높은 값에서 낮은 값으로 감소하였으며, 적색에서 녹색으로 김 엽체 색도가 변화하는 경향을 보였다. 적색강도(a)는 배양 시간이 길어질수록 적색이 감소하고 녹색이 증가하였으며, 배양 시간에 따른 김 엽체 색도 차이가 명확히 구분되었다.

색차계의 b 값은 측정시기에 따라 유의한 차이($p < 0.01$)를 보였으며, 대조구(0일)와 2일 그룹, 4일 그룹과 6일, 8일, 10일 그룹으로 구분되었다. 대조구와 2일 그룹은 6일, 8일, 10일 그룹보다 낮은 값을 보였으며, 4일 그룹은 대조구와 2일 그룹보다 높게 나타났다(Table 1). 김 엽체의 노란색강도(b)는 배양기간 동안 낮은 값에서 높은 값으로 증가하였다. 노

Table 1. Summary of mean ± S.E. for *L*, *a*, *b* values and *a/b* ratio of *Pyropia yezoensis* by using a colorimeter from 0 to 10 days culture in nutrient deficient medium

| Parameters | 0 day | 2 days | 4 days | 6 days | 8 days | 10 days | Timely <i>F</i> * |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|
| <i>L</i> value (lightness) | 65.2 ± 1.8 | 63.6 ± 1.5 | 67.4 ± 1.3 | 70.1 ± 0.4 | 74.9 ± 0.2 | 77.4 ± 0.2 | 116.8** |
| <i>a</i> value (redness) | 4.9 ± 0.3 | 5.0 ± 0.2 | 4.1 ± 0.2 | 2.6 ± 0.1 | 0.8 ± 0.1 | -0.4 ± 0.1 | 472.6** |
| <i>b</i> value (yellowness) | 10.3 ± 0.7 | 10.9 ± 0.5 | 13.0 ± 0.5 | 15.3 ± 0.1 | 15.8 ± 0.2 | 16.1 ± 0.1 | 159.6** |
| <i>a/b</i> ratio | 0.47 ± 0.01 | 0.46 ± 0.01 | 0.31 ± 0.01 | 0.17 ± 0.00 | 0.05 ± 0.00 | -0.02 ± 0.00 | 1625.5** |

*: Differences between measuring time are indicated by corresponding oneway-ANOVA *F*-values and associated *p*-values. ***p* < 0.05, ****p* < 0.01.

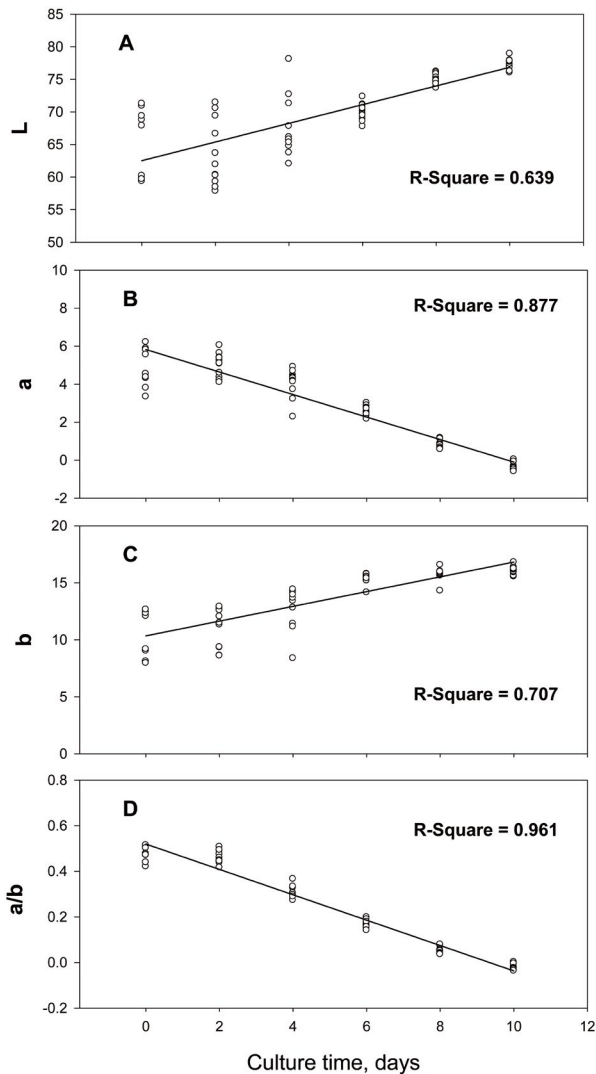


Fig. 3. Measurements with colorimeter. A: *L* values, B: *a* values, C: *b* values, D: *a/b* ratio. Scatter points are experimental data and solid lines are regression.

란색강도(*b*)는 4일 (13.0 ± 0.5) 이후부터 증가하는 경향을 보였으며, 배양시간이 길어질수록 증가하였다.

김 엽체에 대한 색차계 *a/b* 비는 측정시기에 따라 유의한

차이 (*p* < 0.01)를 보였으며, 대조구 (0일)와 2일 그룹, 4일, 6일, 8일과 10일이 각각 그룹으로 구분되었다. *a/b* 비는 대조구 (0일)와 2일 그룹이 4일, 6일, 8일, 10일 그룹보다 높은 값을 보였으며, 10일이 가장 낮은 값을 보였다 (Table 1).

색차계의 *L*, *a*와 *b*값은 빈영양 조건에서 배양된 김 엽체의 시간에 따른 색도변화와 유의성을 갖는 것으로 확인되었다 (Fig. 3). 배양시간에 따라 명도 (*L*) 값은 유의하게 증가 ($R^2=0.639$)하는 것으로 나타났다. 배양시간에 따른 적색강도 (*a*) 값은 감소 ($R^2=0.877$)하였으며, 노란색강도 (*b*) 값은 증가 ($R^2=0.707$)하는 것으로 나타났다. *a/b* 비는 배양시간의 경과에 따라 감소 ($R^2=0.961$)가 명확하게 나타났다. 이러한 결과에서 빈영양 조건에서 시간의 경과에 따른 김 엽체의 색도 변화는 *a/b* 비와 *a*값에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

황백화가 유도된 김 엽체에 대한 색도 변화 분석 결과, 색차계 *L*, *a*와 *b*값은 김 엽체의 색 특성 차이를 수치화하여 구분할 수 있는 것으로 파악되었다. 특히 적색강도 (*a*)는 시간에 따른 김 엽체의 색도변화 정도를 판단하는데 유용하였으며, 노란색강도 (*b*)와 명도 (*L*)는 색도변화의 단계를 구분하는데 유용하였다. 황백화 유도 결과에 따른 색차계의 정량적인 값은 명도 (*L*) 70 이상, 적색강도 (*a*) 2.6 이하와 노란색강도 (*b*) 15.0 이상에서 김 황백화가 발생하는 것으로 평가되었다.

Ueki *et al.* (2010)은 배양실험을 통한 방사무늬김 엽체의 색도 변화를 디지털카메라와 현미경 관찰을 통해 분석한 결과, 김 엽체의 색도를 적색색, 엷은 차색, 녹색 등으로 구분하였으나, 배양 일수에 따른 유의한 차이를 확인하지 못하였다. 또한 김 엽체의 색도는 세포 내 엽록체의 축소와 액포 비대 정도에 따라 영향을 받는다고 하였으며, 이를 보완하기 위하여 흡광분광장치를 이용한 흡광도를 수치화하여 비교하기도 하였다. 또한 Sakaguchi *et al.* (2003)은 황화암모늄을 강화시킨 해수를 처리하여 황백화 김을 회복시켰다고 보고하였다. 따라서 김 황백화는 해수 중 영양염 농도에 따라 김 엽체의 세포 내 색소 함량 변화가 달라지면서 나타나는 현상으로 이러한 색소 함량의 변화를 즉각적으로 확인할 수 있는 도구를 이용함으로써 황백화 현상을 조기에 진단할 수

있음을 나타낸다.

이 연구 결과 색차계는 김 엽체 내의 세포 변화를 수치화 함으로서 황백화의 정도를 손쉽게 빠르게 진단할 수 있는 유용한 도구로 이용될 수 있음을 밝혔다.

적 요

김은 한국에서 가장 경제성이 높은 양식 해조류이다. 그러나 최근 김 양식장에서 발생하는 황백화 현상으로 인해 엽체의 변색과 탈락이 자주 유발되어 수산업에 큰 피해를 유발하고 있다. 이 연구는 영양염 부족에 의한 김 황백화를 간단하고 빠르게 평가할 수 있는 방법을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 10일 동안 빈영양 해수에서 배양한 방사무늬김 엽체의 색도를 정량화하기 위해 색차계를 사용하였다. 색차계로 측정된 명도(L), 적색강도(a)와 노란색강도(b) 값들로 방사무늬김의 황백화를 평가하였다. 방사무늬김 엽체의 엽포는 4일차부터 관측되었으며, 6일차부터 엽포가 증대하였다. 색차계의 L , a 와 b 값은 배양시간에 따라 유의한 차이를 보였다. 명도(L)는 시간의 경과에 따라 어두움에서 점차 밝아졌다. 노란색강도(b) 값은 시간에 따라 증가하였으나, 적색강도(a) 값은 감소하였다. 색차계의 a/b 비와 적색강도(a) 값은 방사무늬김의 색도 차이를 구분하는 주요한 요인이었다. 황백화된 방사무늬김은 명도(L) 70 이상, 적색강도(a) 2.6 이하와 노란색강도(b) 15.0 이상의 정량적인 값으로 구분되었다. 이 연구결과 색차계는 김 황백화의 정도를 손쉽게 빠르게 진단할 수 있는 유용한 도구로 이용할 수 있음을 밝혔다.

사 사

본 논문은 2018년도 국립수산물과학원의 연구비 지원(R2018011)으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Amano H and H Noda. 1987. Effect of nitrogenous fertilization on the recovery of discolored fronds of *Porphyra yezoensis*. Bot. Mar. 30:467-473.
- Baek SS, SJ Jang, JH Lee, DH Kho, SH Lee and SH Hwang. 2014. Preparation of acrylic pressure sensitive adhesives for optical applications and their adhesion performance. Polymer Korea 38:199-204.
- Chang JY, W Chen, T Huang, K Wang, P Fu, J Chen and C Hung. 2012. Evaluating the accuracy of tooth color measurement by combining the Munsell color system and dental colorimeter. Kaohsiung J. Med. Sci. 28:490-494.
- Chang Y and K Kim. 2011. Effects of pre-treatment and drying methods on the quality and physiological activities of garlic powders. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40:1680-1687.
- Hori Y, S Mochizuki and N Shimamoto. 2008. Relationship between the discoloration of cultivated *Porphyra thalii* and long-term changes of the environmental factors in the northern part of Harima-nada, Eastern Seto Inland Sea, Japan. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr. 72:107-112.
- Hwang MS and IK Lee. 2001. Taxonomy of the Genus *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from Korea. Algae 16:233-273.
- Ishii M, K Hasegawa and Y Matsuyama. 2008. Environmental factors influencing *Porphyra* (Nori) farming in Tokyo Bay: Long-term changes in inorganic nutrient and recent proliferation of diatoms. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr. 72:22-29.
- Kang JW. 1970. Species of cultivated *Porphyra* in Korea. Kor. J. Fish. Aquat. Sci. 3:77-92.
- Kang JW and NP Koh. 1977. Seaweed Cultivation. Korea Textbook Co. Ltd. Press. Busan.
- KCS. 2017. Export trends of *Pyropia* in major countries (2015-2017). Korea Customs Service. <http://www.customs.go.kr>. Accessed on 20 Nov. 2018.
- Kim KI and SD Hong. 2002. Relationship between soil color characteristics and measurement values by colorimeter. Korean J. Soil Sci. Fert. 35:77-86.
- KMI. 2018. Monthly Fisheries outlook and Issue-Seaweed. Vol. 656. Korea Maritime Institute.
- KOSIS. 2018. Fishery production trend survey report (2017). Korean Statistical Information Service. <http://kostat.go.kr>. Accessed on 20 Nov. 2018.
- Kotani M. 2000. Numeral indication of fading in cultured *Porphyra* lava. Bull. Fukuoka Fish. Mar. Technol. Res. Cent. 10:49-50.
- Kwon KJ, MK Park, SI Park and KH Noh. 2011. A study on the comparison of correlated color temperature measured by colorimeter and spectrophotometer. Proc. KIIIE Ann. Conf. 120-121.
- Lee D, A Han, D Ha, H Yoo, H Kim, N Jung, K Jang and K Choi. 2018. The quantification of TiO₂ thickness using color values by spectrophotometer and chromameter. J. Korean Inst. Surf. Eng. 51:157-163.
- Lee HD and CH Lee. 1992. Studies on the quality evaluation of Korean red pepper by color measurement. Korean J.

- Food Culture 7:105–112.
- Lim SD, KS Kim, HS Kim, SH Chung and TS Kang. 1994. Studies on rapid microbiological testing method of raw milk by applied resazurin reduction test (RRT) method: I. Bacterial counting method by color value. Korean J. Dairy Sci. 16:92–98.
- Morton M, DL Williams, HB Hjorth and JH Smith. 2010. Machine-smoking studies of cigarette filter color to estimate tar yield by visual assessment and through the use of a colorimeter. Regul. Toxicol. Pharmacol. 56:321–331.
- NFRDI. 2015. Report of NFRDI 2014 Projects (Study on the chlorosis phenomena in cultivated *Pyropia*). National Fisheries Research and Development Institute. p. 50.
- Nishikawa T and M Yamaguchi. 2006. Effect of temperature on light-limited growth of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the discoloration of *Porphyra* thalli. Harmful Algae 5:141–147.
- Park SW, Y Park and H Joung. 1995. Quality evaluation by color determination in carrot (*Daucus carota* L.): Estimation of total carotenoid content by colorimeter. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 36:481–485.
- Sakaguchi K, N Ochiai, CS Park, M Kakinuma and H Amano. 2003. Evaluation of discoloration in harvested laver *Porphyra yezoensis* and recovery after treatment with ammonium sulfate enriched seawater. Nippon Suisan Gakkaishi 69:399–404.
- Shin HS and YS Park. 2015. A comparative analysis on complexion and skin color in 20s–30s and 40s–50s by frequency of L*a*b values. J. Korean Soc. Color Stud. 29:103–113.
- Sung M, HJ Kang and Y Kim. 2012. Relationship between physicochemical and sensorial properties of red pepper powder under different storage condition. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41:1423–1430.
- Tanda M and K Harada. 2012. Nutrient environment and fishery production in Harima-nada, Eastern Seto Inland, Japan. Aquabiology 34:132–141.
- Ueki C, A Murakami, T Katoh, N Saga and T Motomura. 2010. Effects of nutrient deprivation on photosynthetic pigments and ultrastructure of chloroplasts in *Porphyra yezoensis*. Nippon Suisan Gakkaishi 76:375–382.
- Yoshida T, M Notoya, N Kikuchi and M Mitaya. 1997. Catalogue of species of *Porphyra* in the world, with special reference to the type locality and bibliography. Nat. Hist. Res. 3:5–18.

Received: 26 November 2018

Revised: 13 December 2018

Revision accepted: 14 December 2018