

한국 주변해역에서 대형선망으로 어획한 고등어 (*Scomber japonicus*)의 성장과 연령구조 연구

정경미 · 김희용 · 강수경^{1,*}

국립수산과학원 남해수산연구소 자원환경과, ¹국립수산과학원 연근해자원과

A Study of Growth and Age Structure for Chub Mackerel, *Scomber japonicus* Caught by a Large Purse Seine in the Korean Waters by Kyung-Mi Jung, Heeyong Kim and Sukyung Kang^{1,*} (South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea; ¹Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea)

ABSTRACT We examined the growth and age structure for chub mackerel caught by a large purse-seine in the Korean waters from January to December 2015. A total of 459 specimens were used for otolith analysis, ranging from 19.6 cm to 46.0 cm in fork length. Translucent zone was regarded as an annual mark, and age was counted using the information of the number of translucent zone, capture date, edge type of the otolith and nominal birthdate of 1 January. Annuli in otoliths were mainly formed in May, coinciding with the spawning season. Estimated ages were 0~6 years, and the von Bertalanffy growth models were not significantly different between male and female. Sex-combined growth model was obtained as $FL_t = 39.3 \times \{1 - \exp[-0.90 \times (t + 0.033)]\}$. Among the chub mackerel caught in 2015, the age 2 group had the highest proportion (30.9%), and the age 0 to 2 group accounted for 88.5% of the total catch.

Key words: Chub mackerel, otolith, age determination, growth, age structure

서 론

고등어 (*Scomber japonicus*)는 온대해역에 서식하는 표층성 어류로 우리나라, 일본, 중국 및 동태평양 연안 등에 분포한다 (Collette and Nauen, 1983). 북서태평양에서 고등어는 서식범위, 회유경로, 산란장 위치 등에 따라 대마계군과 태평양계군으로 나뉘는데, 우리나라 연근해에 출현하는 고등어는 대마계군으로 남해와 제주도 주변해역, 동해 남부해역에서 3~6월에 산란하는 것으로 알려져 있다 (Kim *et al.*, 2019). 산란을 마친 고등어는 성장을 위해 7~10월에 서해와 동해로 북상하여 섭이활동을 하며, 11월부터는 월동을 위해 남하하여 제주도와 대마도 주변해역에 머무른다 (Choi, 2003). 고등어 자원의 지속적인 생산과

이용을 위하여 우리나라에서는 1999년부터 대형선망어업을 대상으로 총허용어획량 (Total Allowable Catch, TAC) 제도를 실시하고 있으며, 2016년부터는 수산자원관리법시행령 개정으로 포획 금지기간(4~6월 기간 중 1개월)과 금지체장 (전장 21 cm)을 설정하여 고등어 자원에 대한 관리를 강화하고 있다.

현재까지 국내에서는 고등어의 연령과 성장 연구로 비늘과 이석을 이용한 Ann (1971), 추체골을 이용한 Choi (2003), 이석을 이용한 Hwang *et al.* (2008)의 연구가 대표적이다. 하지만 위의 세 연구에서 추정된 연령별 평균체장이 상이하고, 분석에 이용된 개체는 20여 년 전의 것으로 최근의 자원생물학적 변화를 반영하기 어렵다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 일부 보완하기 위해 Kang *et al.* (2015)은 초륜형성 위치를 검증하고 명목 생일을 이용하는 연령사정기준표를 소개하였다.

어류 이석에 나타나는 윤문은 서식환경의 수온, 산란 행동, 서식해역의 지리적 위치 등 다양한 요인의 영향으로 형성된다 (Panfili *et al.*, 2002). 같은 어종이라 할지라도 서식해역과 산란

저자 직위: 정경미 (해양수산연구소), 김희용 (해양수산연구소), 강수경 (해양수산연구소)

*Corresponding author: Sukyung Kang Tel: 82-51-720-2280, Fax: 82-51-720-2277, E-mail: sukyungkang@korea.kr

시기 등이 다르면 윤문이 형성되는 시기와 성장의 정도가 달라질 수 있기 때문에, 단순히 육안으로 관찰되는 불투명대와 투명대의 수를 세어 연령을 계산하게 되면 동일 연급군의 개체들이 서로 분리되는 오류를 범할 수 있다. 또한, 산란기간이 긴 어류의 경우 생식소숙도지수가 최고인 시기를 산란월로 가정하여 연령을 추정하더라도 어류의 실제 연령과 차이가 발생할 수 있다(O'Sullivan, 2007). 이러한 이유로 인해 어류의 연령을 연구함에 있어 실제 산란일과 상관없이 어류의 생일을 1월 1일로 정하여 연령사정하는 방법이 제시되었고(Chilton and Beamish, 1982; Panfili *et al.*, 2002; Matta and Kimura, 2012), 이는 자원평가에서 중요한 요소로 이용되는 연급군을 정확히 추정할 수 있도록 하기에 연령과 성장 연구에서 지속적으로 이용되어지고 있다(e.g. Walsh *et al.*, 2014; ICES, 2018; Basilone *et al.*, 2020).

따라서, 본 연구에서는 고등어의 명목생일을 적용한 연령사정 기준표(Kang *et al.*, 2015)에 따라 연령을 판독하고, 이를 이용한 성장 매개변수와 대형선망어업으로 어획한 어획물의 연령구조를 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 표본 채집

본 연구에 사용한 고등어는 2015년 1월부터 12월까지 우리나라 주변해역(Fig. 1)에서 대형선망어업에 의해 어획되어 부산 공동어시장에 양륙된 것으로 매월 체급별(FL 대 30~46 cm, 중 29~42 cm, 소 26~40 cm, 세 18~35 cm) 1상자씩을 구입하여 사

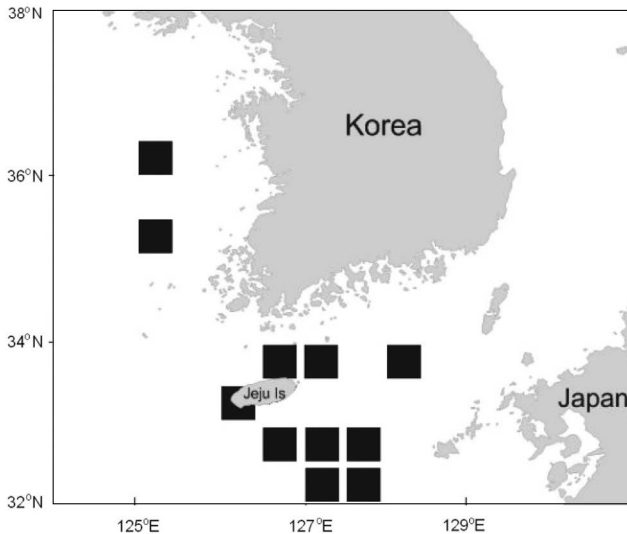


Fig. 1. Fishing locations for chub mackerel *Scomber japonicus* by large purse-seine fishery in the Korean waters.

용하였다. 채집된 개체는 가랑이체장(Fork length, FL)은 0.1 cm 까지, 체중(Body weight, BW)은 0.1 g까지 측정하였고, 암·수를 구분하여 생식소 중량(Gonad weight, GW)을 0.01 g까지 측정하였다. 산란기 추정을 위한 생식소 발달과정은 Murua *et al.* (2003)의 방법으로 미숙(Immature), 중숙(Maturing), 성숙(Mature), 완숙(Ripe)으로 구별하였고, 생식소 중량과 체중을 이용하여 생식소숙도지수(Gonadosomatic Index, GSI)를 구하였다.

$$GSI = (GW/BW) \times 100 \quad (1)$$

여기서, GW는 생식소 중량(g), BW는 체중(g)이다.

측정을 마친 어체에서는 한 쌍의 이석을 적출하여 연령사정을 위해 50% 알코올에 보관하였다.

2. 윤문 판독 및 이석 가장자리 해석

윤문판독에는 오른쪽 이석만을 이용하였고, 80% 글리세롤 용액에 이석을 넣어 실체현미경을 이용하여 반사광으로 이석 표면에 나타난 윤문을 관찰하였다. 첫 번째 윤문의 위치는 핵에서부터 가장자리를 수평방향으로 측정할 때 1.5 mm 이내의 윤문 허륵일 가능성이 높고(Shiraishi *et al.*, 2008), 핵에서 첫 번째 윤문까지의 평균 길이는 1.77 mm인(Kang *et al.*, 2015) 결과를 기준으로 판독하였다. 현미경 관찰을 통해 이석 가장자리가 불투명대인지 투명대인지를 구분하였고, 영상분석 시스템을 이용하여 핵(core)에서 각 윤문(투명대가 끝나는 지점, r_n)까지, 핵에서 이석의 가장자리 끝(윤경, OR)까지의 길이를 수평방향으로 측정하였다(Fig. 2). 측정된 길이는 윤문의 형성시기와 형성주기를 파악하기 위한 연역지수(Marginal index, MI) 계산에 이용되었다.

$$MI = (OR - r_n) / (r_n - r_{n-1}) \quad (2)$$

여기서, OR은 윤경, r_n 은 핵에서 n번째 윤문까지의 거리이다.

이석 가장자리에 나타난 불투명대($OR - r_n$)의 성장정도(좁은지 혹은 넓은지)는 전 해에 형성된 불투명대 길이($r_n - r_{n-1}$)의 50% 미만이면 좁은 불투명대, 50% 이상이면 넓은 불투명대로 정의하고 연령사정을 위한 기준으로 활용하였다.

3. 연령사정

고등어의 연령사정기준표(Kang *et al.*, 2015)와 명목생일 적용방법(Panfili *et al.*, 2002)에 따라, 본 연구에서 0세는 산란되어 12월 31일까지 성장한 개체로 정의하였고 이후부터의 연령은 Fig. 3에서 제시한 방법으로 계산하였다. 이렇게 계산한 1세부터 6세까지의 정보는 성장 매개변수 추정에 이용되었고, 0세부터 6세까지의 정보는 연령구조 분석에 이용되었다.

고등어는 1월부터 7월까지 투명대가 나타났으며, 이 기간 동안의 연령은 명목생일 1월 1일, 투명대의 수(N), 불투명대의 성

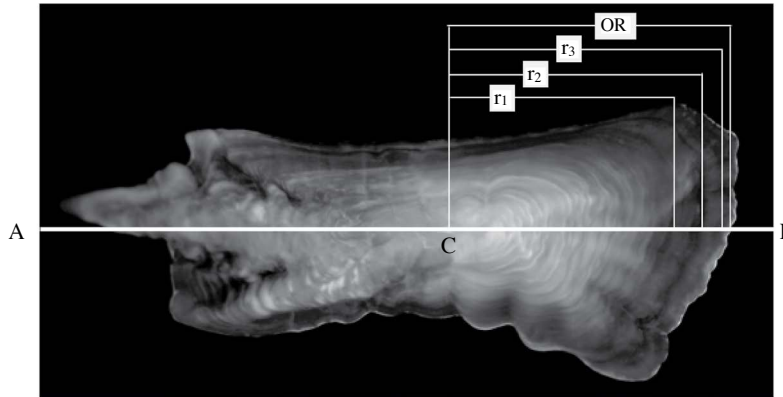


Fig. 2. Photograph of a whole otolith of chub mackerel *Scomber japonicus*. C, core; A, anterior; P, posterior; OR, otolith radius from the core to the edge; r_n , annual mark radius from the core to the n th annual mark.

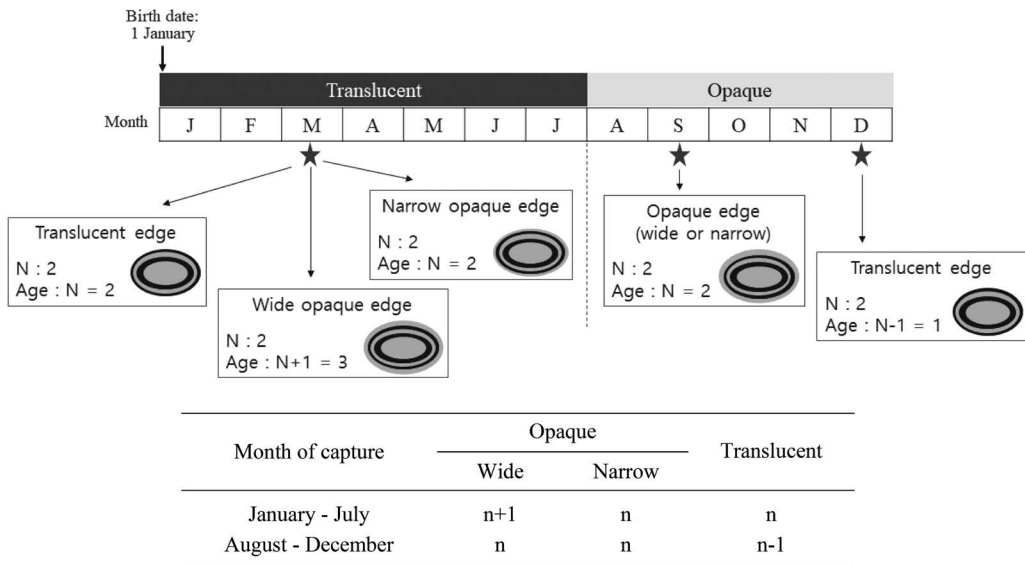


Fig. 3. Age estimation of chub mackerel from otolith reading collected in the Korean waters. Nominal birthdate is 1 January for all individuals. Otolith edge type was identified as wide and narrow opaque zone or translucent zone. N is the number of translucent zones (i.e. annuli) including that on the margin.

장 정도 (narrow or wide), 채집시기에 대한 정보를 바탕으로 계산하였다. 가령, 3월에 채집된 개체의 이석 가장자리가 투명대 일 경우는 투명대가 늦게 형성된 것이고 명목생일 1월 1일이 지났기 때문에 가장자리 투명대를 포함한 전체 투명대의 수가 연령이 된다. 동일 시기 가장자리에 넓은 불투명대가 있는 경우는 투명대가 미형성된 것이고 불투명대는 바로 전 해에 기인하는 것이기 때문에 전체 투명대의 수에서 1년을 더한 것 ($N+1$)이 연령이 된다. 가장자리에 좁은 불투명대는 채집연도에 투명대 형성을 갖 마치고 이어서 불투명대가 성장한 것이기 때문에 전체 투명대의 수가 연령이 된다. 반면, 8월부터 12월까지의 투명대 형성비율이 매우 낮은 시기로, 가장자리가 불투명대인 경우는 성장 정도와 상관없이 모두 채집연도에 형성된 것이기에 전

체 투명대의 수가 연령이 된다. 그리고 가장자리에 투명대가 나타날 경우는 아직 명목생일이 지나지 않았기 때문에 전체 투명대의 수에서 가장자리 투명대를 제외한 것 ($N-1$)이 연령이 된다 (Fig. 3).

4. 성장식 추정

윤문형성 시의 체장은 이석에 나타난 윤경 (OR)과 가랑이체장 (FL) 간의 관계식을 이용하여 역계산으로 연륜별 평균체장을 구하였다. 단, 최대 연령으로 나타난 6세는 2월과 4월에 이석 가장자리에 넓은 불투명대 혹은 투명대가 형성되어 있어 연령사정기준표에 따라 연령이 계산된 것으로, 6번째 윤문의 길이는 핵에서 가장자리 투명대 끝까지의 길이로 정의하고 성장식 추

정에 이용하였다. 고등어 0세의 체장은 0.3 cm (Lee *et al.*, 2017)로 간주하고 Walford 방법으로 고등어의 성장 매개변수를 계산하였다. 이 값을 초기값으로 하여 Excel solver를 이용한 비선형 회귀방법으로 von Bertalanffy (1938) 성장식을 추정하였다.

$$FL_t = L_\infty \times \{1 - \exp[-k \times (t - t_0)]\} \quad (3)$$

여기서, FL_t 는 연령 t 시의 가랑이체장, L_∞ 는 이론적 최대체장, k 는 성장계수, t_0 는 가랑이체장이 0일 때의 이론적 연령이다.

암컷과 수컷 간 성장식의 기술키차 검증은 R version 4.0.2 (2020)를 이용하여 ANCOVA test를 실시하였으며, 유의수준은 5% 이내 ($p < 0.05$)로 하였다. 성장 모델의 적합도는 결정계수 (R^2)와 평균제곱오차 (Mean square error, MSE)를 이용하였다.

결 과

1. 체장분포

대형선망어업으로 어획된 고등어의 체장분포는 부산공동어 시장에서 2015년 1월부터 12월까지 위판된 체급별 총 상자수를 반영하여 연간 어획된 전체 마리수에 대한 체장빈도로 나타내었다. 어획된 고등어의 가랑이체장 범위는 18.1~46.0 cm였으며, 평균 가랑이체장은 27.7 cm였다. 최고 빈도 체급은 28.1~30.0 cm (23.1%)였으며, 26.1~32.0 cm 범위의 체급은 전체의 61.7%를 차지하였다. 반면, 연령분석에 이용된 고등어의 체장범위는 19.6~46.0 cm였고 평균 가랑이체장은 32.6 cm였다 (Fig. 4).

2. 산란시기

육안판별법으로 암컷 생식소의 발달과정을 분석한 결과, 미

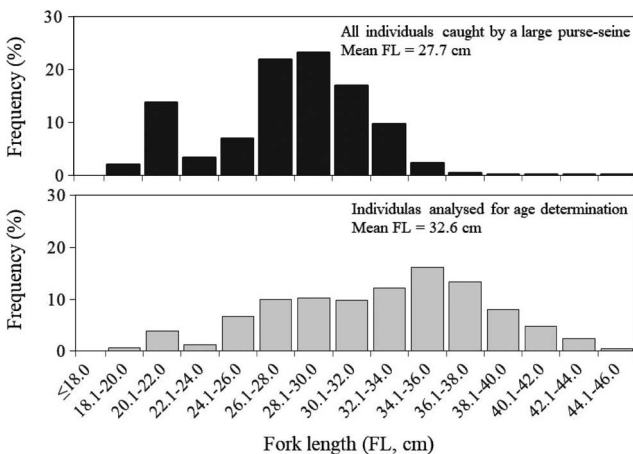


Fig. 4. Length-frequency distribution of individuals caught by large purse-seines (upper panel) and analysed for age determination (lower panel) in the Korean waters, 2015.

숙은 연중 나타났으며, 중숙은 11월부터 8월까지, 성숙은 2월부터 8월까지, 완숙은 4월부터 6월까지 나타났다 (Fig. 5). 생식소 속도지수 (GSI)의 월변화는 암컷과 수컷에서 모두 유사한 변화 형태를 보였다. GSI는 3월부터 높아지기 시작하여 4월에 가장 높았으며 6월까지 지속적으로 높다가 7월부터는 현저히 낮았다 (Fig. 6). 따라서, 고등어의 산란시기는 완숙 출현시기와 동일하게 GSI 또한 높게 나타난 4월부터 6월까지로 간주하였다.

3. 윤문형성

이석 가장자리의 투명대는 1월부터 10월까지 나타났으며, 6월과 7월에 투명대 형성비율이 각각 41.9%, 37.5%로 가장 높았고 8월부터 10월까지의 평균 9.3%로 매우 낮았다. 반면, 가장자리의 불투명대는 연중 나타났으며, 8월부터 12월 사이에 84.0~100.0%의 높은 비율로 형성되었다.

윤문이 형성되는 시기와 주기성을 알아보기 위해 연역지수 (MI)의 월 변화를 살펴보았다. 연역지수의 평균값은 1월부터 점차적으로 감소하여 5월에 최저값을 나타낸 후 12월까지 증가하였다. 이러한 경향은 2~3세군에서 뚜렷이 관찰됨으로써 윤문이 연 1회, 주로 5월에 형성되는 것으로 판단할 수 있었다 (Fig. 7). 또한, 윤문형성 시기는 고등어의 산란기간 중 완숙개체의 비율

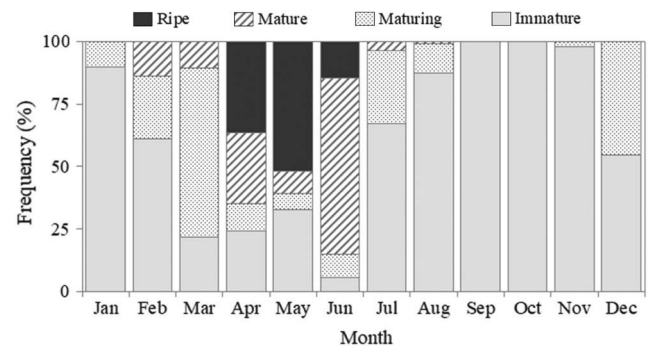


Fig. 5. Relative frequencies of maturity stages by month for female chub mackerel from January to December 2015.

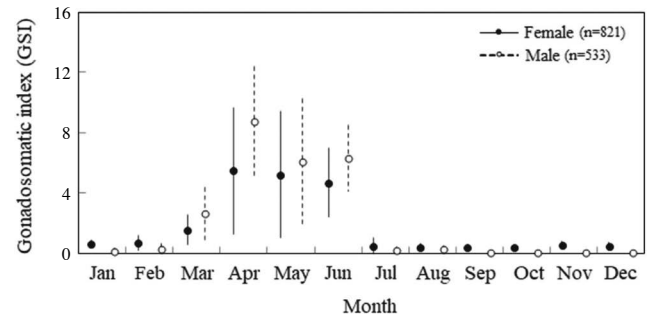


Fig. 6. Monthly changes in mean gonadosomatic index (\pm one standard deviation) for female and male chub mackerel from January to December 2015.

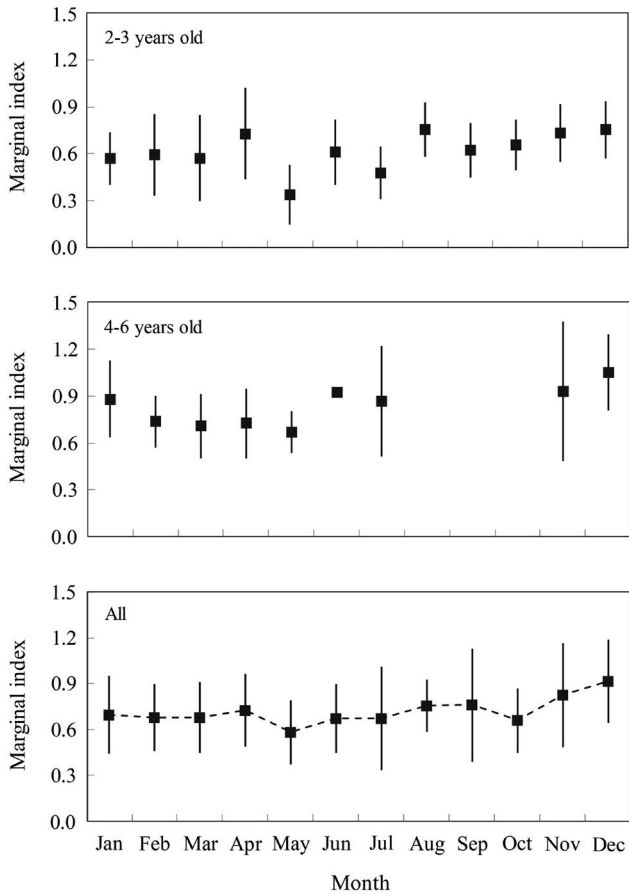


Fig. 7. Monthly changes in marginal index (MI) of chub mackerel caught in the Korean waters from January to December 2015.

이 가장 높았던 시기와 일치하는 것을 알 수 있었다.

윤문의 대응성을 살펴보기 위해 연령그룹별 이석경과 윤경 간의 관계를 비교하였다. 각 윤경은 인접한 윤경과 뚜렷이 구별되었고, 동일 그룹 내에서도 이석경이 클수록 윤경 또한 커지는 대응성을 나타내었다(Fig. 8).

4. 성장

윤문형성 시의 체장을 역계산하기 위하여 이석경(OR)과 가랑이체장(FL) 간의 관계식을 구하였다. 암컷은 $FL = 17.985 \times OR - 3.6463$ ($R^2 = 0.767$), 수컷은 $FL = 18.604 \times OR - 5.1232$ ($R^2 = 0.822$)였고, 암·수 구별없이 모든 개체에 대해서는 $FL = 18.366 \times OR - 4.5052$ ($R^2 = 0.792$)였다.

역계산된 연령별 체장(Table 1)으로부터 고등어의 von Bertalanffy 성장식을 추정하였다(Fig. 9). 연령은 6세까지 나타났고 암·수 간 성장식에 있어 차이가 없어(ANCOVA test, $F = 0.408$, $p = 0.523$) 암·수를 합하여 성장 매개변수를 계산한 결과, 최대 체장(L_∞)은 39.3 cm, 성장계수(k)는 0.90, 가랑이체장이 0일때의 이론적 연령(t_0)은 -0.033 로 나타났으며, 성장식은 다음과 같이 도출되었다.

$$FL_t = 39.3 \times \{1 - \exp[-0.90 \times (t + 0.033)]\}$$

성장식으로 추정된 연령별 평균체장(FL)을 살펴보면, 1세는 23.8 cm, 2세는 33.0 cm, 3세는 36.7 cm, 4세는 38.2 cm, 5세는 38.8 cm, 6세는 39.1 cm로 나타났다.

명목생일 적용방법과 투명대의 개수를 세어 연령사정하는 전

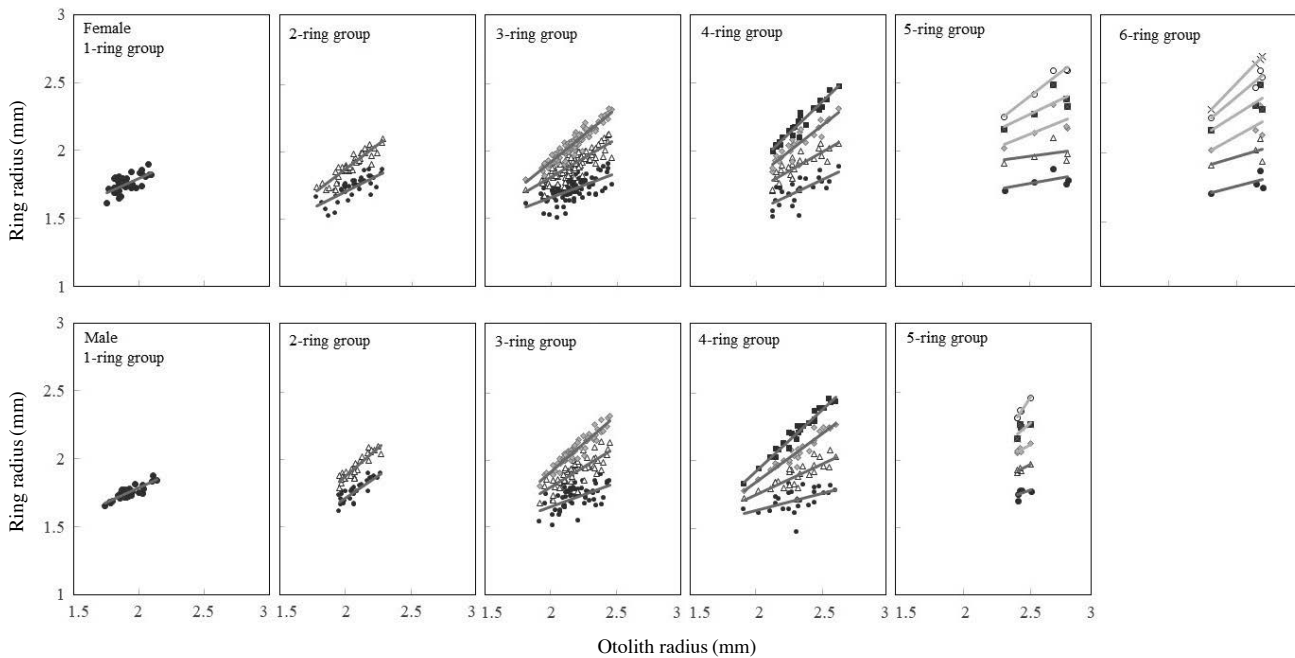


Fig. 8. Relationship between otolith radius and ring radius for female (upper panel) and male (lower panel) chub mackerel.

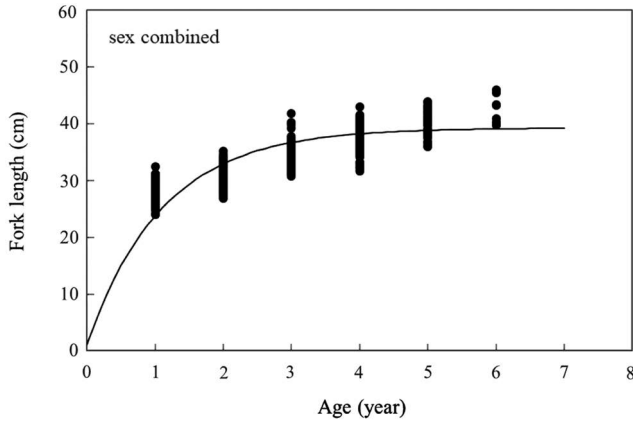


Fig. 9. Estimated ages and fitted growth curves for chub mackerel caught in the Korean waters.

Table 1. Back-calculated fork length (cm) at the formation of annuli in otolith for sex-combined chub mackerel caught in the Korean waters

Estimated age	Number of specimens	Fork length (cm)					
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
1	71	27.0					
2	79	27.6	30.5				
3	116	27.4	30.7	33.1			
4	94	27.0	30.4	33.5	35.5		
5	34	26.7	30.3	33.4	36.2	39.2	
6	7	27.9	31.6	34.6	37.4	39.9	42.8
Mean		27.3	30.7	33.7	36.4	39.6	42.8
SD		0.4	0.5	0.5	0.8	0.4	

Table 2. Estimates of the von Bertalanffy growth parameters by two approaches (nominal birthdate and traditional approach) for chub mackerel caught in the Korean waters

Approaches	L _∞	k	t ₀	R ²	MSE
Nominal birthdate	39.3	0.90	-0.033	0.74	9.53
Traditional approach	36.7	1.13	-0.017	0.73	10.76

L_∞ = asymptotic length, k = growth coefficient and t₀ = theoretical age when the fish has length 0

통방법의 결과를 비교하였다. 명목생일을 적용한 고등어의 연령은 6세까지 추정되었으나, 전통적 방법으로는 5세까지 추정되었다. 결정계수(R²)와 평균제곱오차(MSE)를 계산하여 성장식의 적합도를 살펴본 결과, 명목생일을 적용한 방법이 연령별 표준체장의 추정값과 실험값 사이의 오차가 적은 것으로 나타났다(Table 2).

Table 3. Age-length key for chub mackerel caught by a large purse-seine in the Korean waters from January to December 2015

FL (cm) range	Age group						
	0	1	2	3	4	5	6
19~20	100.0						
20~21	100.0						
21~22	100.0						
22~23	100.0						
23~24	75.0	25.0					
24~25	55.6	44.4					
25~26	54.5	45.5					
26~27	42.3	50.0	7.7				
27~28	15.0	45.0	40.0				
28~29	4.2	54.2	41.7				
29~30		39.1	60.9				
30~31		35.3	58.8	5.9			
31~32		7.1	64.3	25.0	3.6		
32~33		3.7	44.4	40.7	11.1		
33~34			17.2	75.9	6.9		
34~35			6.3	71.9	21.9		
35~36			2.4	54.8	40.5	2.4	
36~37				54.3	37.1	8.6	
37~38				23.1	65.4	11.5	
38~39					75.0	25.0	
39~40				15.4	38.5	38.5	7.7
40~41				7.1	50.0	28.6	14.3
41~42				12.5	37.5	50.0	
42~43					16.7	83.3	
43~44						60.0	40.0
44~45							
45~46							100.0

5. 연령구조

Age-length key를 이용하여 대형선망어업으로 어획된 고등어의 연령군별 체장분포를 살펴보았다(Table 3). 0세군의 평균 체장은 FL 23.9 cm (범위: 19.1~29.0 cm)였으며, 23 cm까지는 모두 0세군에 포함되었다. 1세군의 평균 체장은 FL 27.8 cm (범위: 23.1~33.0 cm)였으며, 2세군의 평균 체장은 30.6 cm (범위: 26.1~36.0 cm), 3세군의 평균 체장은 34.8 cm (범위: 30.1~42.0 cm), 4세군의 평균 체장은 37.2 cm (범위: 31.1~43.0 cm), 5세군의 평균 체장은 40.1 cm (범위: 35.1~44.0 cm), 6세군의 평균 체장은 42.7 cm (범위: 39.1~46.0 cm)였다.

부산공동어시장에서 대형선망어업으로 2015년 1월부터 12월까지 위판된 체급별 총 상자수(마리수 환산)와 Age-length key를 이용하여 연간 어획된 고등어의 연령군별 어획비율을 계산하였다(Fig. 10). 가장 많이 어획된 연령은 2세군으로 전체 어획

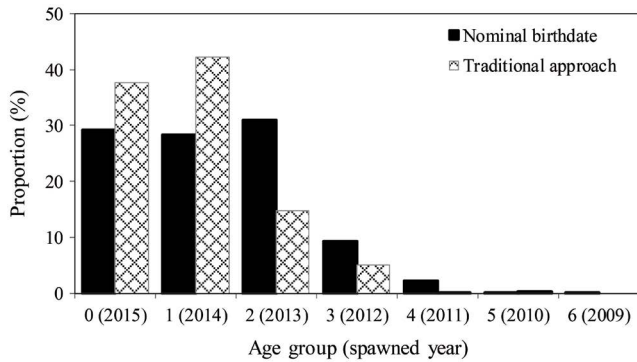


Fig. 10. Proportions of individual chub mackerel at each age group (spawned year) caught from January to December 2015, for comparison between the two age determination approaches (nominal birthdate vs. traditional approach).

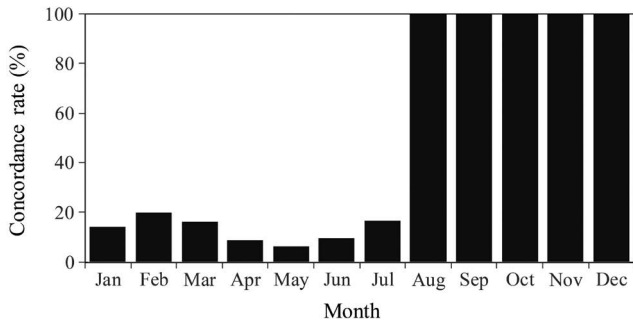


Fig. 11. Age concordance rate (%) estimated by the two approaches (nominal birthdate and traditional approach) from January to December 2015.

량의 30.9%를 차지하였다. 다음으로 높은 연령군은 0세군으로 29.2%, 1세군은 28.4%, 3세군은 9.3%, 4세군은 2.1%, 5세군은 0.1%, 6세군 0.01%의 순으로 나타났다. 따라서, 대형선망어업으로 어획된 고등어의 대부분은 0~2세군(88.5%)에 해당되는 것을 알 수 있었다.

명목생일 적용법과 전통방법의 연령 일치율은 8월부터 12월까지는 100%였으나, 이석 가장자리 해석이 반영되는 1월부터 7월 사이에는 평균 13.2%의 낮은 일치율을 보였다(Fig. 11). 연령군별 어획비율을 비교한 결과, 0~2세군에서 전통방법과 어획비율의 차이가 8.5~16.1%로 나타났으며, 특히 2세군에서 16.1% (2세군 비율: 명목생일 30.9%, 전통방법 14.8%)로 가장 큰 차이를 보였다(Fig. 10).

위판장에서 판매된 고등어의 체급별 연령조성을 분석한 결과, Fig. 12와 같이 한 체급에는 4개 이상의 연령군이 혼재하고 있었다. 체급별로 살펴보면, 세(very small) 체급에서는 0세군이 37.8%로 차지하는 비율이 가장 높았고, 소(small) 체급에서는 2세군이 50.9%, 중(medium)과 대(large) 체급에서는 3세군이 각각 47.1%, 45.6%로 비율이 가장 높았다.

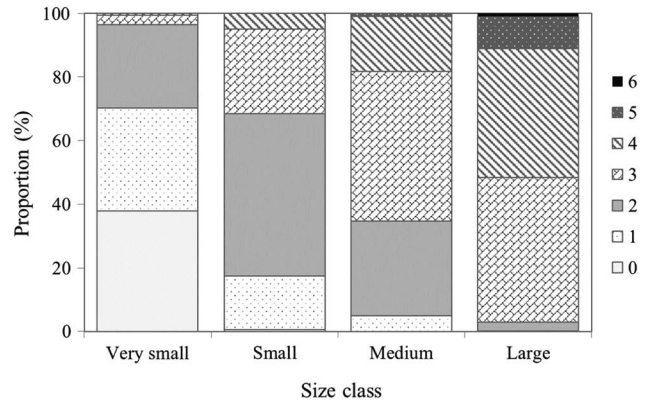


Fig. 12. Proportions of age groups (1~6 years old) by each size class (very small, small, medium and large) of chub mackerel sold in Busan cooperative fish market in 2015.

고찰

본 연구는 산란된 해를 정확히 추정할 수 있도록 돕는 연령사정방법인 명목생일(1월 1일)을 적용하여 고등어의 연령을 판독하였고, 이를 바탕으로 성장식 매개변수와 대형선망 어획물의 연령구조를 분석하였다. 본 연구에 이용된 고등어시료는 전통적 연령사정법인 투명대의 수를 세어 연령을 계산하면 5세까지 추정되었으나, 명목생일 적용방법으로는 6세까지 추정되었다. 두 가지 방법의 가장 큰 차이는 어획물의 연령구조에서 뚜렷이 나타났다. 0~2세군의 어획비율 차이는 8.5~16.1%였으며, 특히 투명대 형성기간인 1~7월에는 가장자리 해석으로 연령을 추정함으로써 전통적인 연령사정 방식과 큰 차이(일치율: 13.2%)를 보였다.

국제해양탐사위원회(ICES, International Council for the Exploration of the Sea)는 유럽 인접국가 간 협의를 통해 표층성 어류부터 저서성 어류까지 많은 어종에 대해 연령 추정과 검증 방법을 표준화하여 연구의 정확도와 정밀도를 높이고 있다(ICES, 2019). 연령사정법은 어종마다 다른 고유의 산란 특성을 고려하여 생일과 이석 가장자리 해석을 통해 연령을 판독하는데, 대부분 어종의 생일로 1월 1일을 적용하고 있다. 다만, 대서양 청어와 같이 산란기간이 상당히 긴 어종은 겨울에 산란된 개체가 1월 1일을 보내면서 치어 크기에서 1세가 될 수 있어 전통방식인 투명대의 개수를 세어 연령을 분석한다(ICES, 2019). 명목생일 1월 1일의 적용은 같은 해에 산란된 개체가 동일한 연급군으로 분류될 수 있도록 하기에 자원평가에서 유용하게 활용된다(O'Sullivan, 2007). 따라서, 본 연구에서 추정된 성장식과 연령구조는 우리나라 주변해역에 서식하는 고등어의 자원변동과 자원구조 이해에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

현재까지 보고된 연구결과를 살펴보면, 태평양에 서식하는 고등어(*Scomber japonicus*)는 지리적 차이에 따른 수온, 먹이

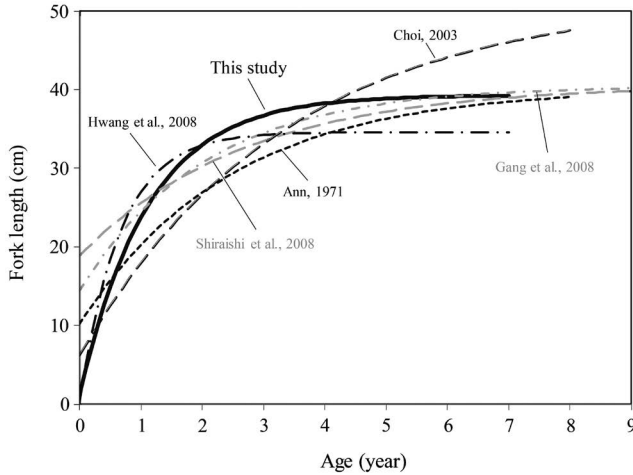


Fig. 13. Comparison of the growth curve for chub mackerel obtained in this study with those of Ann (1971), Choi (2003), Hwang *et al.* (2008), Gang *et al.* (2008) and Shiraishi *et al.* (2008).

등의 차이로 성장이 서로 다를 수 있고(Ku and Tzeng, 1985; Shiraishi *et al.*, 2008), 과도한 어획에 의해 연령별 평균체장이 감소할 수 있는 것으로 나타났다(Gang *et al.*, 2008). 우리나라 주변해역에서 1960년대에 어획된 고등어의 비늘을 이용한 연구에서 이론적 평균 최대체장은 40.2 cm, 성장계수 k 는 0.41(Ann, 1971)로 본 연구에서 추정된 평균 최대체장 39.3 cm와 유사하였으나, 본 연구의 $k=0.90$ 과는 차이를 보이면서 과거에 비해 최대 체장에 이르는 고등어의 성장이 빨라진 것을 알 수 있었다. 1990년대 추체골(Choi, 2003)과 이석(Hwang *et al.*, 2008)을 이용하여 분석한 두 연구는 서로 상이한 성장 특성을 보였으나, 이석을 이용한 결과는 2세까지의 연령별 평균체장이 본 연구결과와 유사하였다. 인접한 국가에서 고등어 대마계군의 성장을 연구한 Gang *et al.* (2008)과 Shiraishi *et al.* (2008)에서는 이론적 최대 체장은 각각 40.5 cm, 40.6 cm로 본 결과보다 평균 1.3 cm 크고, K 는 각각 0.49, 0.37로 본 결과보다 작았으나, 본 연구의 성장식과 가장 유사한 결과라고 할 수 있었다(Fig. 13). 이렇게 연구결과 간 성장 매개변수가 상이한 것은 여러 가지 요인에 의해 발생할 수 있을 것이다. 예를 들면, 서로 다른 연령형질의 사용, 연령 분석에 이용한 시료의 개수와 체장범위의 상이, 시대별 해역별 어획강도의 변화, 서식환경과 먹이 조건의 차이 등이 주요하게 작용하였을 것으로 사료된다.

고등어의 연령별 크기(length at age)는 밀도종속적 요인과 환경 요인에 의해서 달리 나타날 수 있다. Watanabe and Yatsu (2004)는 1970년부터 1997년까지 고등어의 연령별 평균체장(FL)의 변동성을 보여주었는데, 28년간 평균체장의 변동범위가 0세의 경우는 19.2~25.9 cm, 1세는 24.3~31.6 cm, 2세는 29.1~34.5 cm, 3세는 31.2~36.1 cm로 나타났고, 특히 고등어 0세가 밀도종속적 성장을 보인다고 하였다. 본 연구에서의 연령

별 평균체장은 Watanabe and Yatsu (2004)에서 고등어 가입량이 낮고 평균체장이 상대적으로 크게 나타났던 시기의 결과와 유사한 것을 알 수 있었다. 수온과의 상관성을 연구한 Higuchi *et al.* (2019)은 높은 수온으로 성장이 좋았던 고등어 치어는 이후 유어 시기에 차고 영양분이 풍부한 해류를 만나 더욱 성장이 좋아질 수 있음을 보고하였다. 따라서, 고등어의 성장은 연변동성이 크므로, 자원의 상태(자연사망률, 연령구조, 연급군 강도 등)를 제대로 진단하기 위해서는 매년 0세부터 최고연령까지 연령분석이 필요할 것으로 판단된다.

국립수산과학원에서는 자원회복사업의 일환으로 대형선망어업에 의한 고등어의 연도별 평균체장과 미성어(FL 27 cm 이하) 어획비율을 2000년부터 지속적으로 모니터링하고 있다. 과학원의 자료에 따르면, 어획물 전체의 평균체장은 증가 경향, 미성어 비율은 감소 경향으로 나타나고 있다. 특히 2012년부터 2015년은 평균체장은 증가하고, 미성어 비율은 예년에 비해 크게 감소하였다(unpublished data). 이 기간은 포획 금지기간과 금지체장이 설정되기 이전이기 때문에 대형선망어업의 어장에 매년 큰 변화가 없었다고 가정한다면, 이 기간 동안은 고등어의 성장이 좋아 전체 어획물의 평균 크기가 커진 것으로 보여진다. 이러한 이유로, 본 조사에서 2013년 산란된 2세와 2012년 산란된 3세의 평균체장이 2000년대 시료를 이용한 대마계군에서 추정된 평균체장보다 2~3 cm의 차이를 보이며 크게 추정될 수 있었던 것이라 생각된다(Fig. 13).

Age-length key는 어류의 체장분포를 연령분포로 바꿔주어 자원관리를 위한 유용한 정보를 제공한다. 2015년 대형선망은 고등어를 0세부터 6세까지 어획하였으나, 2세군의 비율이 30.9%로 가장 높고 다음으로 0세군이 29.2%, 1세군이 28.4%, 3세군이 9.3%의 순이었으며, 이들 4개 연령군은 전체 어획량의 97.8%로 대부분을 차지하였다. 고등어의 자원관리를 위해 2016년부터 금지체장 TL 21 cm (i.e. FL 20 cm)가 시행되고 있으나 이는 만 1년도 안된 어린 개체에 해당되는 크기이다. 50% 성숙 체장이 29.3 cm (Kim *et al.*, 2020)인 것을 고려하면 현 금지체장 (TL 21 cm)보다 상향된 관리기준이 필요할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 2015년 1월부터 12월까지 한국 주변해역에서 대형선망어업으로 어획된 고등어의 성장과 연령구조를 분석하였다. 연령분석을 위해 총 459개의 이석이 사용되었고, 가랑이체장의 범위는 19.6~46.0 cm였다. 연령은 투명대의 수, 채집일, 이석 가랑자리 형태, 1월 1일의 명목생일에 대한 정보를 이용하여 판독하였다. 윤문은 고등어의 산란시기인 5월에 형성되었다. 연령은 0세부터 6세까지 추정되었고, von Bertalanffy 성장식은 성별 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 암컷과 수컷을 모두 합한 성장

식은 $FL_t = 39.3 \times \{1 - \exp[-0.90 \times (t + 0.033)]\}$ 으로 도출되었다. 2015년 대형선망 어획물의 연령구조를 살펴본 결과, 2세군의 어획비율이 30.9%로 가장 높았고, 0~2세군은 전체 어획물의 88.5%로 대부분을 차지하였다.

사 사

본 논문은 국립수산물과학원 수산과학연구사업인 ‘남해 연안어업 및 환경생태 조사(R2021034)’의 지원으로 수행되었으며, 논문의 질적 완성도를 높여주신 세 분의 심사위원분께 진심으로 감사의 인사를 드립니다.

REFERENCES

- Ann, H.B. 1971. Studies on the age and growth of the Pacific mackerel, *Scomber japonicus* (Houttyn). Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Agency, 7: 7-24.
- Basilone, G., M. Barra, R. Ferreri, S. Mangano, M. Pulizzi, G. Giacalone, I. Fontana, S. Aronica, A. Gargano, R. Paola, S. Genovese and A. Bonanno. 2020. First annulus formation in the European anchovy; a two-stage approach for robust validation. Sci. Rep., 10: 1079. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58174-5>.
- Chilton, D.E. and R.J. Beamish. 1982. Age determination methods for fishes studied by the Ground fish Program at the Pacific Biological Station. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 60: 1-102.
- Choi, Y.M. 2003. Stock assessment and management implications of chub mackerel, *Scomber japonicus* in Korean waters. Doctoral Thesis, Pukyong national university, Busan, Korea, 130pp.
- Collette, B.B. and C.E. Nauen. 1983. FAO species catalogue, Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish. Synop., 125: 1-137.
- Gang, L.I., C. Xinjun and F. Bo. 2008. Age and growth of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China and Yellow Seas using sectioned otolith samples. J. Ocean. Univ. Chin., 7: 439-446.
- Higuchi, T., S. Ito, T. Ishimura, Y. Kamimura, K. Shirai, H. Shindo, K. Nishida and K. Komatsu. 2019. Otolith oxygen isotope analysis and temperature history in early life stages of the chub mackerel *Scomber japonicus* in the Kuroshio-Oyashio transition region. Deep Sea. Res. Part II, 169-170. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.104660>.
- Hwang, S.D., J.Y. Kim and T.W. Lee. 2008. Age, growth, and maturity of chub mackerel off Korea. N. A. J. Fish. Man., 28: 1414-1425. <https://doi.org/10.1577/M07-063.1>.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 2018. Workshop on age reading of horse mackerel, Mediterranean horse mackerel and blue jack mackerel (*Trachurus trachurus*, *T. mediterraneus* and *T. picturatus*) (WKARHOM3). ICES CM 2018/EOSG, 28: 1-186.
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea). 2019. Handbook of fish age estimation protocols and validation methods. ICES cooperative research report. NO. 346. 180pp.
- Kang, S., K.M. Jung and H.K. Cha. 2015. First annulus formation and age determination for otoliths of chub mackerel *Scomber japonicus*. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 48: 760-767.
- Kim, S., J. Kim, W.T. Stockhausen, C. Kim, S. Kang, H. Cha, H. Ji, S. Jang and H. Baek. 2019. Characteristics of the eggs and larval distribution and transport process in the early life stage of the chub mackerel *Scomber japonicus* near Korean waters. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 52: 666-684. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0666>.
- Kim, S., J. Kim, H. Park, S. Kang, H. Cha and H. Baek. 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>.
- Ku, J.F. and W.N. Tzeng. 1985. Age and growth of common mackerel (*Scomber japonicus*) in the waters of Northeastern Taiwan, with particular reference to the subpopulation discrimination. J. Fish. Soc. Taiwan, 12: 1-11. <https://doi.org/10.29822/JFST.198512.0001>.
- Lee, H.H., S. Kang, K.M. Jung, S. Jung, D. Sohn and S. Kim. 2017. Observed pattern of diel variation in specific gravity of Pacific mackerel eggs and larvae. Ocean Polar Res., 39: 257-267. <https://doi.org/10.4217/OPR.2017.39.4.257>.
- Matta, M.E. and D.K. Kimura. 2012. Age determination manual of the Alaska Fisheries Science Center Age and Growth Program. NOAA Professional Paper NMFS, 13: 1-97.
- Murua, H., G. Kraus, F. Saborido-Rey, P.R. Withames, A. Thorsen and S. Junquera. 2003. Procedures to estimate fecundity in marine fish species in relation to their reproductive strategy. J. Northwest. Atl. Fish. Sci., 33: 33-54.
- O'Sullivan, S. 2007. Fisheries long term monitoring program-Fish age estimation review. Department of Primary Industries and Fisheries, Brisbane, Australia, 22pp.
- Panfili, J., H. Pontual, H. Troadec and P.J. Wright. 2002. Manual of fish sclerochronology. Ifremer-IRD coedition, Brest, France, 463pp.
- R Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org/>.
- Shiraishi, T., K. Okamoto, M. Yoneda, T. Sakai, S. Ohshimo, S. Onoe, A. Yamaguchi and M. Matsuyama. 2008. Age validation, growth and annual reproductive cycle of chub mackerel *Scomber japonicus* off the waters of northern Kyushu and in the East China Sea. Fish. Sci., 74: 947-954.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). Human Biol., 10: 181-213.

Walsh, C., P. Horn, J. McKenzie, C.Ó. Maolagáin, D. Buckthought, C. Sutton and H. Armiger. 2014. Age determination protocol for snapper (*Pagrus auratus*). New Zealand fisheries assessment report, 51: 1-33.

Watanabe, C. and A. Yatsu. 2004. Effects of density-dependence and

sea surface temperature on interannual variation in length-at-age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Kuroshio-Oyashio area during 1970-1997. Fish. Bull., 102: 196-206.