

디지털 색채 분석을 이용한 민어(*Miichthys miiuy*) 생식소의 성숙도 판정

정재묵 · 김영혜¹ · 문경진² · 최석진^{2*}

국립수산과학원 수산자원연구센터, ¹부경대학교 수산생명과학부, ²IPNAVI 국제특허법률사무소

Determining of Maturity Gonads for Brown Croaker *Miichthys miiuy* 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

This study investigated the digital color profiles corresponding to different maturity stages and levels of brown croaker *Miichthys miiuy* specimens collected from the Southern Sea of South Korea. Maturity stages were determined using photomicrographs of ovarian developmental phases, which were compared with digital color values. Brown croaker specimens ranged from 24 to 81 cm in standard length; mature ovaries were predominantly observed in specimens that exceed 40 cm in length. Monthly ovary color values were primarily concentrated in the 1st and 4th quadrants, with both a^* and b^* values falling within a range of ± 15 centered on the origin. Similarly, the testes color values were predominantly situated in the 4th quadrant, with a^* and b^* values ranging from -5 to 15 and 10 to 14, respectively. While the color values of the mature and spawning stages overlapped within a narrow range, distinguishing between them required both the color value and monthly color value distribution to be considered. Thus, this study underscores the efficacy of digital color measurements for assessing brown croaker gonad maturity, and provides more quantitative insights compared to subjective visual assessments by humans.

Keywords: *Miichthys miiuy*, CIE 1976 $L^*a^*b^*$, Color meter, Maturity, Determination

서론

민어(*Miichthys miiuy*)는 농어목(Perciformes) 민어과(Sci-aenidae)에 속하고 체장 120 cm TL (total length), 이상 성장하는 어류로 우리나라 남해와 서해, 일본 서남부, 남중국해에 분포하며, 저질이 사니질과 펄질인 곳에 주로 서식한다(Kim et al., 2005). 부화한 민어 자치어는 강 하구의 기수까지 이동하고, 가을이 되면 남하하여 제주도 서방해역에서 월동한 후 봄이 되면 다시 북쪽으로 이동한다. 산란기는 7-9월의 여름철로서 남쪽이 빠르고 북쪽일수록 늦으며, 한국 서해에서는 인천, 덕적도 앞바다가 주 산란장으로 알려져 있다(NRIFD, 2004). 민어와 관련한 선행연구를 살펴보면, 국외에서는 계통발생에 대한 유전자 분석(Cheng et al., 2010), 소화기의 발생학적 발

달 및 기아의 영향(Shan et al., 2009), 번역 유전자 동정(Xu et al., 2010) 등이 있다. 국내 연구로는 생식소 발달(Park et al., 2007a), 서해안 민어의 산란특성과 부화에 미치는 염분의 영향(Yoon et al., 2006a), 체성분 및 탄력의 계절적 변화(Yoon et al., 2006b), 난발생과정 및 자치어의 형태발달(Seo, 2004), 초기형태발달(Park et al., 2012), 양식 민어의 두부형질에 의한 전장 예측(Park et al., 2007b) 등이 보고되고 있다. 한편 연근해 수산자원은 지속적인 감소 추세에 있으나, 수산물의 소비는 증가하는 경향을 보이고 있어 지속적인 소비에 공급량을 맞추기 위해, 수산자원의 적절한 관리와 보전이 필요하다. 연근해 수산자원 관리를 위한 어종의 성숙 및 산란기를 추정하기 위해서는 생식소속도 지수(gonadosomatic index, GSI), 간중량 지수(hepatosomatic index, HSI), 비만도 지수(condition factor, CF)

*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.2024.0253>

Korean J Fish Aquat Sci 57(3), 253-261, June 2024

Received 23 February 2024; Revised 2 April 2024; Accepted 24 April 2024

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

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 일정한 처리를 필요로 하므로, 신속한 결과를 얻기 위한 적절한 방법이 요구되고 있다. 또한 생식소의 조직학적 및 이석 분석방법은 직접적이고 정확한 방법이나(Lee et al., 2017a, 2017b), 전문 인력이 부족하며, 성숙도 판정 결과를 얻기까지는 세포염색 및 절편제작 등의 많은 시간과 노력이 소요되는 단점이 있다.

따라서 수산자원 관리평가를 위해서는 현장에서 산란기를 보다 간편하게 측정할 수 있는 방법 또는 성숙도 측정시스템의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 현재 보편화된 색채공학(Ohta, 1993; Choi and Shin, 2003)을 이용한 성숙도 측정 시스템 개발을 목적으로, 색차계를 사용하여 민어의 성숙단계별 생식소의 색채값을 측정하여 민어 생식소 고유의 색채값 자료를 제시하였다. 또한 생식소의 성숙도를 육안으로 판단한 판정값과 비교 분석 분석함으로써 민어 생식소의 성숙도 판정을 기존의 조직학적 분석방법이 아닌 생식소 고유의 색채값만으로 성숙도를 판정할 수 있는 방법에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

실험어의 전처리 및 생식소의 색채 측정

본 연구에서 사용된 실험어는 2015년 6월부터 2016년 7월까지 매월 서해 남부 연안에서 안강망으로 어획된 민어(*M. miiuy*) 365개체를 수집하여 사용하였다. 수집된 개체는 현장에서 빙장 처리하여 연구실로 운반한 뒤, 각 개체의 표준체장(standard length, SL)과 전체중량(total weight)을 측정하였다. 암수판별 및 생식소의 발달단계는 민어의 복측을 절개하여 생식소(gonad)를 적출한 후, 해부현미경(LEICA L2; Leica, Heerbrugg, Switzerland) 아래에서 성별 및 발달단계를 판별하였다. 이후, 정확한 색채를 측정하기 위해 생식소 표면의 혈액과 수분을 제거하였다.

실험어의 생식소 색채측정은 생식소를 채취하여 백색도 85%의 백색 용지를 배경으로 하여, 백색용지 위에 생식소를 두고, 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 45°의 각도로 조사하도록 시료의 위치를 확보하여 설정하였고, 색차계의 수광부는 인공조명을 고려하여 입사광과 시료면으로부터 반사된 빛과의 각이 45 ± 10°의 범위를 유지하도록 고정하였다. 측정된 생식소의 색채는 Run ColorAnalyzer 프로그램을 이용해 디지털 처리한 후, 측정된 색채값 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 색공간, CIE 1931 XYZ 색공

간의 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 색채값과의 관계를 분석하였다.

측정된 색채의 보정 및 생식소 성장단계별 색차 계산

실험어의 생식소로부터 측정된 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_p, y_p, x_s, y_s 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.

$$x = x_s - x_p, y = y_s - y_p \dots\dots\dots (1)$$

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.

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

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

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 발달 중, 빠른 지수로 판정하였다.

결 과

실험어의 체장별 분포 및 성숙도

실험에 사용된 민어 암, 수의 체장빈도 및 성숙으로 판단된 난소, 정소를 가진 개체들의 체장을 측정된 결과를 Fig. 1A에 나타내었다. 측정된 민어의 체장 범위는 24-81 cm, SL이상의 범위에 분포하였고, 평균적으로 체장 33 cm, 48 cm, SL을 중심으로 두 개의 포물선 형태의 빈도분포를 이루고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 1B는 실험에 사용된 민어의 정소, 난소를 미숙으로 판정한 경우의 성별, 체장별 빈도수를 나타낸 그래프이다. 정소와 난소가 미숙으로 판정된 민어는 체장이 긴 범위에서도 미숙으로 판정한 경우가 있었으나, 대체로 미성숙으로 판정되는 어체의

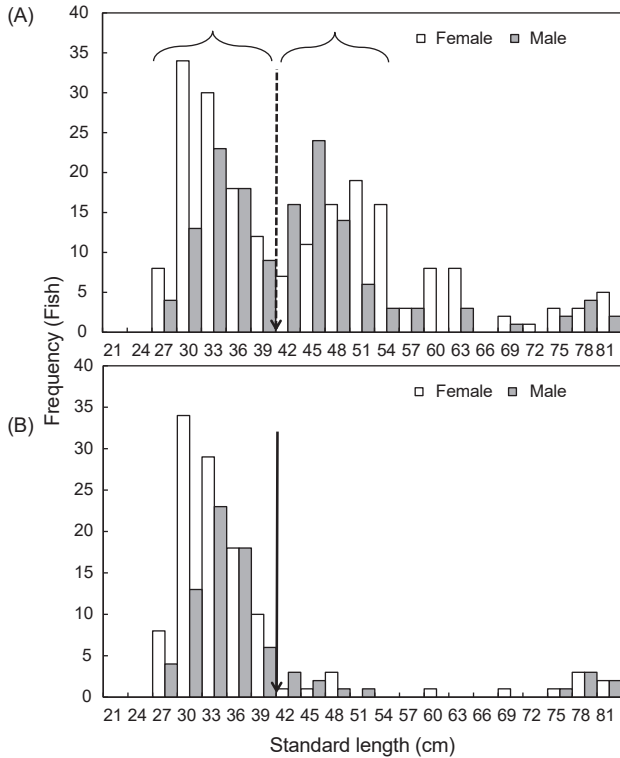


Fig. 1. Frequency distribution of standard length (A) and frequency distribution of standard length of the immature stage (B) of brown croaker *Miichthys miuiy*.

최대 체장은 40 cm, SL을 넘지 않는 것으로 나타났다.

민어 생식소의 월별 색채 변화

민어 난소의 월별 색채값 측정 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 난소의 월별 색채값 분포 측정기간은 민어에서 난소를 확인할 수 있었던 1월에서 12월로서 우리나라에서 민어의 난소가 성숙하여 산란하는 기간은 7월에서 9월이다. 난소의 월별 색채값 분포는 주로 제1, 4사분면에서 분포하고 있으며, a^* , b^* 값 모두 원점을 중심으로 ± 15 범위 내에 분포하였다. 1-5월에 측정된 실험어의 난소의 색채값은 주로 제1, 4사분면에 분포하였고, 6월에는 제3, 4사분면, 7월의 경우 제3사분면에 일부 집중하여 분포한 결과를 제외하면, 7-11월은 제4사분면을 중심으로 분포하였다. 다만, 12월에는 제1사분면을 중심으로 분포하는 것으로 나타나, 월별 측정된 값을 색변화를 중심으로 살펴보면 일정색채 영역에서 미소한 색채 값의 변화를 갖는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 민어 정소의 월별 색채값 측정 결과를 나타낸다. 정소의 월별 색채값 분포 측정기간은 민어에서 정소를 확인할 수 있었던 1월에서 12월로서 우리나라에서 민어의 정소가 성숙하여 방정하는 기간은 7월에서 9월이다. 정소의 월별 색채값 분포는 주로 제4사분면에서 분포하고 있고, a^* 값은 -5에서 15, b^* 값

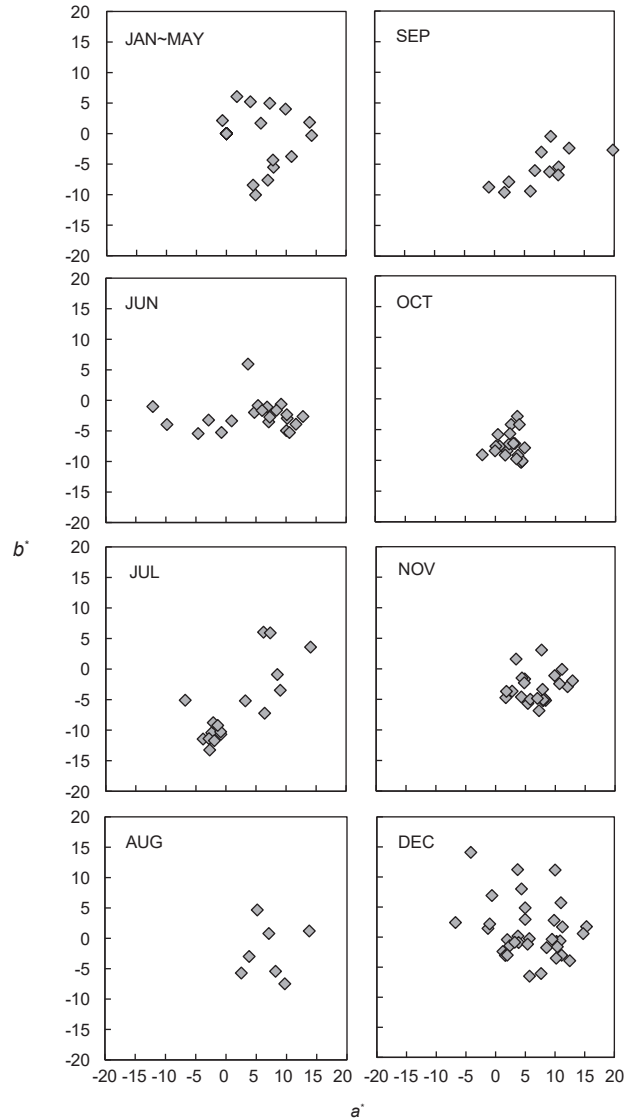


Fig. 2. Monthly changes in digital color values in CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space in the ovaries of brown croaker *Miichthys miuiy*.

은 10에서 14범위 내에 분포하였다. 월별 분포값을 살펴보면, 1-5월의 정소 색채값은 제1, 2, 4사분면에 분포하였고, 6월에는 제4사분면, 7월은 b^* 축의 원점을 중심으로 제3, 4분면, 8-10월은 제3사분면에서 제4사분면으로 이동하였다. 11월은 제3, 4사분면에 분포하였으며, 12월에는 1사분면으로 이동하여 분포하는 것으로 나타났다. 측정된 값을 색구분으로 보면 난소의 색채분포와 같이 월별로 일정 색채 영역에서 미소한 변화를 갖는 것으로 나타났다.

생식소의 성숙단계별 색채 변화

생식소의 성숙단계를 난소의 외부형태에 따라 육안으로 분류한 후, 색차계에 의한 색채값을 측정하여 민어 난소의 성숙

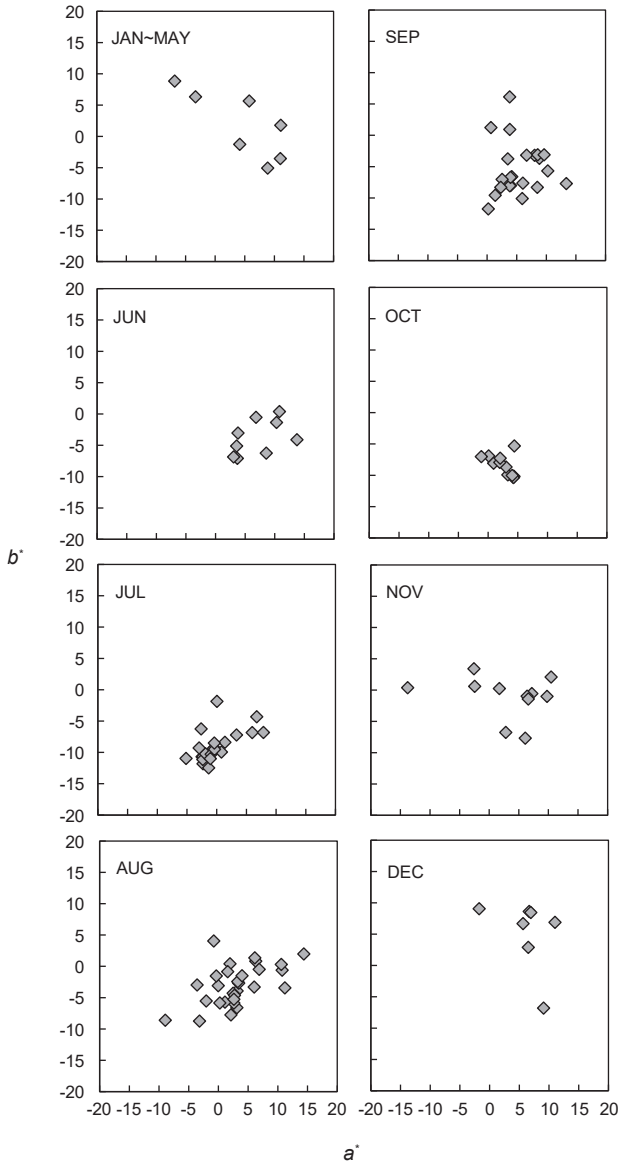


Fig. 3. Monthly changes in digital color values in CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space the testes of brown croaker *Miichthys miiuy*.

단계별로 정리한 색채값 분포를 Fig. 4에 나타내었고, 민어 정소의 성숙 단계별 정리한 색채값 분포를 Fig. 5에 나타내었다. 일반적으로 국내의 민어는 난소조직과 외부형태에 따라 미숙(immature), 중숙(developing stage), 성숙(maturing stage), 완숙(spawning stage), 회복(spent stage) 등의 단계로 발달단계를 분류할 수 있다(Lee et al., 2017a). 본 연구에서는 민어의 산란 및 방정 시기를 추정하기 위한 목적으로 생식소의 성숙단계를 조직세포 결과의 미숙(immature), 중숙(maturing stage), 성숙(mature stage), 완숙(spawning stage), 방후(spent stage)와 별도로 회복기(recovery stage)를 더하여 총 6단계에 대응되도록

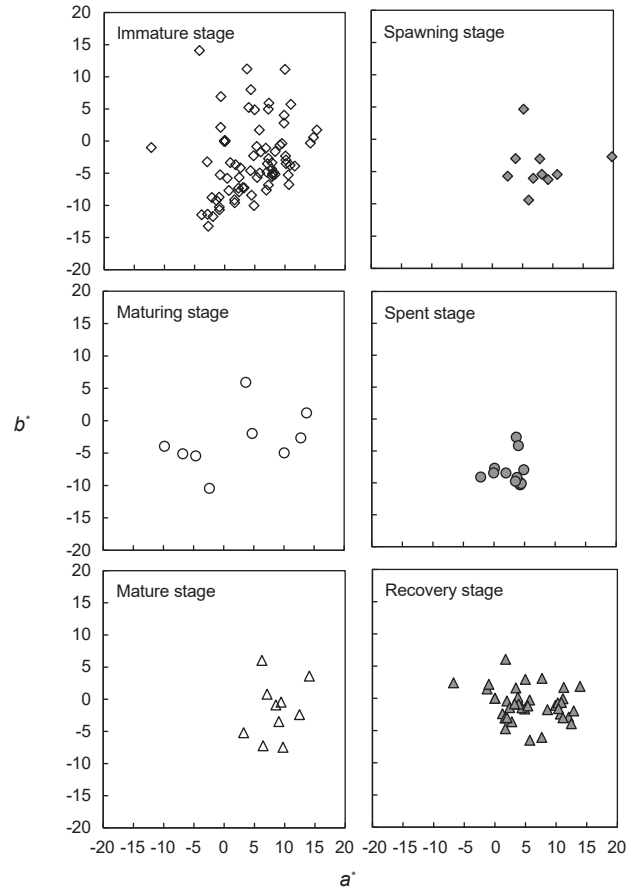


Fig. 4. Changes in digital color values in CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space at each stage of ovaries maturation in brown croaker *Miichthys miiuy*.

분류하여 생식소 성숙단계별 색채값을 색도좌표 평면상에서 나타내어 분포 경향을 살펴보았다. 민어 난소의 성숙단계별 색채값 분포는 미숙기의 경우, 제3사분면에서 제4사분면을 지나 제1사분면에 걸쳐 확산하는 분포를 보였고, 주로 제4사분면을 중심으로 분포하였다. 중숙, 성숙, 완숙은 전체적으로 원점에서 a^* 값 방향의 수평 경계선상에서 넓게 분포하였다. 중숙은 제1, 3, 4사분면에, 성숙과 완숙은 제1, 4사분면에 걸쳐 분포하는 것으로 나타났다. 방후는 제4사분면에 작은 면적으로 분포하였고, 회복단계는 전체적으로 원점에서 a^* 값 방향의 수평 경계선상에서 상하에 걸쳐 넓게 분포하였다(Fig. 4).

민어 정소의 성숙 단계별 색채값 분포를 살펴보면, 미숙기는 난소의 변화경향과 마찬가지로 제3사분면을 출발하여 1사분면으로 상승하면서 제1사분면에서 분산되어 분포하였고, 중숙, 성숙, 완숙은 제4사분면을 중심으로 a^* 값이 증가하는 방향으로 넓게 분포하였으며, 대체로 b^* 값은 음의 값을 갖는 것으로 나타났다. 다만 성숙의 경우, 난소의 분포경향과는 달리 제3사분면에서도 일정한 분포값을 보였으며, 방후는 제4사분면에 작은 면적

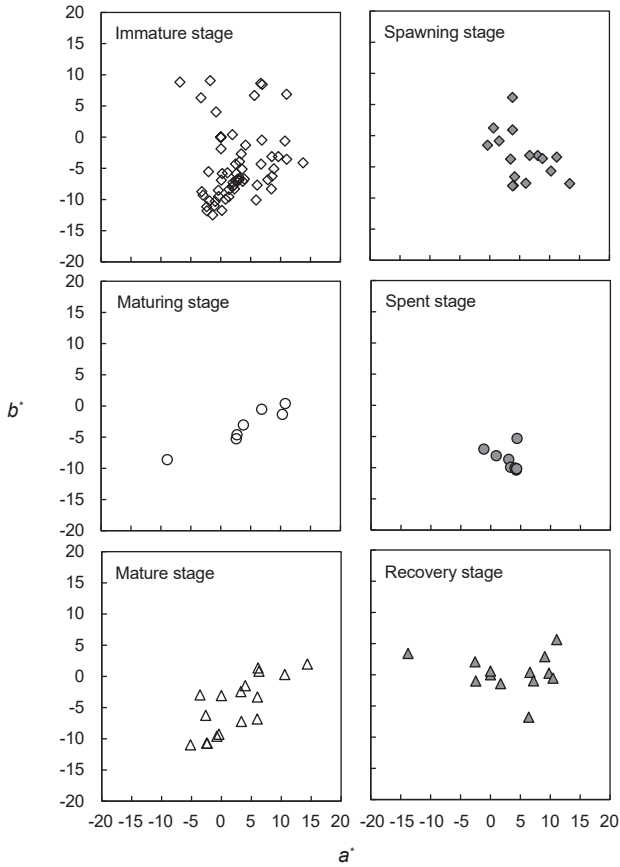


Fig. 5. Changes in digital color values in CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space at each stage of testes maturation in brown croaker *Miichthys miuy*.

을 갖고 분포하였다(Fig. 5).

CIE XYZ 색공간의 생식소의 색채값 분석

민어 난소의 성숙단계 중 중숙, 성숙, 완숙단계에서 측정된 색채값을 CIE XYZ 색공간 평면상에 정리한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 성숙과 완숙 단계의 색채값 분포는 대부분 겹치는 부분이 많아 거의 유사한 색채값을 나타내어 인간의 주관적 시각 및 색차계 측정에 의한 색채 구분이 어려운 것으로 나타났다. 그러나 중숙으로 판정되는 값은 초록색과 파란색의 경계부분에 분포하는 한편 빨강과 오렌지 영역에도 분포하였다.

민어 정소의 중숙, 성숙, 완숙단계에서 측정된 색채값을 xy색도 평면상에 정리한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 정소의 성숙과 완숙 단계의 색채값 분포는 흰색영역을 중심으로 분홍색에서 빨간색부분으로 분포하면서 대부분의 색채가 겹치는 부분이 많아 유사한 색채값을 나타내어 난소의 경우와 같이 인간의 주관적 시각 및 색차계 측정에 의한 색채 구분이 어려운 것으로 나타났다. 따라서 민어의 성장단계별 색채값에 의한 성숙도 판단은 성숙과 완숙을 하나의 단계로 포함하고, 중숙과 성숙을 각각

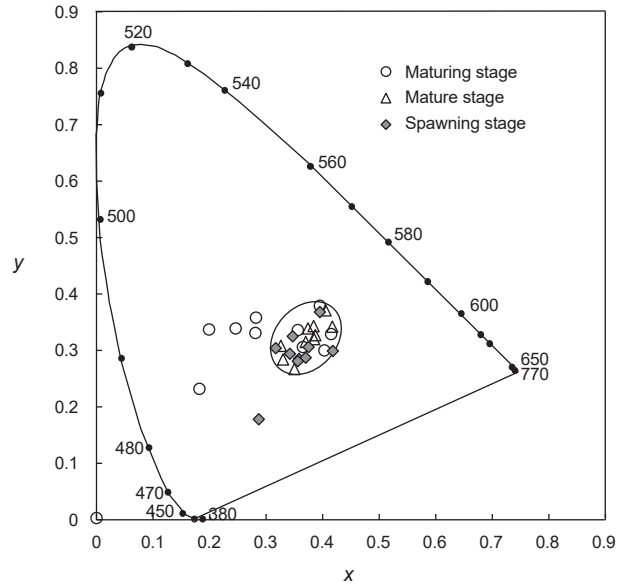


Fig. 6. Changes in xy color values in CIE XYZ color space at the mature, maturing, and spawning stages in the ovaries of brown croaker *Miichthys miuy*.

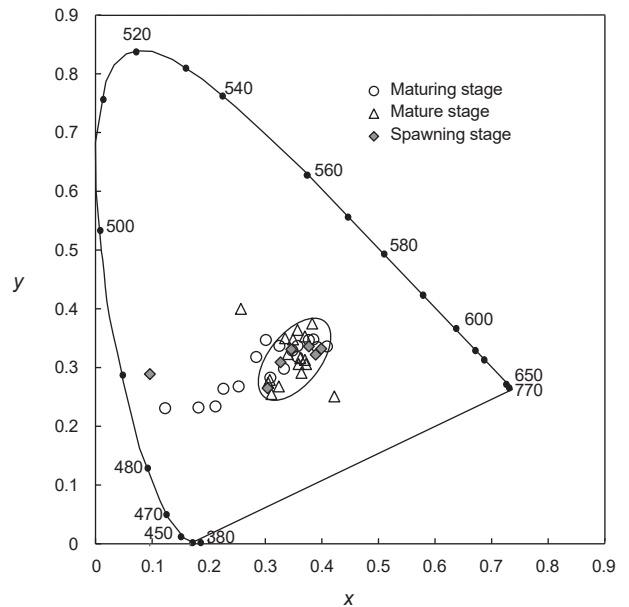


Fig. 7. Changes in xy color values in CIE XYZ color space at the mature, maturing, and spawning stages of the testes of brown croaker *Miichthys miuy*.

의 단계로 구분하여 해석할 필요가 있다.

미숙단계의 어체 크기를 배제한 생식소의 성숙도 판단
채집된 민어 정소 난소의 성숙 측정 결과로부터 40 cm, SL 이

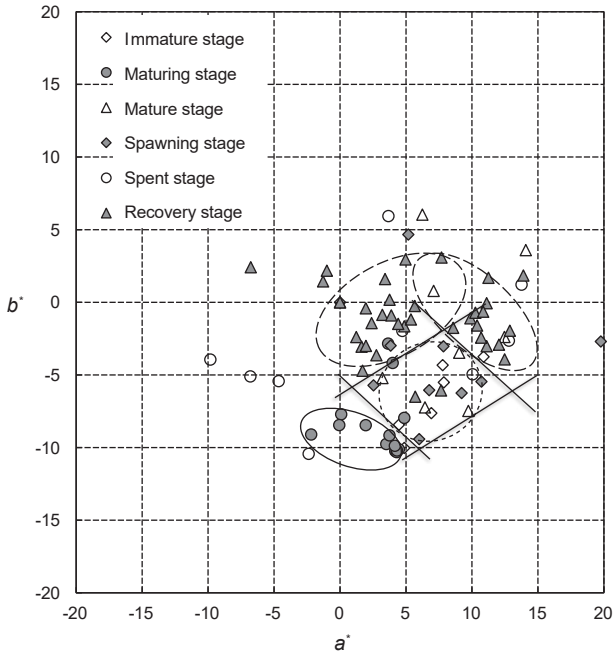


Fig. 8. Changes in digital color values at each stage of ovarian maturation of brown croaker *Miichthys miuy* with a standard length over 40 cm.

하의 어체에서 생식소 발달단계가 대부분 미숙으로 판정된 결과(Fig. 1)를 반영하여 민어의 표준 체장 40 cm, SL 이상 어체만을 대상으로 난소의 성숙 단계별 색채값 변화와 난소의 성숙도 판정을 위한 색채값 판단 기준을 정리하여 Fig. 8에 나타내었다. 민어 생식소의 색채값 분석에서 40 cm, SL 이하 어체의 색채값을 배제함으로써, 색채값의 중복에 따른 생식소 성숙도 판단에서 오류의 발생을 줄이고자 하였다. 미숙단계를 제외한 생식소 성숙도 판정은 Fig. 6의 결과에 따라 난소의 성숙과 완숙을 하나의 단계로 결합하고, 방후와 회복 단계를 구분한다면, 성숙 또는 완숙단계를 구분하는 경계는 4개의 직선 교차점 (6, -10), (1, -6), (8, -2), (13, -6)으로 둘러싸는 영역의 내부를 성숙 또는 완숙으로 판정 가능하였다. 또한 상기 4개의 직선 교차점 외측 상부쪽에 분포하는 값을 회복단계로, 교차점 (6, -10), (1, -6)을 지나는 직선의 좌하부를 방후 단계로 판정하는 것이 가능하였다.

Fig. 9는 40 cm, SL 이상 개체의 정소 성숙 단계별 색채값 변화와 정소의 성숙도 판정을 위한 색채값 판단 기준을 나타낸다. 미숙단계를 제외한 생식소 성숙판정은 Fig. 7의 결과에 따라 정소의 성숙과 완숙을 하나의 단계로 정하고, 방후와 회복 단계를 별도의 단계로 구분하며, 정소의 월별 색채값 측정 결과(Fig. 3)를 고려하여 판단하면 7월부터 9월은 (0, -3), (14.4, 2), (-2.3, 10.7)의 세점을 지나는 타원영역 내 및 (0.6, 1.2), (13, -7.5), (2.7, -4.6)의 세점을 지나는 타원의 제3, 4사분면의 영역에 포함되는 색채값을 성숙 또는 완숙 단계로 판정하는 것이 가

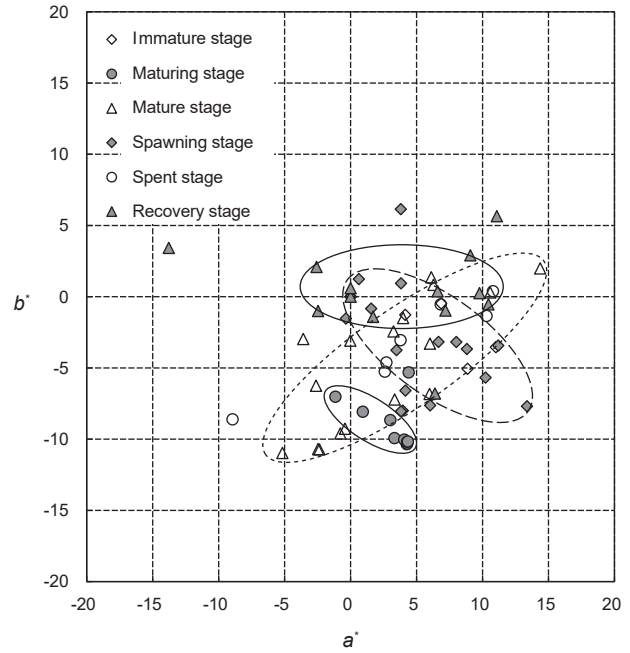


Fig. 9. Changes in digital color values at each stage of testicular maturation of brown croaker *Miichthys miuy* with a standard length over 40 cm.

능하였다. 10월은 방후 단계가 관측되는 시기로 (0, -6.5), (5, -8.5)를 지나는 직선을 기준으로 좌측면에 분포하는 색채값을 방후로 판정할 수 있었다. 11월은 방정후 회복하는 단계가 많은 것을 고려할 때 각각 (-2.5, -1), (9, 3), (-2.6, 2)의 세점을 지나는 타원영역의 내측에 포함되는 색채값을 회복단계로 판정하는 것이 가능하였다.

고 찰

본 연구에서 채집된 민어 어체의 체장분포를 살펴보면 체장 33 cm, 48 cm, SL을 중심으로 두 개의 포물선 형태의 빈도분포를 이루고 있는 것으로 나타났다. 민어의 연령과 성장 연구를 살펴보면 1세어의 평균 윤문형 시기를 31.4 cm, TL, 2세어는 43.7 cm, TL로 추정하였다(Lee et al., 2017b). 이러한 선행연구를 토대로 고찰하면 고연령 개체군보다 어린 개체군에 새로운 연급군(cohort)이 가입된 것으로 판단되었다. 또한 본 연구에서 확보된 개체의 55-80 cm, SL의 분포가 낮고, 40 cm, SL 이하 어린 개체군의 분포가 많은 것으로 볼 때, 어구어법에 의한 민어의 선택적 어획의 개선이 필요하거나, 또는 어린 개체군과 대형어의 자원관리가 필요한 것으로 판단된다. 민어를 주요 어획대상으로 하는 안강망 어업은 조석간만의 차를 이용하여 회유하는 생물이 자루그물로 떠밀려 들어가도록 어획하는 어법인 점을 고려하면(Jang et al., 2021), 본 연구에서 채집된 민어는 빠른 조류에 대해 유영능력이 약한 어린 개체로서 새로 가입된 연급군

(cohort)이 어획된 것으로 판단된다.

현재 우리나라의 수산자원관리법 시행령에 따르면 민어의 포획금지 체장은 33 cm, TL이며, Kim et al. (2004)에서 민어는 50 cm 이상 되어야 성숙한다고 보고하였다. 본 연구 결과에 따르면 정소와 난소를 미숙으로 판정한 어체의 크기는 대체로 최대 40 cm, SL을 넘지 않는 것으로 나타났다. 특히 40 cm, SL 이상의 어체는 2년 이상의 연령임을 고려하면(Lee et al., 2017b), 관찰자의 개인 편차를 반영한다 하더라도 포획금지 미성숙어 체장은 40 cm, SL 이하로 설정하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 이 결과를 종합하면, 현재 민어의 포획금지 체장인 33 cm, TL은 성숙하지 않은 미성어의 어획을 허용하고 있는 것이므로, 수산자원관리법 시행령의 개정이 필요하며, 민어의 성숙 체장을 규명하기 위한 추가적 산란생태 연구 등이 필요한 것으로 판단된다.

민어 생식소 속도의 월 변화를 조사한 결과, 암컷의 경우 6월부터 난소가 성숙하기 시작하여 8월에 완숙단계의 비율이 높았으며, 8-10월까지 방중 및 방후 단계 개체들이 관찰되었고, 이러한 결과는 Lee et al. (2017a)의 보고와 유사한 것으로 나타났다. 생식소 속도가 월별로 변화하는 것과는 달리 색채값의 월 변화는 일정 색채 영역의 좁은 범위에서 미소한 변화를 보였다. 같은 민어과에 속하는 보구치의 생식소를 월별로 측정된 색채값의 변화와 비교하면 상대적으로 매우 좁은 색채 영역에서 밀집되어 분포하였다(Jeong et al., 2024). 이와 같은 결과는 민어의 성숙 단계별 색채변화가 적어 성숙도 판별 기준으로 색채값을 사용하는 것이 상대적으로 어려울 수 있다는 것을 시사한다.

난소의 성숙 단계별 색채변화를 살펴보면 방후로 판정된 값은 다른 값들과 분리되어 분포하고 있고, 회복기의 색채값은 중숙, 성숙, 완숙 단계와 유사한 a^* 값 방향의 수평 경계선상의 제1, 4 분면에 걸쳐 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 4). 정소의 성숙 단계별 색채변화 역시 각 성숙 단계로 판정된 색채값들은 서로 겹치는 부분들이 공통되어 색채를 통한 정소의 성숙단계를 구분하기 어려운 부분이 있었다(Fig. 5). 또한, 정소와 난소가 미숙으로 판정된 값들은 원점을 중심으로 제1, 3, 4사분면 전체 범위에 폭넓게 분포하고 있어, 미숙을 포함한 다른 성숙 단계의 색채값과 중복되었다. 따라서 미숙 단계의 색채값을 성숙도 판단 자료로 포함하는 경우, 색채를 통한 난소, 정소의 성숙도 판단에 오류를 포함할 수 있어 성숙도 판단시 40 cm, SL 미만의 개체와 미숙단계의 색채값은 배제하고 판단하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

특히 xy 색공간의 생식소의 색채값 분석 결과를 보면, 난소의 성숙단계 중, 중숙으로 판정되는 값은 초록색과 파란색의 경계 부분에 분포하는 한편 성숙, 완숙단계는 빨강과 오렌지 영역에 분포하고 있어 중숙과 구분되는 색채값을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 6). 또한 정소의 성숙단계에서 중숙으로 판정되는 값의 일부는 성숙과 완숙의 영역에 분포하였고 일부는 파란색 영역에 넓게 분포하였다(Fig. 7). 관찰자는 난소 정소 모두 중숙에 해

당하는 값을 육안으로 성숙, 완숙 단계를 구분하여 판단하였으나, 이는 인간의 시각적 감각이 생식소의 모양과 형태를 종합적으로 고려한 판단값으로 동일한 성숙단계임에도 불구하고 서로 다른 성숙단계로 판단할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 색채값으로 민어생식소의 성숙단계를 판단하는 경우, 성숙과 완숙의 색채차이를 구분하기 어려우므로 중숙과 성숙의 두 단계로 구분하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

결과적으로 신뢰도 높은 민어의 생식소의 성숙단계를 구분하기 위해서는 40 cm, SL 이하의 미성숙 개체를 배제한 결과와 월별 색채 변화를 함께 고려해야 할 것으로 판단된다. 색채값으로 추정된 민어의 성숙과 완숙단계는 7-9월이므로 이 둘을 구분하는 4개의 직선 교차점 (6, -10), (1, -6), (8, -2), (13, -6) 내부에 분포하는 경우, 성숙 또는 완숙으로 판정 가능한 것으로 사료된다. Lee et al. (2017a)의 연구에서 암컷 GSI의 월 변화를 고려하였을 때 8-10월(주 산란기 9월)로 산란기를 추정하였으며, Kim et al. (2004)도 산란기를 7-9 월로 보고하여 본 연구의 7-9월에 측정된 생식소 색채값을 판정하는데 있어 성숙 또는 완숙단계를 구분하는 4개의 직선 교차점을 판정 기준으로 적용하는 것은 타당한 것으로 판단된다.

또한 주 산란기 9월 이후 10월에 측정된 값 중에서 교차점 (6, -10), (1, -6)을 지나는 직선의 좌측면에 분포하는 경우, 난소의 색채값을 방후로 판정가능하고, 11월 측정된 색채값 중에서 (8, -2), (13, -6)를 지나는 직선의 우편에 분포하는 경우, 난소의 색채값을 회복으로 판정 가능한 것으로 판단된다. 민어 정소의 경우 역시 색채값만의 결과로는 성숙과 완숙이 동일한 색채값 분포를 하고 있어 성숙단계를 구분할 수 없으나, 월별 또는 어획 시기의 색채값 변화를 함께 고려하면 색채값이 중복되더라도 생식소의 성숙단계를 용이하게 구분할 수 있는 것으로 사료된다.

이상의 결과들을 종합하면, 어획 수집된 민어의 체장 측정 후, 복부를 절개하여 암수를 판별하고, 디지털 색채 값을 측정하는 것으로 생식소 성숙단계를 판단할 수 있었다. 다만 민어 생식소의 성숙도 판정은 생물학적 최소형(biological minimum size)에 해당하는 40 cm, SL 이상을 대상으로 하는 것이 바람직하며, 난소와 정소의 경우, 생식소의 성숙단계중 육안 판단이 불가능한 성숙과 완숙 단계를 하나의 단계로 설정하고, 색채값 뿐만 아니라 월별 색채 값을 반영하여 함께 판단하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

본 연구와 같이 디지털 색채 측정값을 이용하여 사물의 색을 판단하는 것이 주관적 시각판단에 비해 정량적이라는 것은 선행연구 결과에서 입증된 바 있다(Choi and Arakawa 2009; Chio and Hwang, 2023). 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, 2002; Morton et al., 2010; Chang and Kim, 2011), 산업재료(Lee et al., 2018) 등 다양한

분야에서 활용되고 있다. 따라서 디지털 색채 분석을 이용한 생식소 판단수법은 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. 또한 본 연구 결과들이 반영된 성숙단계별 색채값이 프로그래밍된 성숙도 측정 색차계의 개발이 완성된다면 현장의 어업인은 간단한 색차계를 운용하는 것만으로 어획생물의 산란과 성숙에 관한 상태를 신속하게 확인할 수 있고 측정된 자료를 바탕으로 수산자원 관리평가 및 금어기 설정 해제 등의 판단에 실질적으로 적용할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2024년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2024001)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 또한 본 연구에 대하여 좋은 의견을 주신 편집위원분들께 깊은 감사를 드립니다.

References

- 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. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.12.1680>.
- Cheng Y, Xu T, Shi G and Wang R. 2010. Complete mitochondrial genome of the miiuy croaker *Miichthys miiuy* (Perciformes, Sciaenidae) with phylogenetic consideration. *Mar Genom* 3, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2010.10.003>.
- 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>.
- Choi SJ and Shin JC. 2003. *Color Engineering*. Kukje Publishing, Seoul, Korea, 177-189.
- Jang YS, Lee CW and Choi KS. 2021. Offshore stow net modeling and analysis of behavior using numerical methods. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 57, 283-291. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.4.283>.
- Jeong JM, Kim YH, Moon KJ and Choi SJ. 2024. Determination of maturity gonads for white croaker *Pennahia argentatus* using digital color analysis. *Korean J Fish Aquat Sci* 57, 145-152. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0145>.
- Kim IS, Choi Y, Lee CR, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. *Illustrated Book of Korean Fishes*. Kyo-hak Publishing Co, Seoul, Korea, 613.
- 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 KI and Hong SD. 2002. Relationship between soil color characteristics and measurement values by colorimeter. *Korean J Soil Sci Fert* 35, 77-86.
- 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.
- Lee SH, Chung SD, Kim YH and Yoo JT. 2017a. Maturity and spawning of brown croaker *Miichthys miiuy* in the South-Western water of Korea. *Korean J Ichthyol* 29, 109-116.
- Lee SH, Chung SD, Kim YH and Yoo JT. 2017b. Age and growth of brown croaker *Miichthys miiuy* in the South-Western water of Korea. *Korean J Ichthyol* 29, 69-74.
- 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>.
- 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.
- Ohta N. 1993. *Color Engineering*. Tokyo Denki University Press, Tokyo, Japan, 115-170.
- Park IS, Kim YJ, Choi HJ and Oh SY. 2007b. Total length estimation from head dimensions of artificially propagated brown croaker *Miichthys miiuy*. *Korean J Ichthyol* 19, 128-131.
- Park IS, Kim YJ, Goo IB and Kim DS. 2012. Early morphological development of the brown croaker, *Miichthys miiuy* (Basilewsky): Fin differentiation, head dimensions, and squamation. *Korean J Ichthyol* 24, 125-130.
- Park IS, Seol DW, Im SY, Park MO, Hur WJ, Cho SW, Song YC, Kim JS, Jo HJ, Noh HC and Choi HJ. 2007a. Gonad ontogeny in relation to somatic growth in the brown croaker *Miichthys miiuy* (Basilewsky). *Korean J Ichthyol* 19, 107-111.
- Shan XJ, Huang W, Cao L, Xiao ZZ and Dou SZ. 2009. Ontogenetic development of digestive enzymes and effect of starvation in miiuy croaker *Miichthys miiuy* larvae. *Fish Physiol Biochem* 35, 385-398. <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9263-9>.
- Seo DC. 2004. *Developmental ecology and early life growth of brown croaker Miichthys miiuy*. Ph. D. Thesis, University of Yosu, Yosu, Korea.
- Shin HS and Park YS. 2015. A comparative analysis on complexion and skin color in 20s-30s and 40s-50s by frequen-

- cy of L*a*b values. J Korea Soc Color Stud 29, 103-113. <https://doi.org/10.17289/jksccs.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. <http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2012.41.10.1423>.
- Xu TJ, Meng F, Sun Y, Shi G and Wang R. 2010. Identification of immune genes of the miiuy croaker (*Miichthys miiuy*) by sequencing and bioinformatic analysis of ESTs. Fish Shellfish Immunol 29, 1099-1105. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.08.013>.
- Yoon HS, Seo DC and Choi SD. 2006a. Effect of salinity on hatching and spawning characteristics of *Miichthys miiuy* in the Western of Korea. Korean J Environ Biol 24, 53-59.
- Yoon HS, Seo DC, An YK and Choi SD. 2006b. Seasonal changes of body composition and elasticity between wild and cultured brown croaker, *Miichthys miiuy*. Korean J Environ Biol 24, 179-185.