

영양성분 결핍에 따른 방사무늬김(*Neopyropia yezoensis*) 엽체의 생장과 디지털 색채 변화

최성제 · 황성일* · 최석진†

한국농수산대학교(교수) · *(주)수중생태기술연구소(대표) · †(유)씨캠(연구소장)

Thallus Color and Growth Changes of *Neopyropia yezoensis* in Different Nutrient Conditions

Sung-Je CHOI · SungIl HWANG* · SokJin CHOI†

Korea National University of Agriculture and Fisheries(professor) ·

*Underwater Ecology Institute(CEO) · †Seacam(research director)

Abstract

This study aimed to establish color indicators for assessing the growth and quality of seaweed, focusing on color changes resulting from nutrient deficiency in *Neopyropia yezoensis*. Controlled environment experiments were conducted to observe color variations during *N. yezoensis* growth under different nutrient exclusion conditions. Thallus length demonstrated optimal growth under N (NaNO_3) exclusion, followed by P (Na_2HPO_4) and Fe (FeCl_3) exclusions, while thallus width favored P (Na_2HPO_4) exclusion, followed by Fe (FeCl_3) and N (NaNO_3) exclusions. Throughout the culture period, significant variations in the color parameters $L^*a^*b^*$ were observed. The a^* value increased over time, indicating a shift towards redness, while the b^* value initially decreased until day 10 before increasing thereafter. Notably, excluding N (NaNO_3) led to a decline in the a^* value from day 10 onwards, resulting in reduced redness and intensified yellow tones. These findings underscore the potential of quantitative colorimetric measurements as effective tools for the rapid detection of *N. yezoensis* discoloration. Overall, this research contributes to understanding the impact of nutrient deficiency on seaweed growth and highlights the practical application of color analysis in seaweed cultivation management.

Key words : *Neopyropia yezoensis*, CIE 1976 $L^*a^*b^*$, Nutrient deficiency, Digital color

I. 서론

국내 양식 김에는 방사무늬김(*Neopyropia yezoensis*), 잇바디돌김(*N. dentata*), 모무늬돌김(*N. seriata*) 3종이 있으며(Heo et al., 2021), 이중 방사무늬김이 생산량의 대부분을 차지한다. 김 양식장은 영양염이 풍부한 강 하구역에 주로 위치하고 있는데, 서해안은 전남 신안 해역부터 인천 해역까지 대

부분의 연안에 분포하고, 남해안은 진도에서 고흥 해역까지 그리고 낙동강 주변 해역에 위치하고 있다(Shim et al., 2014). 양식 김은 소비증가와 양식기술 개선 및 신품종 개발로 2010년 23.5만톤 규모에서 2022년에 55만톤 규모로 성장하였으나(<http://www.mof.go.kr>), 대규모 해면 양식으로 인한 질병 발생과 품질저하 및 시비제 오·남용 등으로 인한 문제가 지속적으로 발생하고 있다.

† Corresponding author : 042-487-2981, sokjin@yahoo.co.kr

김을 포함한 해조류는 광합성과 생장을 위하여 무기탄소와 영양염류(질소, 인, 규산) 그리고 미량원소 등이 필요하다(DeBoer, 1981; Lobban and Harrison, 1994). 김 엽체는 무기영양분(질소, 인, 철)이 결핍상태에서 색택이 변화하고(Ueki et al., 2010), 색상 변화 및 탈락 유발로 김의 품질 뿐만 아니라 생산량 저하를 유발하기도 한다(Amano and Noda, 1987; Sakaguchi et al., 2003). 질산염을 비롯한 영양염은 해역 환경 특성과 시기에 따라 결핍될 수 있는 성분으로, 배양을 통한 흡수 특성 등에 관한 연구 결과들이 보고되고 있다(Ozaki et al., 2001).

김 성장과정에서 엽체의 질병 발생을 조기에 진단하고 대책을 마련하기 위해서는 해수 중 영양염의 모니터링과 함께 김 엽체를 대상으로 정확한 진단 방법의 개발이 필요하다. 그러나 우리나라의 양식현장에서 김의 성장 진단 및 평가는 양식어업인들의 육안적 평가에 의존하고 있어 정량적인 측정 방법이라고 보기 어렵다. 일본에서는 마른김의 등급 평가에 색차계 자료 활용을 시도하였고, 김 엽체 색도변화에 대한 육안 평가값을 수치화하기도 하였다(Kotani, 2000). 색차계를 이용하여 수치화된 색채 차이는 육안 관찰을 통한 평가의 한계를 극복할 수 있는 방법으로 의료(Chang and Kim, 2011; Shin and Park, 2015), 가공식품(Lim et al., 1994; Sung et al., 2012), 농업(Kim and Hong, 2002; Morton et al., 2010; Chang and Kim, 2011), 산업재료(Lee et al., 2018) 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

그러나 색차계를 이용한 측정은 환경조명이 다르면 측정 대상의 색채값도 변하므로, 일정한 광환경 조건에서 측정 또는 측정값의 보정이 필요하다. 본 연구에서는 김의 성장과 품질 평가를 위한 색채 지표의 기초 자료 제공 및 색채를 이용한 평가시스템 개발을 목적으로 현재 보편화된 색채공학(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003) 수법을 이용하여 제어 가능한 실험실 환경에서 영양분 결핍에 따른 김 엽체의 색채변화를 측정하였다.

이로부터 영양분이 결핍된 조건에서 김 엽체의 고유 색채값 변화에 대한 평가를 육안이 아닌 디지털화된 색채값을 통해 품질을 판정할 수 있는 방법에 대하여 검토하였다.

II. 연구 방법

1. 엽체 실내 배양

실험에 이용한 방사무늬김(*N. yezoensis*) 엽체는 15°C, 12 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 8 h light : 16 h dark 조건에서 배양중인 5-10 cm 유엽 18개 중 고유 색채 분포를 고려하여 8개를 선택하여 사용하였다. 배지는 SWM-3 이용하였고 <Table 1>, 엽체의 색채 변화를 유도하기 위해 SWM-3 원액과 N(NaNO₃) 85 g, P(Na₂HPO₄) 7.1 g 및 Fe(FeCl₃) 0.19 g 각각의 성분을 제거한 총 4종류의 배양액을 제조하였다. 플라스크(3 L) 8개를 준비하여 배양액 종류별로 2개 플라스크를 할당하였고, 각 플라스크에 멸균 해수 1 L를 넣고 종류가 다른 배양액 원액 2 mL와 김 유엽 1개체를 넣었다. 김 유엽의 배양은 10°C, 12 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 12 h light : 12 h dark와 통기상태로 14일 동안 실시하였다. 유엽의 엽장과 엽폭은 2일 간격으로 측정하였다.

<Table 1> Composition of modified SWM-3 medium

A solution		B solution	
NaNO ₃	85g	H ₃ BO ₃	6.184g
Na ₂ HPO ₄	7.1g	MnCl ₂	1.089g
Na ₂ EDTA	5.58g	ZnCl ₂	54.5mg
FeCl ₃ ·6H ₂ O	0.19g	CoCl ₂ ·6H ₂ O	2.38mg
pH	7.5	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.017mg
DW	1,000mL	DW	1,000mL

2. 색채 측정

엽체의 성장에 따른 색채 분석을 위하여 SWM-3 원액과 N, P 및 Fe 성분을 결핍시킨 4개

의 조건별로 배양하였고, 2일 간격으로 휴대폰 (Galaxy S21 Ultra, Samsung, Korea)을 이용하여 화상 촬영하였다.

화상 촬영은 배양중인 플라스크에서 엽체를 채취하여 백색도 85%의 용지 위에 놓고, 시료와 인공조명과의 거리를 9 cm로 고정하여 촬영하였다. 화상 촬영시 인공조명은 시료면에 45°의 각도로 조사하도록 시료의 위치를 확보하여 설정하였고, 카메라의 수광부는 인공조명을 고려하여 입사광과 시료면으로부터 반사된 빛과의 각이 45±10°의 범위를 유지하도록 고정하였다. 촬영한 화상은 디지털 처리한 후, Photoshop gradient tool 프로그램을 이용하여 화상의 색채로부터 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간의 색채값을 구한 뒤, CIE 1931 XYZ 색공간의 색채값으로 계산하였다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003; Choi and Arakawa 2009; Choi and Hwang 2023).

CIE $L^*a^*b^*$ 색공간에서 L^* 값은 색의 밝기를 나타내는 것으로, 10단계로 표시되며, $L^*=0$ 이면 검은색, $L^*=100$ 이면 흰색을 나타내고, 균등 색공간 상에서 색채값의 명암 위치를 나타낸다. a^* , b^* 값은 색채를 표시하는 것으로, a^* 는 빨강과 초록 중 어느 쪽으로 치우쳤는지를 수치로 나타내며, a^* 가 음수이면 초록에 치우친 색으로, 양수이면 빨강/보라 쪽으로 치우친 색을 나타낸다. b^* 는 노랑과 파랑 중 어느 쪽으로 치우쳤는지를 수치로 나타내며, b^* 가 음수이면 파랑쪽으로, 양수이면 노랑 쪽으로 치우친 색을 나타낸다. CIE 1931 XYZ 색공간은 Y값이 밝기 또는 조도의 값이 되도록 설계되어 있어 특정 색의 색채는 두 개의 값 X, Y, Z로부터 계산된 값 x , y 로 표현된다.

측정된 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 값으로부터 CIE 1931 XYZ 색공간의 색채값으로의 계산은 균등 색공간에서 조사광의 삼자극치 X_n , Y_n , Z_n 은 $Y_n=100.00$ 으로 했을 때, $X_n=95.04$, $Y_n=100.00$, $Z_n=108.89$ 이므로 균등색 공간에서의 측색값은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} Y &= ((L+16)/116)^3 \\ X &= (Y/100) \cdot ((a/500)+1) \dots\dots\dots (1) \\ Z &= (Y/100) \cdot (1-(b/200)) \end{aligned}$$

삼자극치 Y값은 물체의 시감투과율(luminous transmittance)로, 물체색의 명도(lightness)와 대체적으로 상관관계를 갖는다. 색벡터(X, Y, Z)와 단위 평면 $X+Y+Z=1$ 의 교점에서 색도 좌표 x , y 는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} x &= X / (X + Y + Z) \\ y &= Y / (X + Y + Z) \dots\dots\dots (2) \\ z &= Z / (X + Y + Z) \end{aligned}$$

엽체의 색채 L^* , a^* , b^* 값과 계산된 색채 x , y 값을 CIE $L^*a^*b^*$ 색표시계 및 CIE 1931 XYZ 색공간상에 표시하였다.

3. 색채 보정 및 색차 계산

엽체로부터 측정된 색채 L^* , a^* , b^* 값은 측정 당시의 실험실 환경에 따른 색채값을 보정하였다. 백색 용지 위에서 촬영된 엽체 화상의 색채 a^* , b^* 값은 실험실의 환경조건 및 인공조명 등을 포함한 주변 환경의 색채와 엽체의 색채값이 합성 반영된 값이다. 엽체의 순수한 색채는 환경 색채 a^* , b^* 값과 엽체를 측색한 화상 부분의 색채 a^* , b^* 값을 각각 x_1 , y_1 , x_2 , y_2 라고 하면, 엽체의 순수한 색채 a^* , b^* 값 x , y 는 측정된 백색 용지의 색채 a^* , b^* 값과 엽체의 색채 a^* , b^* 값의 차로 구할 수 있다.

$$x=x_2-x_1, y=y_2-y_1 \dots\dots\dots (3)$$

CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간에 표시된 배양조건별 엽체의 색채값을 각각 L_1^* , a_1^* , b_1^* 및 L_2^* , a_2^* , b_2^* 라고 하면, 2개의 측색값 사이의 색차 ΔEab^* 는 다음과 같이 구하였다.

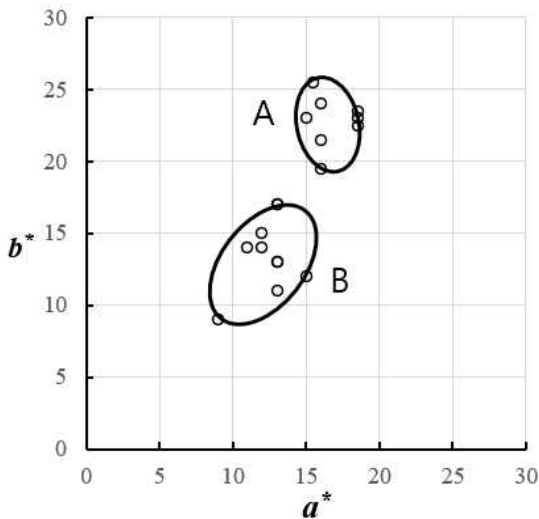
$$\Delta Eab^*=[(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

단, $\Delta L^*=L_1^*-L_2^*$, $\Delta a^*=a_1^*-a_2^*$, $\Delta b^*=b_1^*-b_2^*$ 이다. 다만, 본 연구에서 L_1^* 와 L_2^* 는 각각 엽체를 측정할 광환경이 동일하므로 ΔL^* 값은 0으로 하였다.

III. 연구 결과

1. 엽체의 고유 색채 분포

방사무늬김 엽체의 고유 색채 분포를 알기 위하여 15°C, 12 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 8 h light : 16 h dark 조건으로 배양중이던 0.5-1 cm 방사무늬김 유엽을 촬영하였다.



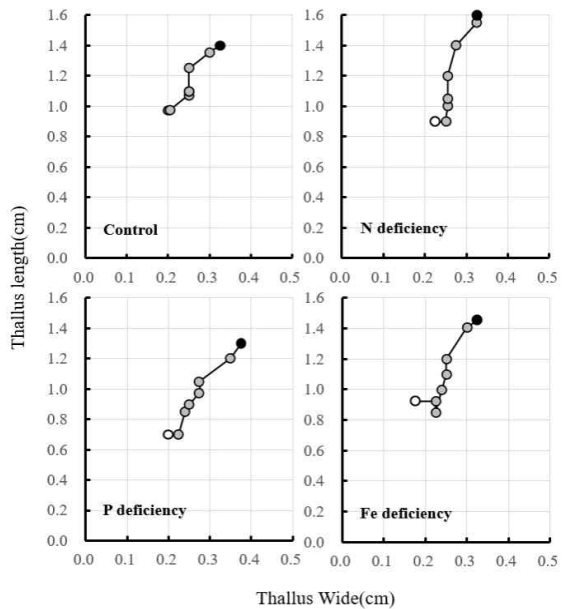
[Fig. 1] Changes in native digital color a^* and b^* values of *Neopyropia yezoensis* used in experiments.

촬영 화상에서 추출한 균등색공간 L^* , a^* , b^* 의 색채값 중 색채 a^* , b^* 값의 분포를 [Fig. 1]에 나타내었다. 방사무늬김 엽체의 색채값 a^* , b^* 의 분포는 제1사분면의 a^* , b^* 값이 모두 양수인 범위에서 두 개의 그룹으로 분리되어 분포하였다. 색채값은 원점을 기준으로 A그룹의 a^* 값은 15-19의

범위, b^* 값은 20-26의 범위에서 분포하였고, B그룹의 a^* 값은 9-15의 범위, b^* 값은 9-17의 범위에서 분포하였다. 전반적으로 A그룹의 색채값의 분포 범위가 B그룹의 색채값 분포 범위보다 작은 것으로 나타났다. 이 결과에 따라 색채값 분포 범위가 작은 A그룹의 8개 엽체를 색채 변화 실험에 이용하였다.

2. 영양성분별 엽체의 성장 변화

실험에 이용된 방사무늬김의 엽장, 엽폭의 변화를 원액 배양 조건과 N, P 및 Fe 성분 결핍 배양 조건에서 2일 간격으로 14일간 측정된 결과를 [Fig. 2]에 나타내었다.



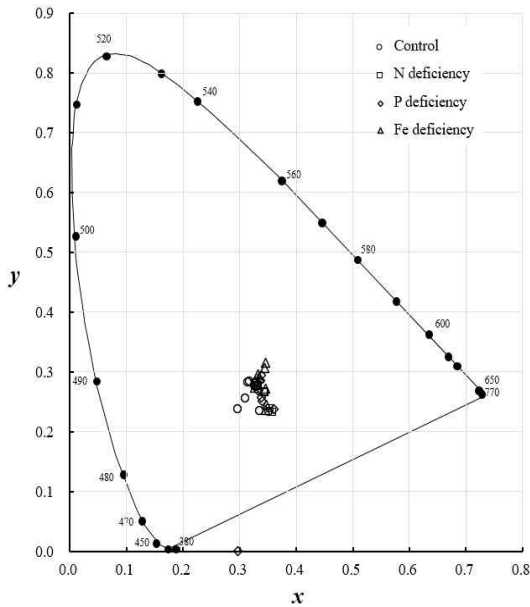
[Fig. 2] Relationship between thallus length and width of *N. yezoensis* under deficiency condition(○: 0 day, start of culture. ●: 14 days later, end of culture).

실험기간 동안 원액 배양 조건에서의 엽장은 0.45 cm, 엽폭은 0.13 cm 증가한 것으로 나타났고, N, P 및 Fe 성분 결핍 조건에서의 엽장은 0.70 cm, 0.60 cm 및 0.56 cm 증가하였고, 엽폭은

0.10 cm, 0.18 cm 및 0.15 cm 증가한 것으로 나타났다. 특히 2주간의 실험기간 동안 엽장의 생장은 N > P > Fe > 원액의 배양 조건 순서로 높았고, 엽폭은 P > Fe > 원액 > N 순으로 높은 결과가 나타났다.

3. CIE XYZ 색공간에서 색채값 분석

방사무늬김 엽체를 배양조건별로 측정된 색채값을 정리하여 xy 색공간 평면상에 나타내었다 ([Fig. 3]). 각각의 배양조건별 색채값의 분포는 흰색영역(x=y=1/3)을 중심으로 하방의 분홍색에서 빨간색 부분으로 “人” 형태로 분포하였다. 색채값은 x값이 0.3-0.36의 범위에 분포하였고, y값이 0.2-0.32의 범위에 분포하여 매우 좁은 범위에서 밀집해 있는 결과를 보였다.



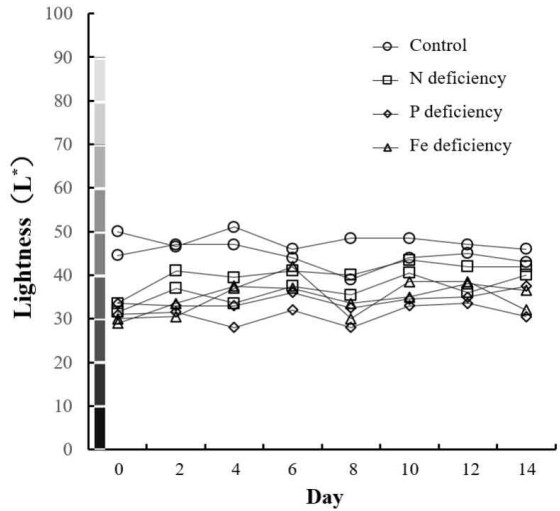
[Fig. 3] xy color values distribution of the thallus of *N. yezoensis* under each nutritional deficient conditions.

그러나, 원액 배양 조건에서의 색채값은 N, P 및 Fe 성분이 결핍된 배양 조건에서의 색채값과 구분되는 적갈색 범위에 분포하여 시각적 및 기

계적 색차에 의한 구분이 가능한 것으로 나타났다.

4. 명도 L* 값의 변화

영양성분 조건에 따라 각각 배양한 엽체를 촬영한 화상에서 명도 L*값의 변화를 [Fig. 4]에 나타내었다.

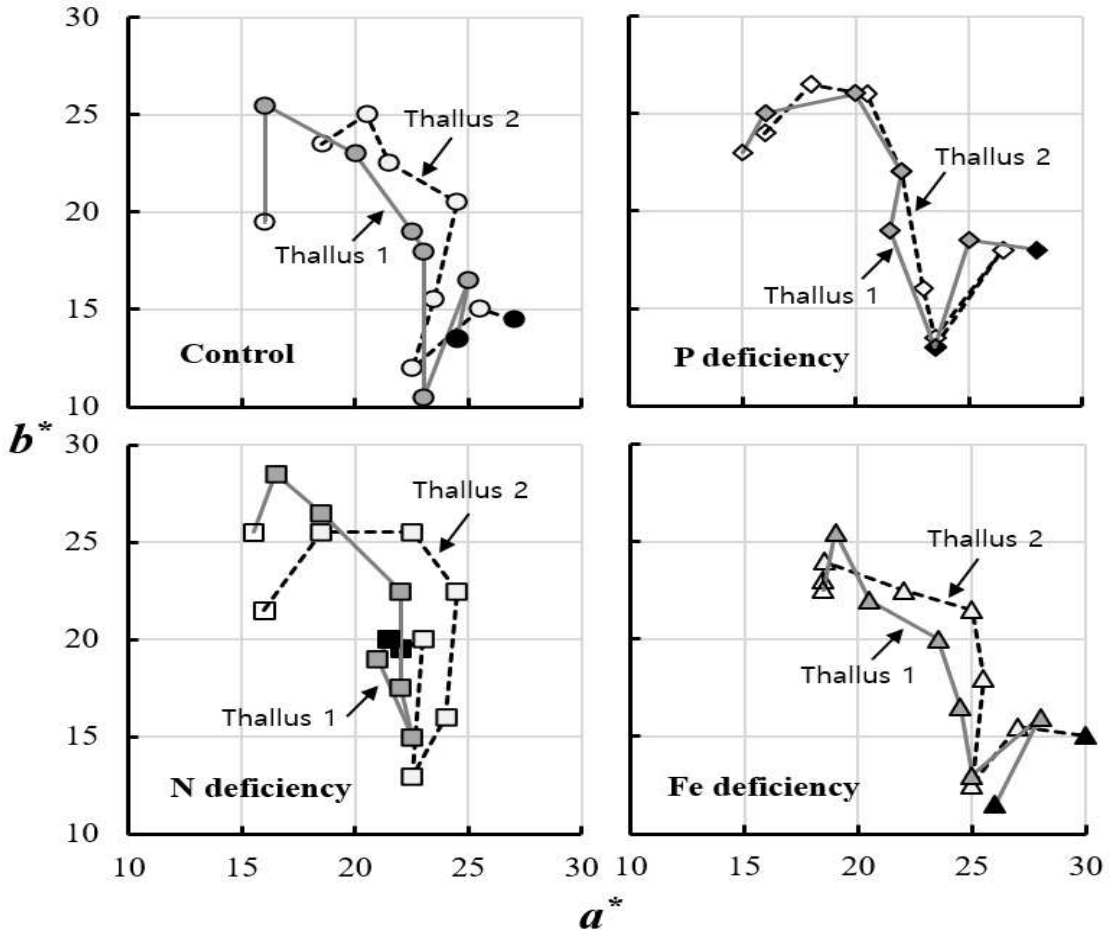


[Fig. 4] Lightness L^* values changes of the thallus of *N. yezoensis* under each nutritional deficient conditions by culture period.

실험 기간에 따른 배양조건별 명도 L*값은 원액 배양에서 약 45-50의 범위에 분포하였고, N, P 및 Fe 성분이 결핍된 배양조건에서의 명도 L*값은 약 30-40의 범위에 분포하여, 실험 기간의 경과에 따른 명도값의 변화는 30-50의 범위에서 일정하게 유지하는 결과를 보였다.

5. 엽체의 색채 a*, b* 값 변화

영양성분 조건에 따라 각각 배양한 엽체를 촬영한 화상에서 색채 a*, b*값의 변화를 [Fig. 5]에 나타내었다. 엽체의 색채값 a*, b*의 변화는 제1사분면의 a*, b*값이 모두 양수인 범위로 나타나 빨간색과 노랑색의 증감의 변화를 보였다.



[Fig. 5] Changes of digital color a^* and b^* values of the thallus of *N. yezeensis* under each nutritional deficient conditions by culture period (○□△◇: 0 day, start of culture. ●■▲◆: 14 days later, end of culture).

배양기간 경과에 따른 색채값의 분포는 원점을 중심으로 a^* 값은 15-30의 범위, b^* 값은 10-30의 범위에 분포하여 전반적으로 a^* 값의 변화폭 보다는 b^* 값의 변화폭이 큰 것으로 나타났다. 4개의 배양조건 모두에서 실험 기간의 경과에 따라 a^* 값이 증가한 결과를 보여 빨강색 방향으로 편중되는 경향을 나타내었다.

한편, b^* 값은 4개의 배양 조건 모두 배양 10일까지는 감소하였으나, 12일부터는 증가하여 노랑색이 감소와 증가가 10일을 기점으로 반전되는 결과를 보였다. 특히 N 성분 결핍의 경우는 10일

을 기점으로 빨강색 성분의 a^* 값은 감소하였으나 노랑색 성분 b^* 값은 증가하는 특이적 변화를 갖는 것으로 나타났다.

IV. 결론

방사무늬김 엽체의 성장과 색채 변화를 확인하기 위하여 원액 조건과 N, P 및 Fe 성분 결핍 조건으로 나누어 배양하였다. 엽체는 김의 생물학적 특성을 도출할 수 있는 기능을 갖고 있어 실험실에서 배양 및 양분의 공급조건에 따라 민감

한 생장 및 색채 변화를 관찰할 수 있다.

배양조건별로 방사무늬김 엽체의 색채 분석 결과, x 값은 0.3-0.36의 범위에 분포하였고, y 값은 0.23-0.32의 범위에 매우 밀집하게 분포하였다. 이 결과는 xy 색공간 평면에서 각각의 배양조건별로 색채값의 대부분이 겹쳐지는 부분이 많아 유사하거나 동일한 색채값으로 표현된 것으로, 인간의 육안에 의한 색채변화를 확인하기 어렵다는 것을 의미한다. 또한 xy 색공간은 디스플레이 장비나 인쇄 매체에 따라 색이 달라지므로(Choi, 1997), 김의 생장 단계에 따른 색채 판단을 위해서는 별도의 색공간을 도입하여 해석할 필요가 있다.

본 연구에서 사용한 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색 공간은 RGB나 CMYK와 달리 디바이스에 의존하지 않고 객관성이 보장되는 독립적 색공간이다. 색역은 컴퓨터 디스플레이나 인쇄 매체는 물론 인간이 지각할 수 있는 색역영역보다 크고, 명도 축인 L^* 값은 인간이 느끼는 밝기에 대응하도록 설계되었다. 본 연구의 명도 L^* 값은 배양기간의 경과에 따라 원액 조건의 경우, 약 45-50의 범위에서 분포하였고, 영양결핍 조건의 경우, 약 30-40의 일정한 범위를 갖고 변화하여 L^* 값의 변화폭이 좁은 것으로 나타나 엽체의 배양은 균일한 조건에서 이루어진 것으로 판단되었다.

한편 Lee et al.(2018)은 색차계를 이용한 방사무늬김의 황백화 평가에서 측정된 명도 L^* 값은 63-77의 범위에서 분포한 것으로 보고하였고, Lee et al.(2019A)는 실내 배양된 방사무늬김의 색채를 색차계로 측정된 결과, 명도 L^* 값은 79-86의 범위에 분포하는 것으로 보고하였다. 본 연구와 선행연구들의 명도값을 최대값으로 비교하면 20-30의 차이를 보여 선행연구의 엽체가 밝은 명도값을 갖는 것으로 나타났다. 이와 같은 차이는 엽체 원래 색이 어둡고, 밝은 명도 차이에 따른 형질의 특성이 반영된 것으로, 연구에서 사용된 엽체는 동일 종임에도 불구하고 서로 다른 구별성 또는 균일성을 갖는다는 것으로 해석할 수 있

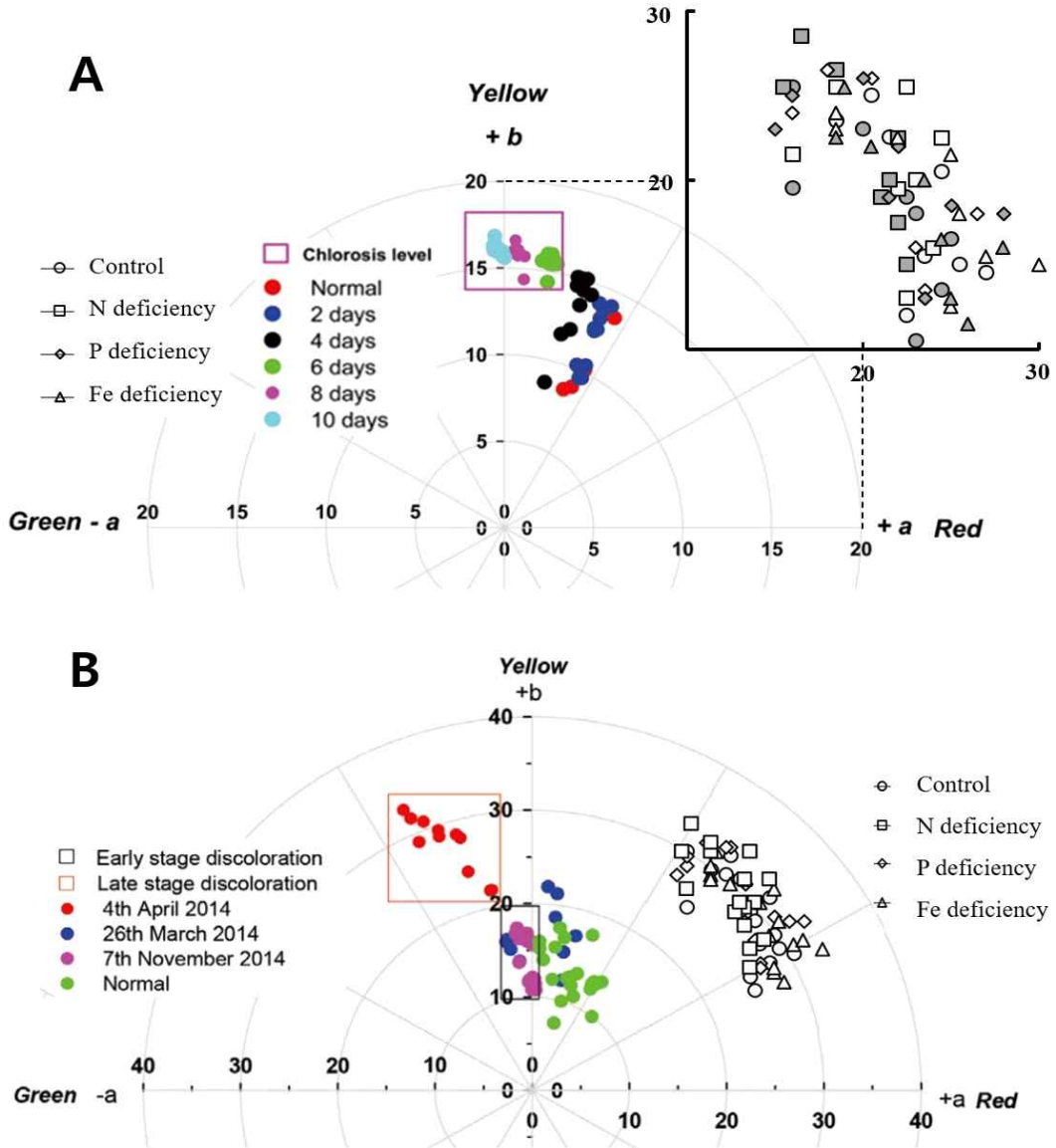
다. 즉, 선행연구는 김의 황백화로 인한 피코시아닌과 피코에리드린 색소의 감소 또는 20-50%의 낮은 색소 함량으로 인해 명도값이 밝게 측정된 것으로 사료된다(Lee et al., 2018). 또한 색채값 측정에 있어서 본 연구는 CCD 소자를 갖는 카메라로 간접 조명조건에서 대상물을 촬영한 화상으로부터 색채값을 추출하였고, 선행연구는 색차계를 사용한 레이저 반사에 의한 물체의 간접 측정으로 얻은 값을 사용한 차이점에 따른 것으로 사료된다. 이와 같은 측정 오차를 줄이기 위해서는 색차계를 사용하는 경우 표준시료에 대한 White 캘리브레이션이 매우 중요하며, 카메라 촬영은 환경광 분포에 따른 빛의 영향 등에 대한 고려가 필요하다.

배양조건에 따른 방사무늬김 엽체의 보정된 색채값 a^* , b^* 의 변화는 실험 기간의 경과에 따라 a^* 값이 증가하여 빨간색 성분이 증가하는 반면, b^* 값은 4개의 배양조건 모두, 배양기간 10일까지는 노란색 성분이 감소하였으나, 12일부터는 증가하는 경향을 보여, 노란색 성분은 10-12일을 기점으로 반전되는 결과를 보였다. 특히 N 성분을 제외한 경우는 10일을 기점으로 빨간색 성분의 a^* 값은 감소하였으나 노란색 성분 b^* 값이 증가하는 특이적 변화를 갖는 것으로 나타났다. Lee et al.(2018)은 빈영양 해수에서 10일간 배양한 방사무늬김 엽체에서 세포 내 액포의 증가와 함께 현저한 퇴색 현상이 나타나는 것을 보고함으로써, 엽체의 생장 변화는 10일을 기점으로 다른 변화를 갖는 것으로 사료된다.

Lee et al.(2019B)는 영양염 농도와 방사무늬김의 세포형태를 분석한 결과, 황백화는 DIN과 DIP의 농도가 각각 $5 \mu\text{M}$ 와 $0.4 \mu\text{M}$ 이하에서 발생한 것으로 보고하였다. 이를 종합하면 본 연구의 노란색 성분이 반전되는 배양기간 10일은 특정량의 영양염의 부족으로 인해 김 엽체의 색채변화에 영향을 줄 수 있는 기간으로 판단된다. 특히, 김 엽체의 색채 변화는 붉은색 계통 색소(피코시아닌과 피코에리드린)의 감소가 원인이며(Amano

and Node, 1987; Sakaguchi et al., 2003), 이들 색소의 감소는 무기영양분(질소, 인, 철)의 결핍에 의해 발생한다고(Ueki et al., 2010) 보고하였다. 또한, 인산 결핍시 양액 재배 토마토의 생육과정 중 즙액의 철이온 농도가 정상보다 10% 낮게 나

타나고, 과잉시 철의 농도는 증가한 것으로 보고 하였다(Kim, 2003). 이러한 인산 결핍 증상은 토마토에서 엽색이 열리는 결과로 나타났고, 본 연구에서는 엽장 또는 엽폭의 성장과 노란색 성분의 색채 b^* 의 변화로 나타난 것으로 판단된다.



[Fig. 6] Comparison of the thallus color distribution between previous studies A(Lee et al. 2018) and B(Lee et al. 2019A) and this study.

한편, Lee et al.(2018)은 색차계를 이용한 방사무늬김의 황백화 평가에서 측정된 색채값을 보고하였고, Lee et al.(2019A)는 실내 배양된 방사무늬김의 색채를 색차계로 측정된 결과를 보고하였다. 이들 연구와 본 연구에서 측정된 방사무늬김의 색채값 변화를 비교하였다([Fig. 6. A, B]). 선행연구와 본 연구에서 측정된 방사무늬김의 색채값 ΔE_{ab}^* 은 10 내지 20의 범위값을 갖는 것으로 나타나 본 연구와 Lee et al.(2018) 및 Lee et al.(2019A)에서 사용된 엽체와는 시각적으로 구분되는 서로 다른 특성의 색채를 갖는 것으로 확인되었다. 따라서, 색채값 a^* , b^* 값의 분포를 비교함으로써 김 엽체의 품종 구별성 또는 품질기준을 설정하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

디지털 색채 측정값을 이용하여 사물의 색을 판단하는 것이 인간의 시각적 판단에 비해 정량적이라는 것을 바다의 수색 및 광학적 수형을 디지털 색채 값으로 비교 판단한 실험 결과에서도 이미 확인되었다(Choi and Arakawa, 2009; Choi and Hwang, 2023; Choi, 2024; Jeong et al., 2024).

따라서 본 연구는 디지털 색채 분석을 이용한 판단수법을 발전시킴으로써 양식현장에서 김의 생장 및 품질평가를 육안분석 방법이 아닌 김 고유의 색채값 변화를 통해 판정할 수 있는 기준을 정립하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

Amano H and Noda H(1987). Effect of Nitrogenous Fertilization on the Recovery of Discolored Fronds of *Porphyra yezoensis*. *Botanica Marina*, 30, 467~473.

Chang YE and Kim JS(2011). Effects of Pretreatment and Drying Methods on the Quality and Physiological Activities of Garlic Powders. *Journal of the Korean Society Food Science and Nutrition*, 40, 1680~1687.

Choi ES(1997). *Digital Color and Color Management*. Yongjin publishing, Seoul, Korea, 78~116.

Choi SJ(2024). Analysis of Digital Water Color for

Light Fishing Grounds. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 57, 88~97.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0088>

Choi SJ and Arakawa H(2009). Assessment of Seawater Color by Digital Photographic Imagining. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42, 171~178.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.2.171>.

Choi SJ and Hwang SI(2023). Analysis of Optical Water Type Using of Digital Visualization. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(6), 923~929.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0923>.

Choi SJ and Shin JC(2003). *Color Engineering*. Kukje Publishing, Seoul, Korea, 177~189.

DeBoer JA(1981). Nutrients, In: *The Biology of seaweeds*. edited by Lobban CS and MJ Wynne, Blackwell, Oxford, England, pp. 356~391.

Heo JS, Park EJ, Hwang MS and Choi HG(2021). Effect of Shell-type, Light and Temperature on Shell Infiltration of Free-living *Conchocelis* of Three *Pyropia* species. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(1), 23~30.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0023>.

Jeong JM, Kim YH, Moon KJ and Choi SJ(2024). Determination of Maturity Gonads for White Croaker *Pennahia argentatus* Using Digital Color Analysis. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 57, 145~152.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0145>

Kim YR(2003). *Inorganic Nutrients Diagnosis of Hydroponic Culture Tomato Using a Sap Analysis*. Ph.D. Thesis, Cheju National University, Cheju, Korea.

Kim KI and Hong SD(2002). Relationship Between Soil Color Characteristics and Measurement Values by Colorimeter. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 35, 77~86.

Kotani M(2000). Numerical Index of Fading in Cultured *Porphyra* Lava. *Bulletin of Fukuoka Fisheries and Marine Technology Research Center*, 10, 49~50.

Lee SY, Kim YH, Kim SH and Yoo HI(2019A). A Study on the Recovery of Discoloration of *Pyropia yezoensis* in Laboratory Culture. *Korean Journal of Environmental Biology*, 37(4), 719~725.

- <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.719>.
 Lee SY, Kim YH, Lee JE and Hwang EK(2018). Evaluation of the Discoloration of *Pyropia yezoensis* Ueda Using a Colorimeter. Korean Journal of Environmental Biology, 36(4), 620~625. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.620>.
- Lee SY, Kim YH, Lee JE and Yoo HI(2019B). Effect of Marine Environmental Characteristics on a Discoloration Outbreak of *Pyropia yezoensis*. Korean Journal of Environmental Biology, 37(4), 535~544. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.535>.
- Lim SD, Kim KS, Kim HS, Chung SH and Kang TS(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 Journal of Dairy Science, 16(1), 92~98.
- Lobban CS and Harrison PJ(1994). Seaweed Ecology and Physiology. Chabridge University Press, Cambridge, 163~209.
- Morton MJ, Williams DL, Hjorth HB and Smith JH(2010). Machine-smoking Studies of Cigarette Filter Color to Estimate Tar Yield by Visual Assessment and Through the Use of a Colorimeter. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 56(3), 321~331. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.10.004>.
- Ohta, N(1993). Color Engineering. Tokyo Denki University Press, Tokyo, Japan, 115~170.
- Ozaki A, Mizuta H and Yamamoto H(2001). Physiological Differences Between the Nutrient Uptake of *Kjellmaniella crassifolia* and *Laminaria Japonica* (Phaeophyceae). Fisheries Science, 67(3), 415~419. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2001.00277>.
- Sakaguchi K, Ochiai N, Park CS, Kakinuma M and Amano H(2003). Evaluation of Discoloration in Harvested Laver *Porphyra yezoensis* and Recovery after Treatment with Ammonium Sulfate Enriched Seawater. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 69(3), 399~404.
- Shim JH, Hwang JR, Lee SY and Kwon JN(2014). Variations in Nutrients & CO₂ Uptake Rates of *Porphyra yezoensis* Ueda a Simple Evaluation of in situ N & C Demand Rates at Aquaculture Farms in South Korea. Korean Journal of Environmental Biology, 32(4), 297~305. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2014.32.4.297>.
- Shin HS and Park YS(2015). A Comparative Analysis on Complexion and Skin Color in 20s-30s and 40s-50s by Frequency of L*a*b values, Journal of Korea Society of Color Studies. 29, 103~113.
- Sung M, Kang HJ and Kim Y(2012). Relationship Between Physicochemical and Sensorial Properties of Red Pepper Powder Under Different Storage Conditions. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition, 41(10), 1423~1430.
- Ueki C, Murakami A, Katoh T, Saga N and Motomura T(2010). Effects of Nutrient Deprivation on Photosynthetic Pigments and Ultrastructure of Chloroplasts in *Porphyra yezoensis*. Nippon Suisan Gakkaishi, 76(3), 375~382.

-
- Received : 23 May, 2024
 - Revised : 24 June, 2024
 - Accepted : 04 July, 2024