

디지털 색채 분석을 이용한 보구치(*Pennahia argentatus*) 생식소의 성숙도 판정

정재묵 · 김영혜¹ · 문경진² · 최석진^{2*}

국립수산과학원 수산자원연구센터, ¹부경대학교 수산생명과학부, ²IPNAVI 국제특허법률사무소

Determination of Maturity Gonads for White Croaker *Pennahia argentatus* Using Digital Color Analysis

Jae mook Jeong, Yeonghye Kim¹, Kyoungjin Moon² and Sokjin Choi^{2*}

Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Republic of Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyung National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Ipnavi Patent Law Firm, Taejeon 35214, Republic of Korea

The present study investigated the digital color characteristics corresponding to different maturity stages and maturation levels of white croaker *Pennahia argentatus* specimens collected from the Southern Sea of South Korea. Maturity stages were determined using photomicrographs depicting ovarian developmental phases and compared with digital color values. The specimens ranged in body length from 21–36 cm, with mature ovaries observed within the 24–30 cm length range. To differentiate the maturing, mature, spawning, and post-spawning stages of the gonads, boundary lines were established based on specific coordinates. For the ovaries, a dividing line was drawn through (–10, –10) and (15, 5), described by the equation $Y=3/5X-4$; while for the testes, the line passed through (20, 0) and (0, 15), indicated by the equation $Y=-3/4X+15$. However, the visual determination of the maturity stages proved challenging due to overlapping color values. Consequently, this study underscores the efficacy of employing digital color measurements over subjective visual assessments to evaluate the maturity of white croaker gonads and offers more quantitative insights.

Keywords: *Pennahia argentatus*, CIE 1976 $L^*a^*b^*$, Color meter, Maturity determination

서론

보구치(*Pennahia argentatus*)는 농어목 (Perciformes) 민어과 (Sciaenidae)에 속하는 난류성 어종으로, 우리나라 동해의 경북 이남 해역 및 서해, 일본 남부 해역, 동중국해 등에 널리 분포하며, 연안 수심 40–100 m의 바닥이 모래나 펄인 곳에 서식한다 (NFRDI, 2004; Kim et al., 2005). 주로 중형 저인망, 연안복합, 안강망, 대형 저인망, 연승, 자망 등에 의해 어획되며(NFRDI, 2010), 백조기 또는 흰조기라고도 불리는 상업적으로 중요한 어종이다. 보구치의 어획량은 1995년 2,574 M/T으로 최고 수준에 이르렀다가, 2023년에는 430 M/T의 낮은 어획량을 기록하여(KOSIS, 1996), 수산자원의 적절한 관리와 보전이 필요하

다. 보구치에 관한 연구를 살펴보면, 일본 근해에 서식하는 보구치에 대해서 연령과 성장, 지리적 변이에 따른 성장, 생식주기 및 성숙도에 관한 연구(Higuchi et al., 2003; Yamaguchi et al., 2004, 2006) 등이 있다. 국내에서는 후기 자어의 먹이 선택성 및 식성에 관한 연구(Cha and Park, 2001; Koh et al., 2014) 등이 있으며, 1999년 보구치의 자원생태학적 연구(Baik et al., 1999; Kang et al., 1999; Zhang et al., 1999) 및 한국 연근해 보구치의 자원변동 예측(Lee and Zhang, 2001)에 관한 일련의 자원 생물학적 연구가 진행되었다. 한편, 보구치를 비롯한 연근해 수산자원 관리를 위한 어종의 성숙 및 산란기를 추정하기 위해서는 생식소속도 지수(gonadosomatic index, GSI), 간중량 지수(hepatosomatic index, HSI), 비만도 지수(condition factor,

*Corresponding author: Tel: +82. 42. 487. 2981 Fax: +82. 42. 487. 2982

E-mail address: sokjin@yahoo.co.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.2024.0145>

Korean J Fish Aquat Sci 57(2), 145-152, April 2024

Received 7 February 2024; Revised 2 April 2024; Accepted 18 April 2024

저자 직위: 정재묵(연구사), 김영혜(초빙교수), 문경진(기술경영사), 최석진(대표변리사)

CF)를 이용하는 방법과 생식소의 조직학적 분석 방법이 활용되고 있다(Kim et al., 2017). 특히 산란과 성숙에 관한 연구는 금어기 정책, 포획금지 체장 설정에 실질적으로 적용할 수 있는 매우 중요한 분야이다. 그러나 주요 수산자원의 산란기를 추정하기 위해서는 1년 주기의 표본을 확보하여 복측을 절개하고, 생식소를 적출하여 일정의 처리를 필요로 하므로, 신속한 결과를 얻기 위해서는 과학적 분석기법에 입각한 판단기법 등이 요구되고 있다.

따라서 수산자원 관리평가를 위해서는 현장에서 성숙 및 산란기를 보다 간편하게 측정할 수 있는 방법 또는 성숙도 측정시스템 개발이 필요하다. 본 연구에서는 현재 보편화된 색채공학(Ohta, 1993; Choi and Arakawa, 2009)을 이용한 성숙도 측정시스템 개발을 목적으로, 색차계를 사용하여 보구치의 성숙단계별 생식소의 색채값을 측정하여 보구치 생식소의 성숙단계별 고유의 색채값 자료를 제시하였다. 또한 생식소의 조직학적 분석방법을 통해 얻어진 성숙도 판정값과 비교 분석함으로써 보구치 생식소의 성숙도 판정을 기존의 조직학적 분석방법이 아닌 생식소 고유의 색채값만으로 성숙도를 판정할 수 있는 방법에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

실험어의 전처리 및 생식소의 조직분석

본 연구에서 사용된 실험어는 2015년 1월부터 12월까지 여수 주변해역에서 매월 저층 트롤(bottom trawl)에 의해 어획된 보구치(*P. argentatus*) 600개체를 이용하였다. 어획한 시료는 현장에서 빙장 처리하여 연구실로 운반한 뒤, 각 개체의 표준체장(standard length, SL)과 전체중량(total weight)을 측정하였다.

생식소 조직분석은 보구치의 복측을 절개하여 생식소(gonad)를 적출한 후, 해부현미경(LEICA L2; Leica, Heerbrugg, Switzerland) 아래에서 성별을 판별하였다. 이후, 정확한 색도를 측정하기 위해 표면의 혈액과 수분을 제거하였다. 실험어의 생식소 일부를 채취하여 Bouin's solution에 24시간 고정하였으며, 이후 수세와 탈수과정을 거쳐 포매후 5 μm 두께로 연속 절편하여 조직 표본을 제작하였다.

조직 표본은 xylene 용액에서 파라핀을 제거한 후, 알코올을 저농도에서 고농도 순으로 친수 과정을 거쳐 조직 내에 수분을 첨가시켰다. 그 후 진행성인 Mayer's hematoxylin에서 약 3분 동안 핵 염색한 후, 0.5% eosin에서 약 2분 동안 세포질 염색을 실시하였다. 탈수과정을 거쳐 malinol을 이용해 봉입하였다. 제작된 생식소 조직표본은 광학 현미경으로 검정하였다.

실험어 생식소의 색채 측정

실험어의 생식소 색채측정은 조직분석과 별개로 빙장한 개체의 생식소를 분취하여 사용하였다. 분취된 생식소는 백색도 85%의 백색 용지를 배경으로 하여, 백색용지 위에 생식소를 두

고, 형광등 조건의 인공조명 환경에서 색차계(TES-135, color meter gun type; TES Co., Taiwan)를 이용하여 생식소의 색채와 밝기를 측정하였다.

생식소의 색채 측정시 인공조명은 실험실의 천정에 설치되어 시료면에 45도의 각도로 조사하도록 시료의 위치를 확보하여 설정하였고, 측색계의 수광부는 인공조명을 고려하여 입사광과 시료면으로부터 반사된 빛과의 각이 45±10°의 범위를 유지하도록 고정하였다. 측정된 색채는 Run ColorAnalyzer 프로그램을 이용해 디지털 처리한 후, CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간, CIE 1931 XYZ 색공간의 색채값을 생식소의 색채분석에 사용하였다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003; Choi and Arakawa, 2009; Choi and Hwang, 2023). 또한, 측정된 색채값과 체장, 성별, 생식소 속도 자료를 추가하여 색도 값과의 관계를 분석하였다.

측정된 색채의 보정 및 생식소 성장단계별 색차 계산

실험어의 생식소로부터 측정된 화상으로부터 추출된 색채 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 값으로부터 측정 당시의 실험실 환경에 따른 색채값을 보정하였다. 백색 용지 위에 정지된 상태에서 촬영된 생식소의 색채 a^* , b^* 값은 실험실의 인공조명 및 실험테이블 등의 환경조건을 포함한 주변환경의 색채와 생식소의 색채 값이 합성 반영된 값이므로, 생식소의 순수한 색채는 환경 색채 a^* , b^* 값과 생식소를 측색한 생식소 부분의 색채 a^* , b^* 값을 각각 x_1 , y_1 , x_2 , y_2 라고 하면, 생식소의 순수한 색채 a^* , b^* 값 x , y 는 측정된 백색 용지의 색채 a^* , b^* 값과 생식소의 색채 a^* , b^* 값의 차로부터 구할 수 있다.

$$x = x_2 - x_1, y = y_2 - y_1 \dots\dots\dots (1)$$

CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간에 표시된 생식소의 발달 단계별 색채 값을 각각 L_1^* , a_1^* , b_1^* 및 L_2^* , a_2^* , b_2^* 라고 하면, 2개의 측색값 사이의 색차 ΔEab^* 는 다음 식에 따라 구하였다(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003).

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

단, $\Delta L^* = L_1^* - L_2^*$, $\Delta a^* = a_1^* - a_2^*$, $\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$

다만, 본 연구에서 L_1^* 와 L_2^* 는 각각 생식소 측정 광 환경이 동일하므로 ΔL^* 값은 0으로 하였다. 성숙도 판정은 생식소로부터 얻어진 각각의 색채 a^* , b^* 값과 생식소 성장 단계별 색채 a^* , b^* 값과의 사이에서 계산된 색차 ΔEab^* 값이 최소인 경우를 측정 대상 생식소의 성숙지수로 판정하였다. 단, 서로 이웃하는 2개의 색채 값과 색차 ΔEab^* 의 최소값이 동일한 경우, 성숙지수는 2개의 성숙 발달이 빠른 지수로 판정하였다(Choi and Arakawa, 2009).

결과 및 고찰

실험어의 체장별 분포 및 성숙도

실험에 사용된 보구치 암, 수의 체장빈도 및 성숙도로 판단된 난소, 정소의 체장을 측정된 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 측정된 보구치의 체장범위는 18–36 cm, SL범위에 분포하였고, 평균적으로 24–30 cm, SL 범위에 분포하였다. 성숙된 난소, 정소를 갖는 것으로 판정된 보구치의 암, 수별 체장은 21–36 cm, SL 범위에서 분포하였고, 빈도가 높은 범위는 체장 24–30 cm, SL 범위

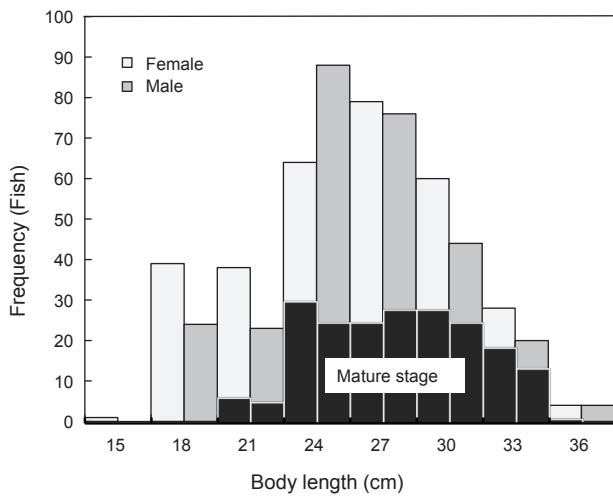


Fig. 1. Frequency distribution of body length and frequency of mature stage by body length for *Pennahia argentatus*.

의 체장에서 성숙된 난소와 정소를 갖는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 보구치가 연령에 따라 성숙개체 비율과 산란율이 달라지기 때문에(Jeon et al., 2020) 암컷과 수컷의 성숙 체장을 함께 측정함으로써, 월별 보구치 생식소의 색채값 판단에 대한 오차를 보정하는데 사용될 수 있다.

실험어의 성장단계별 난소 조직 변화

육안에 의한 보구치 난소의 숙도 단계는 난소의 외부형태 및 생식소 크기, 색조와 난의 투명상태, 난립의 크기 등에 따라 일반적으로 미숙(immature), 중숙(maturing), 완숙(mature), 방중(spawning), 방후(spent)의 5단계로 구분하고 있다(Jeon et al., 2020). 본 연구에서는 생식소의 발달 단계에 따른 색채 값을 목적으로 하므로, 미숙기(immature stage), 중숙기(maturing stage), 성숙기(mature stage), 완숙기(spawning stage), 회복기(spent stage)의 5단계로 분류하였다.

보구치 암컷 난소의 성장단계별 육안관찰과 조직분석을 수행하였다(Fig. 2). 육안관찰에서 미숙단계는 난립이 전혀 보이지 않았으며, 투명하고 연한 분홍색을 띠었다. 중숙단계는 노란색을 띄면서 작은 난립이 보이기 시작하였으며, 성숙단계에서는 난립의 크기가 더 커지고 색이 진해졌다. 완숙단계는 투명하고 큰 알들이 대부분을 차지하였고, 복부를 압박하면 난이 방출되었다. 회복기(spent)에는 난소의 크기가 작아지고, 적갈색을 띄며 일부 잔여 난들이 보였다. 이와 같은 난소 육안관찰 결과는 다른 어류들과 유사한 결과로 많은 경골어류에서 나타나는 특징으로 판단된다(Jeon et al., 2020; Kim et al., 2020)

조직분석 결과, 미숙기의 난소는 서서히 생식소의 형태를 갖추기 시작하며, 난세포질이 강한 초염기성을 나타내고, 핵 내부

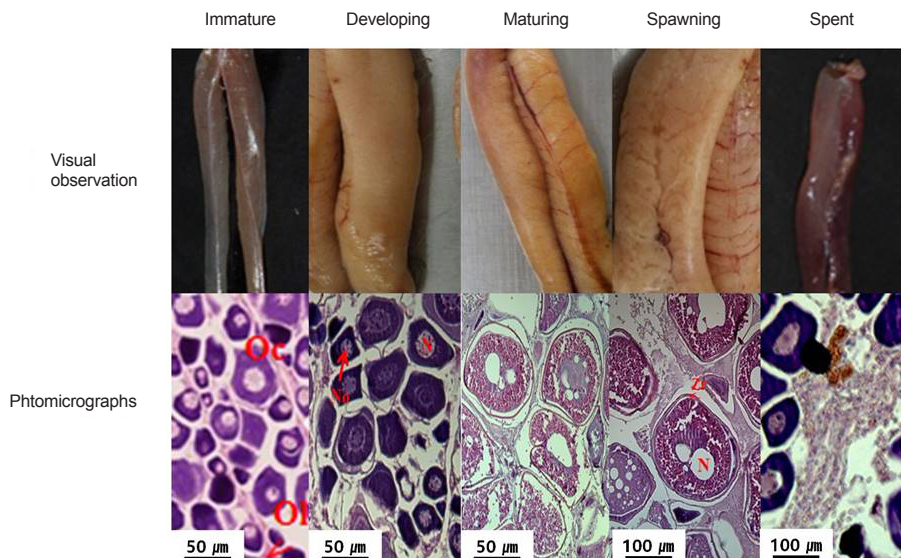


Fig. 2. Photomicrographs depicting ovarian developmental phases of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea (scale bar, 50 μ m).

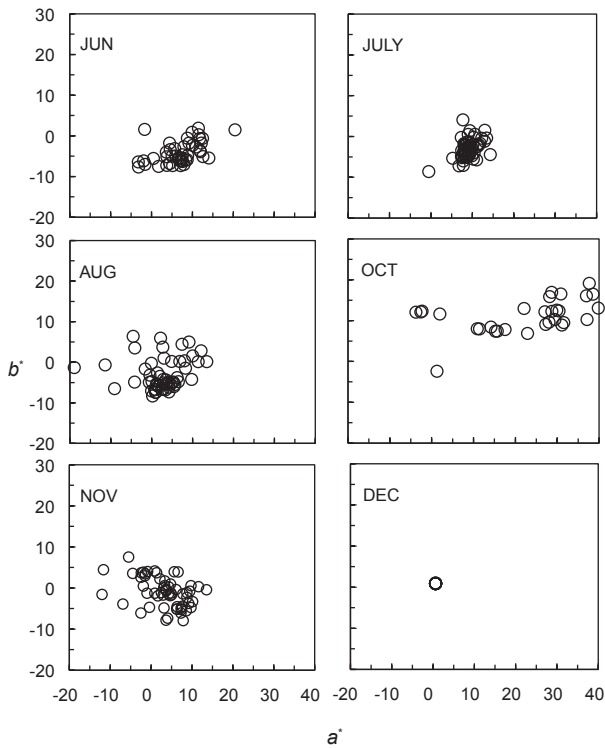


Fig. 3. Monthly changes in digital color values in the ovaries of *Pennahia argentatus*.

에는 인이 나타나며, 중숙기에는 생식소가 비대해지고 핵주변으로부터 공포상의 난황포가 형성되며, 과립상의 난황구들이 난세포질에 축적된다. 성숙기에는 크게 성장한 난모세포 전체에 난황이 가득 차 있고, 여러 개의 크고 작은 유구를 확인할 수 있었다. 완숙기에는 난소 소낭에 봉긋된 난과 아직 방란되지 않은 완숙란이 관찰되었으며, 세포질 전체에 난황구가 불규칙하게 흩어져 있었다. 핵과 세포질의 경계는 흐려지고, 여포 세포층과 난막은 점차 명확해졌다. 회복기에는 일부 방란되지 않은 완숙난들이 퇴화, 흡수되었고 주변에 작은 초기 난모세포들이 다시 관찰되었다(Fig. 2).

보구치 난소의 월별 색채 변화

보구치 난소의 월별 색채값 측정 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 보구치 난소를 확인할 수 있었던 기간은 6월에서 12월까지로, 우리나라 연안에서 산란과 회복을 하는 기간이다. 6월에 측정된 난소의 색채값은 주로 원점을 기준으로 제4사분면에 a^* 축에서 $-b^*$ 축 방향으로 향하는 경사를 갖고 분포하였다. 7월의 색채값은 6월에 측정된 값과 분포구간과 일부 겹치고 있으나, 6월에 측정값의 분포범위에서 a^* 축 방향으로 밀집 분포되는 경향을 보여 특정한 색으로 변화되는 것으로 나타났다. 8월의 경우에도 많은 개체가 제4사분면에 분포하고 있으나, 6, 7월에 비해 $-a^*$ 축 방향과 b^* 축 방향으로 분포범위가 넓어지는 것으로 나타났다. 10월

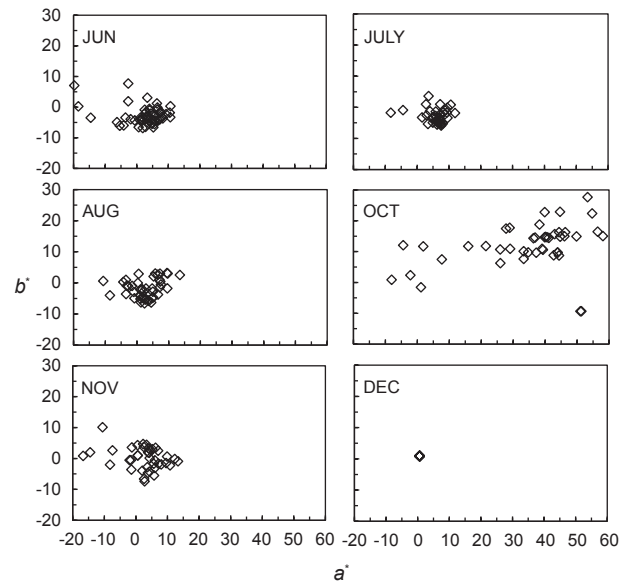


Fig. 4. Monthly changes in digital color values in the testes of *Pennahia argentatus*.

에는 제1사분면에 a^* 축 방향으로 넓게 분포하고 있어, 이전의 6월에서 8월에 측정된 색채 범위 값과는 유의적인 차이를 보였다. 11월의 색채값은 8월과 비슷한 분포를 보이나, 원점을 중심으로 a^* 축 방향으로 분포범위가 확장되는 경향을 보였다. 12월은 원점에 가까운 제1사분면에 분포하였고, 이 시기 생식소의 형태를 살펴보면 산란은 모두 완료되었으며 회복 및 휴지기인 것으로 확인되었다.

한편 본 연구에서는 9월의 보구치 난소 색채값 측정자료를 색차계의 데이터 처리 오류로 확보할 수 없었다. 그러나 8월과 10월의 보구치 난소 색채값 측정자료의 상관관계 회귀곡선 그래프의 이동경향을 토대로 9월의 색채값 분포를 특정할 수 있는 것으로 판단되었다. 즉, 8월과 10월의 보구치 난소 색채값은 제1사분면에서 회귀곡선 $Y = -0.0075X^2 + 0.66X - 2.26 (R^2 = 0.62)$ 의 회귀선상에서 분포하므로 8월과 10월을 구분하는 좌표 (10, 5)에서 10월 분포가 밀집되는 (25, 10)의 회귀곡선 방향으로 분산되어 분포 변화하는 것으로 유추할 수 있다.

Fig. 4는 보구치 정소의 월별 색채값 측정 결과를 나타냈다. 보구치에서 정소를 확인할 수 있었던 기간은 6월에서 12월까지로 이 기간은 우리나라에서 보구치의 정소가 성숙하여 방정하는 기간이다. 측정된 정소의 색채값을 살펴보면, 6-8월, 11월은 원점을 기준으로 제1사분면 또는 제4사분면에 분포하고 있고 변화 범위도 큰 차이가 없다. 그러나, 10월의 경우, 제1사분면에서 a^* 와 b^* 값이 증가하는 방향으로 분포하여 6-8월 및 11월의 색채값과 차이를 보였다.

이와 같은 6-8월과 11월의 색채값이 10월의 색채값과 좌표상에서 이분적으로 분리되는 원인은 암컷과 달리 수컷의 정소 색

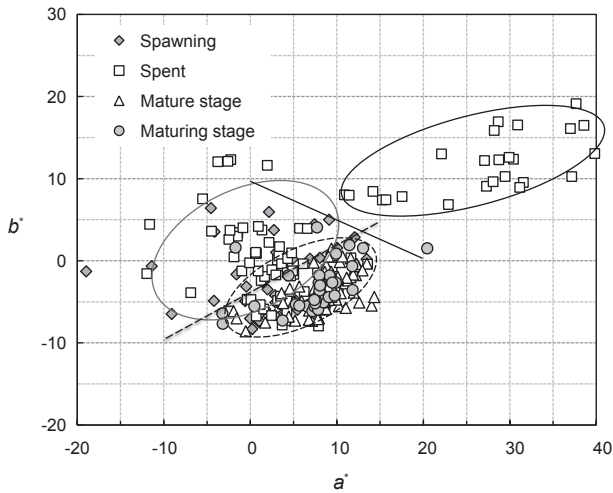


Fig. 5. Changes in digital color values at each stage of ovaries maturation in *Pennahia argentatus*.

채는 월별 성숙에 따라 거의 변화가 없어, 생식소의 구분단계를 성숙단계와 방정 또는 방중 단계로 구분될 수 있음을 시사한다. 따라서 6월에서 9월은 정소를 성숙시키는 단계, 10월은 방정이 시작되는 단계, 11월을 방정 중의 시기로 구분될 수 있다. 12월의 색채값은 원점부근에서 측정되어 보구치 정소가 성숙과 방정이 모두 완료된 것으로 판단된다.

생식소의 성숙단계별 색채 변화

성숙단계를 난소의 외부형태에 따라 육안으로 분류한 후, 색차계로 측정된 성숙 단계별 색채값 분포를 정리하여 Fig. 5에 나타냈다. 본 연구에서는 난소의 성숙단계를 중숙기(maturing stage)에 해당하는 중숙, 성숙기(mature stage)에 해당하는 성숙, 완숙기(spawning stage)에 해당하는 방중, 회복기(spent stage)에 해당하는 방후로 대응되도록 분류하여 각 성숙단계별 색채값을 색도좌표 평면상에서 나타내어 변화경향을 살펴 보았다.

중숙, 성숙단계의 색채값은 제4사분면을 중심으로 일정한 범위 안에서 분포하는 것으로 나타났다. 색채로는 분홍색을 띤 흰색의 색채범위를 갖는 것으로 나타났다. 방중(spawning)단계의 색채값은 일정범위에 분포하지 않고 원점을 중심으로 제1-4 사분면에 분산하여 분포하는 것으로 나타났다. 방후(spent)의 색채값은 좌표평면 제4사분면에서 시작하여 원점 방향으로 이동하여 원점을 중심으로 분포한 후, a*값과 b*값이 증가하는 제1사분면으로 이동하였다. 색채로는 분홍색에서 흰색을 거쳐 주황색 방향으로 이동하는 결과를 나타냈다.

이와 같이 같은 생식소 성숙단계에서 색채 값이 넓은 범위에 분산되어 나타나는 것은 색채값 측정 후 육안으로 성장단계를 정할 때, 발생하는 편차 또는 오차에 기인한 것으로 판단된다. 또한 난소의 성숙 단계별 색채값을 월별 색채값 변화와 비교해

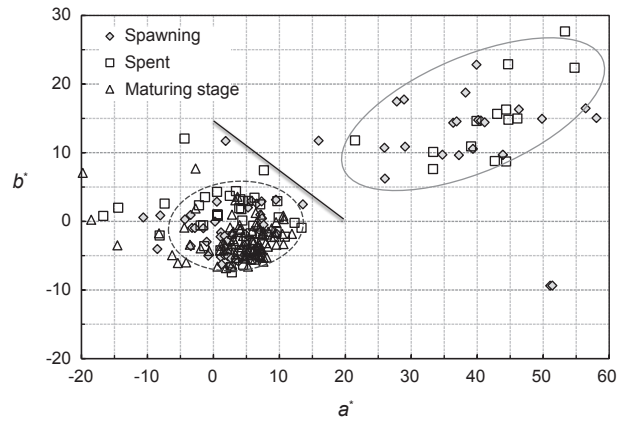


Fig. 6. Changes in color values at each stage of testes maturation in *Pennahia argentatus*.

보면, 중숙은 6월, 성숙은 7월, 방중은 8월, 방후는 10월 또는 11월과 그 값이 유사하여 생식소의 성숙단계는 월별 색채값과 대비되었다.

생식소의 성숙단계를 정소의 외부 형태에 따라 육안으로 분류한 후 색차계에 의한 색채 값을 측정하여 보구치 정소의 성숙 단계별 색채값 분포를 정리하여 Fig. 6에 나타냈다. 본 연구에서는 난소의 성숙 단계를 방정 시기를 추정하기 위한 목적에 맞추어 방정 전의 단계와 방정 단계 및 방정 후 단계로 분류하였다. 정소의 성숙단계별 색채값의 좌표 분포는 제4사분면에서 시작하여 원점 방향으로 이동하여 원점을 거쳐 a*값과 b*값이 증가하면서 제1사분면으로 넓게 분포하였고, 색채로는 빨간색을 띤 분홍색에서 흰색을 거쳐 노란색을 띤 주황색방향으로 이동하는 결과를 보였다.

정소의 성숙단계에 따라 일부 측정 값들이 동일한 발달 단계임에도 불구하고 서로 다른 사분면 범위에서 나타났으며, 이와 같은 값의 차이는 방정 전까지 크게 차이가 나지 않는 색채 때문인 것으로 판단된다. 또한 월별 색채값 변화 결과와 비교하여 발달 단계를 살펴보면, 6월에서 8월은 성숙, 10월은 방중, 11월은 방후로 구분되며, 방후로 구분된 11월은 숙성단계의 색채값과 유사하여 생식소의 성숙단계는 방정 후 제1사분면의 원점방향으로 이동하는 것으로 추정되었다. 이와 같은 결과로 볼 때 색차계를 이용한 생식소 성숙도 판별은 수컷보다 암컷이 유리한 것으로 판단되었다.

생식소의 색채 값 분석에 따른 성숙도 판단

색채 값 분석을 이용한 난소의 성숙도 판정을 위한 색채 값 판단 기준을 Fig. 5의 그림 상에 나타냈다. 성숙, 중숙 단계와 방중, 방후를 구분하는 경계는 두점의 좌표 (-10, -10), (15, 5)를 지나는 일차 직선, Y=3/5X-4을 기준으로 좌, 우측으로 구분되는 것을 알 수 있었다. 또한 방중과 방후는 일부분이 겹치는 부분이 존재하나 방중 단계와 방후 단계의 중심을 이루는 색차

값 ΔEab^* 이 30 이상을 나타내므로, 서로 다른 색채로 판단된다(Choi and Arakawa, 2009; Choi and Hwang, 2023). 색차값의 차이를 반영하면 방중, 방후를 구분하는 경계는 두점의 좌표 (20, 0), (0, 10)을 지나는 일차 직선, $Y = -1/2X + 10$ 을 기준으로 좌, 우측으로 구분 가능하였다. 즉, 직선 $Y = -1/2X + 10$ 을 기준으로 우측편에는 방후 단계만이 존재하나 좌측에는 방중과 방후 단계로 판단한 개체군들이 혼재하고 있다. 좌측 부분의 색채 값들은 육안 관찰시 방중 단계를 방후로 판단하거나 또는 방난을 시작한 초기 단계를 방중 단계로 판단한 것으로 사료된다. 이와 같이 특정의 직선으로 성숙단계의 구분이 가능한 것은 육안 관찰에 의한 보구치 생식소의 성숙단계 판단이 주관적 시각에 따라 인지된 모양과 형태 등의 정보를 종합적으로 고려하여 판단함에 따라 방중과 방후 단계에서 많은 오류가 발생한 때문으로 보인다. 따라서 사물의 모양과 형태를 배제하고 기계적으로 측정된 디지털 색채값만을 기준으로 성숙단계를 구분한다면 이와 같은 오류는 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

색채 값 분석을 이용한 정소의 성숙도 판정을 위한 색채 값 판단 기준을 Fig. 6의 그림 상에 나타냈다. 숙성단계와 방중단계를 구분하는 경계는 두점의 좌표 (20, 0), (0, 15)를 지나는 일차 직선, $Y = -3/4X + 15$ 을 기준으로 좌, 우측으로 구분되는 것을 알 수 있다. 방중과 방후는 색차 값의 일부가 겹치는 부분이 존재하나 방중 부분과 방후 부분의 중심을 이루는 색차값 ΔEab^* 이 35 이상을 나타내므로, 서로 다른 색채로 고려해야 한다는 점을 반영하면, 관찰자가 방중 단계의 정소를 방후로 판단한 것으로 사료된다. 또한 숙성단계와 방중단계의 구별은 중심좌표(3, -2)를 기준으로 반경 6.5를 갖는 원 내부에 분포하는 것을 알 수 있다. 특히 방후와 숙성단계의 분포는 월별 시기를 고려하면 색채 값이 겹쳐지더라도 용이하게 구분할 수 있는 것으로 판단된다. 즉, 색채 값의 결과로는 방후와 성숙단계를 구분할 수 없으나, 어획시기와 색채 값을 고려함으로써 성숙단계를 구분할 수 있는 것으로 판단된다.

이와 같이 보구치 난소를 육안 관찰한 경우, 성숙단계를 성숙과 증숙을 구분하여 판단하였고, 보구치 정소의 경우, 성숙단계를 방중과 방후를 구분하여 판단하였다. 이러한 결과는 주관적 시각이 모양과 형태를 종합적으로 고려함으로써 동일한 성숙단계를 서로 다른 성숙단계로 판단한 오류일 가능성이 현저하다. 특히 육안 관찰을 통한 판단 결과가 색차값 ΔEab^* 이 35 이상인 경우도 동일한 성숙단계로 판단한 것은 디지털 색채 측정값만을 이용하여 사물의 색을 판단하는 것이 주관적 시각판단에 비해 정량적이라는 것을 반증한다. 본 연구와 같이 디지털 색채 측정값을 이용하여 사물의 색을 판단하는 것이 주관적 시각판단에 비해 정량적이라는 것은 선행연구 결과에서도 확인되었다(Choi and Arakawa, 2009; Chio and Hwang, 2023). 특히 색차계를 이용하여 측정된 색채값은 육안 관찰을 통한 색평가의 한계를 극복할 수 있는 방법으로 의료(Shin and Park, 2015), 가공식품(Lim et al., 1994; Sung et al., 2012), 농업(Kim and Hong,

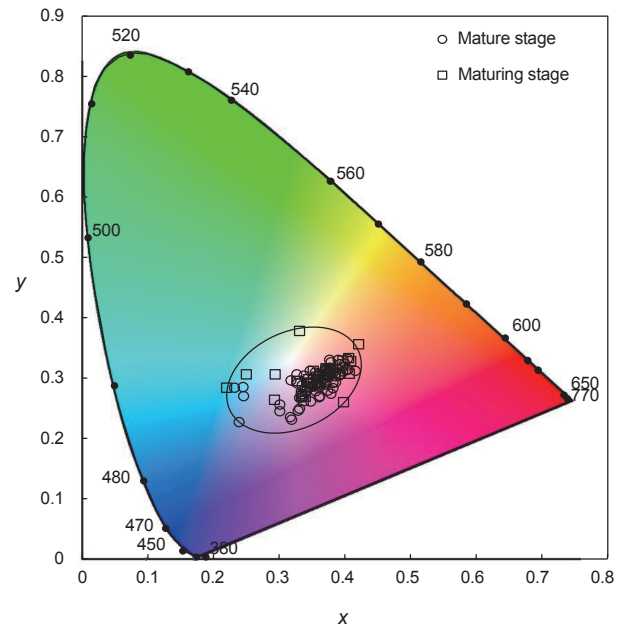


Fig. 7. Change in xy color values at the maturing and mature stage of ovaries maturation of *Pennahia argentatus*.

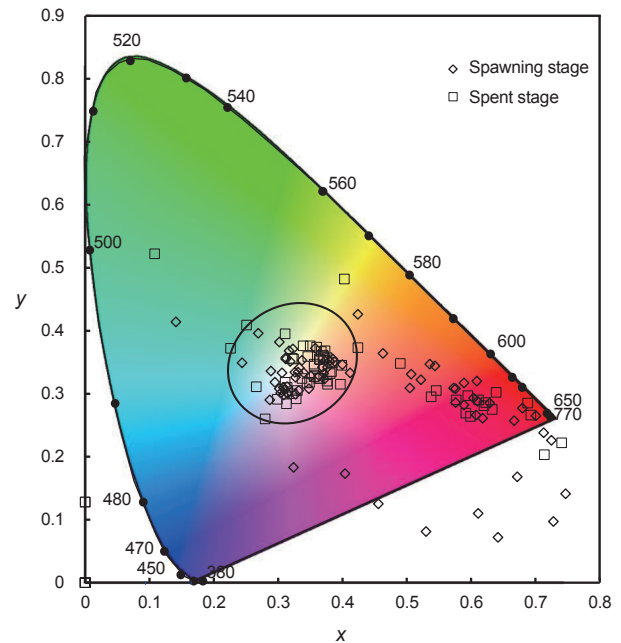


Fig. 8. Change in xy color values at the spawning and spent stage of testes *Pennahia argentatus*.

2002; Morton et al., 2010; Chang and Kim, 2011) 및 산업재료(Kwon et al., 2011; Lee et al., 2018) 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 따라서 디지털 색채 분석을 이용한 생식소 판단수법

은 매년 산란기마다 수산생물을 확보하여 복측을 절개하여 생식소를 적출한 후, GSI, HSI, CF 또는 생식소의 조직학적 분석을 해야 하는 현재의 산란기 추정방법에 따른 시간과 노력을 줄일 수 있을 것이다.

CIE 1931 XYZ 색공간의 생식소의 색채 값 분석

보구치 난소의 성장단계를 중숙과 성숙 단계로 판단한 결과의 색채 값을 별도의 CIE 1931 XYZ 색공간으로 정리하여 Fig. 7에 나타냈다. 중숙과 성숙 단계로 판단한 색채 값의 분포는 대부분이 백색을 기준으로 붉은 빛을 띠는 방향으로 편향되어 겹치는 경우가 많았다. 일부 색채 값이 파랑계열 초록계열로 분산된 경우도 있으나, 대부분의 색채 값이 적색계열의 일정 범위에 분포함으로써 유사한 색채 값을 나타내어 색차에 의한 중숙과 성숙 단계의 구분은 매우 어려운 것으로 나타났다. 따라서 색차 값으로 생식소의 발달 단계를 판단하는 경우, 중숙 단계와 성숙 단계는 별도의 단계로 구분할 것이 아니라, 하나의 성숙 단계로 정하여 판단하는 것이 정량적인 방법으로 사료된다

보구치 정소의 성장단계를 방중과 방후로 판단한 결과의 색채값을 별도의 CIE 1931 XYZ 색공간으로 정리하여 나타냈다 (Fig. 8) 방중과 방후의 값의 색채값 분포는 백색 부분에서 대부분이 겹치는 개체수가 많고 분홍색에서 빨간색부분으로 확대되는 모양을 나타내고 있다. 따라서 수컷의 포획 측정 시기가 동일하다면 백색부분의 방중과 방후를 성숙 또는 방후로 판단해야 하고, 분홍색에서 빨간색 부분에 분포하는 색채값은 다른 성장단계의 색채값과 구별되는 색차값 ΔE_{ab}^* 을 가지므로, 방중 또는 별도의 성숙단계로 판단하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 또한 방중 단계와 방후 단계는 육안 관찰에 의한 주관적인 값을 고려할 것이 아니라 기계적 색채 값으로 분포 영역을 분리하여 성장단계를 판단하는 것이 정량적인 측정방법으로 사료된다.

이상의 결과들이 반영된 성숙단계별 색채값이 프로그래밍된 성숙도 측정 색채계가 완성된다면, 현장에서 수산자원 관리평가를 위한 성숙 및 산란기를 보다 간편하게 확인할 수 있을 것이다. 또한 현장의 어업인은 간단한 색차계를 운용하는 것만으로 어획생물의 산란과 성숙에 관한 상태를 신속하게 확인하고 측정된 자료를 수산자원 관리정보로 제공함으로써 금어기 해제 및 설정 등의 판단에 실질적 자료로 이용할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2024년도 국립수산물관리원 수산과학연구소(2024001)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

Baik CI, Hwang KS, Park JH, Kang YJ and Zhang CI. 1999. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus*

- argentatus* Houttuyn in Korean waters I. Distribution pattern. J Korean Soc Fish Res 2, 44-53.
- Cha SS and Park KJ. 2001. Feeding selective of postlarvae of white croaker *Argyrosomus argentatus* in Kwangyang Bay, Korea. J Korean Fish Soc 34, 27-31.
- Chang Y and Kim K. 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. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.12.1680>.
- Choi SJ and Shin JC. 2003. Color Engineering. Kukje Publishing, Seoul, Korea, 177-189.
- Choi SJ and Arakawa H. 2009. Assessment of seawater color by digital photographic imaging. J Kor Fish Soc 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 J Fish Aquat Sci 56, 923-929. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0923>.
- Higuchi T, Yamaguchi A and Takita T. 2003. Age and growth of white croaker, *Pennahia argentatus*, in ariake sound, Japan. Bull Fac Fish Nagasaki Univ 84, 47-51.
- Jeon BS, Choi JH, Im YJ, Lee HW and Kim JW. 2020. Maturity and spawning of white croaker *Pennahia argentatus* in the Southern Sea of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 53, 36-42. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0036>.
- Kang YJ, Kwon DH and Zhang CI. 1999. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus* Houttuyn in Korean waters. III. Maturation and spawning. J Korean Soc Fish Res 2, 61-67.
- Kim KI and Hong SD. 2002. Relationship between soil color characteristics and measurement values by colorimeter. Korean J Soil Sci Fert 35, 77-86.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fish. Kyohaksa Press, Seoul, Korea.
- Kim JG, Reu DS and Park JY. 2017. Oogenesis of *Microphysogobio yaluensis* (Pisces, Cyprinidae) in the Korean endemic species. Korean J Ichthyol 29, 252-257.
- Kim SR, Kim JJ, Park HW, Kang SK, Cha HK and Baek HJ. 2020. Maturity and spawning of the chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters. Korean J Fish Aquat Sci 53, 9-18. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0009>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 1996. Statistics Database for Fisheries Production. Retrieved from <http://kosis.kr/statHtml/> on Jan 25, 2024.
- Koh EH, An YS, Baeck GW and Jang CS. 2014. Feeding habits of white croaker *Pennahia argentata* in the coastal waters off Sejon island, Korea. J Kor Soc Fish Tech 50, 139-146. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.2.139>.
- Kwon KJ, Park MK, Park SI and Noh KH. 2011. A study on the comparison of correlated color temperature measured by colorimeter and spectrophotometer. In: Proceeding Of KIIIE Annual Spring Conference. Muju, Korea, 120-121.

- Lee SI and Zhang CI. 2001. Prediction of the variation in annual biomass of white croaker *Argyrosomus argentatus* in Korean waters using Leslie matrix. J Korean Fish Soc 34, 423-429.
- Lee SY, Kim YH, Lee JE and Hwang EK. 2018. Evaluation of the discoloration of *Pyropia yezoensis* ueda using a colorimeter. Korean J Environ Biol 36, 620-625. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2018.36.4.620>.
- 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 J Dairy Sci 16, 92-98.
- Morton M, 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. Regul Toxicol Pharmacol 56, 321-331. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.10.004>.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2004. Commercial Fishes of the Coastal and Offshore Water in Korea. NFRDI, Busan, Korea.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2010. Korea Coastal and Offshore Fishery Census. NFRDI, Busan, Korea.
- Ohta N. 1993. Color Engineering. Tokyo Denki University Press, Tokyo, Japan, 115-170.
- 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. J Korean Soc Color Stud 29, 103-113. <http://dx.doi.org/10.17289/jkscs.29.2.201505.103>.
- Sung M, Kang HJ and Kim Y. 2012. Relationship between physicochemical and sensorial properties of red pepper powder under different storage condition. J Korean Soc Food Sci Nutr 41, 1423-1430. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2012.41.10.1423>.
- Yamaguchi A, Kume G, Higuhi T and Takita T. 2004. Geographic variation in the growth of white croaker, *Pennahia argentata*, of the coast of northwest Kyushu, Japan. Environ Biol Fish 71, 179-188. <https://doi.org/10.1007/s10641-004-0297-2>.
- Yamaguchi A, Takita T and Kume G. 2006. Reproductive cycle, sexual maturity and diel reproductive periodicity of *Pennahia argentata*, in Ariake Sound, Japan. Fish Res 82, 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.08.012>.
- Zhang CI, Kang YJ and Lee MW. 1999. A population ecological study of white croaker *Argyrosomus argentatus*, HOUT-TUYN in Korean waters. IV. Population ecological characteristics and biomass. J Korean Soc Fish Res 2, 68-76.