

한국 연근해 고등어(*Scomber japonicus*)의 성숙 및 산란 특성

김소라* · 김중진 · 박희원 · 강수경 · 차형기 · 백혜자¹

국립수산과학원 연근해자원과, ¹부경대학교 자원생물학과

Maturity and Spawning of the Chub Mackerel *Scomber japonicus* in the Korean Waters

So Ra Kim*, Jung Jin Kim, Hee Won Park, Sukyung Kang, Hyung Kee Cha and Hea Ja Baek¹

Costal Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Department of Marine Biology, Graduate School, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

We investigated the maturity and spawning dynamics of chub mackerel *Scomber japonicus* in Korean waters using samples collected by a large purse seine fishery from January 2013 to December 2017. We analyzed sex ratio, monthly maturity stage, gonadosomatic index (GSI), Fulton's condition factor (K), and fork length at 50% group maturity. Spawning occurred from March to June, with a peak in May. We detected a significant difference in sex ratio (χ^2 test, $P < 0.05$). The relationship between fork length and body weight was expressed as $BW = 0.0025 FL^{3.4693}$. We estimated 50% group maturity at a female fork length of 29.3 cm.

Keywords: Chub mackerel, *Scomber japonicus*, Maturity, Spawning, Korean waters

서 론

고등어(*Scomber japonicus*)는 온대해역에 넓게 서식하는 표층성 어류(pelagic fish)로 우리나라 연근해와 일본, 동중국해 및 동부태평양 연안 등에 분포한다(Collette and Nauen, 1983; Scoles et al., 1998). 우리나라 연근해를 비롯한 북서태평양에 분포하는 고등어는 서식 범위와 회유경로, 산란장의 위치에 따라 대마계군(Tsushima Current stock)과 태평양 계군(Pacific stock)으로 나뉜다(Shiraishi et al., 2008). 대마계군은 동중국해와 한국 연근해(동·서·남해), 일본의 규슈와 혼슈 서부해역을 따라 서식하며, 산란장은 타이완 북부해역과 규슈 서부해역 및 쓰시마섬 주변해역, 우리나라 남해와 제주 주변해역, 동해남부해역으로 알려져 있다(Hiyama et al., 2002; Yukami et al., 2009; Sassa and Tsukamoto, 2010; Lee et al., 2016; Kim et al., 2019). 반면, 태평양계군은 일본의 태평양 연안을 따라 분포하며, 산란장은 Izu Islands 주변으로 알려져 있다(Murayama et al., 1995; Watanabe et al., 1999). 남해 및 제주도 주변해역, 동해남부해역은 우리나라 연근해에 내유하는 대마계군의 산란장과 보육장으로서 중요한 역할을 하며, 어업자원의 가입밀도가 높은 해역

이다(Kim and Pang, 2005; Ko et al., 2010; Kim et al., 2019).

고등어의 산란시기는 3-6월, 주산란기는 4월로 보고되었으며(Cha et al., 2002), 봄철(3-6월)에 산란을 마친 어미 고등어는 여름철(7-8월)에 섭이활동을 하기 위해 서해와 동해로 북상하였다가 가을철(10-11월)에 월동준비를 위해 남해와 제주 주변으로 남하하는 계절적인 회유를 하는 것으로 알려져 있다(Choi, 2003).

우리나라는 고등어의 자원관리를 위해 1999년부터 대형선망 어업을 대상으로 총허용어획량(total allowable catch, TAC)제도를 시행하고 있으며, 2016년부터는 수산자원관리법시행령 개정에 따라 포획금지체장(전장 21 cm)과 금어기(4-6월 중 한 달)를 추가로 실시하고 있다.

고등어의 국내 연구동향을 살펴보면, 알의 비중과 수직분포(Jung et al., 2013), 난 발생과 자치어의 형태 발달(Kim et al., 2008), 난·자치어의 분포특성(Lee et al., 2006; Lee et al., 2016), 성숙과 산란(Cha et al., 2002), 식성(Yoon et al., 2008), 이성 초륜 형성 및 연령사정(Kang et al., 2015)등 다양한 연구가 진행된 바 있다. 하지만 국내에서는 과거 고등어의 성숙과 산란에 관한 연구가 보고된 이후 20년 가까이 산란 생태에 관한 연

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2287 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: 1012ksr@gmail.com



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.2020.0009>

Korean J Fish Aquat Sci 53(1), 9-18, February 2020

Received 26 December 2019; Revised 21 January 2020; Accepted 12 February 2020

저자 직위: 김소라(석사 후 인턴 연구원), 김중진(연구사), 박희원(연구사), 강수경(연구관), 차형기(연구관), 백혜자(교수)

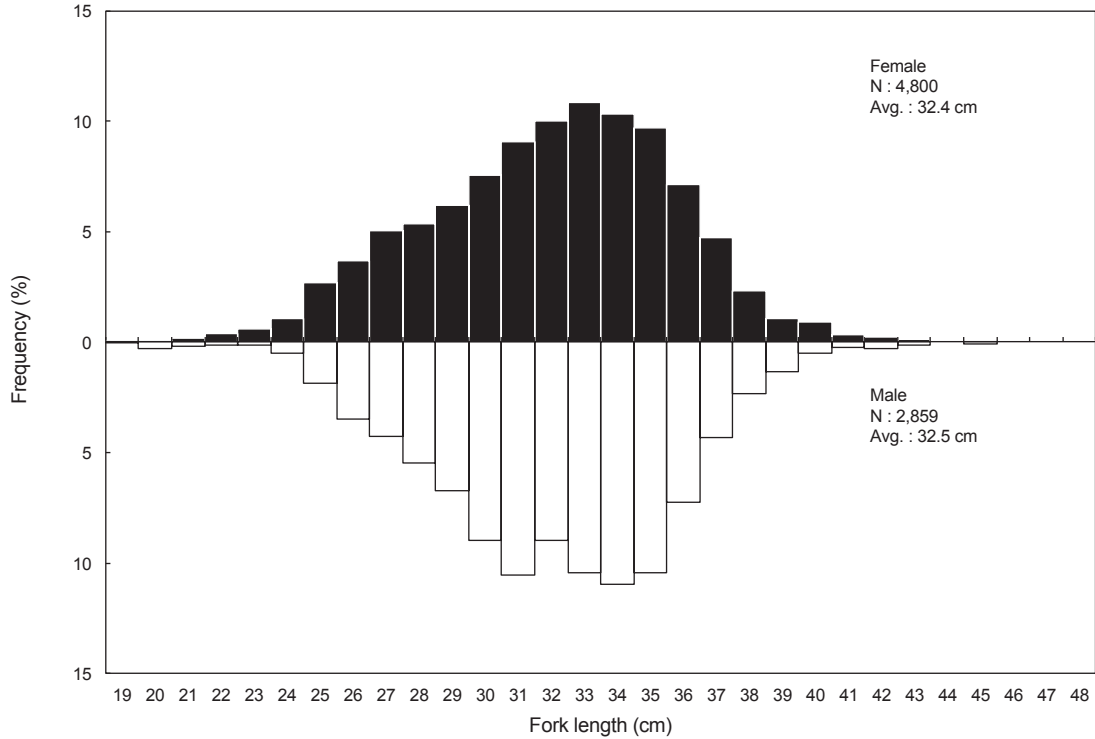


Fig. 1. Size-frequency distribution of fork length of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017.

구가 거의 이루어지지 않았다.

최근 Kim et al. (2019)의 연구에서 고등어 난·자치어의 시공간적 분포 경향을 활용한 한국 연근해 고등어의 산란장을 보고한 바 있으며, 추후 지속적으로 자원을 이용하기 위해선 이처럼 연근해 고등어의 전반적인 산란생태에 관한 연구가 필요하며, 과거 연구와의 비교를 통해 현 상태를 재조명할 필요가 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 2013년부터 2017년까지 5년간의 연근해 고등어의 체장특성, 성비, 생식소속도지수(gonadosomatic index, GSI), 비만도지수(K), 성숙체장 등의 전반적인 산란생태를 밝히고 과거 연구와 비교하는데 목적을 두었다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용된 고등어(*Scomber japonicus*)는 2013년 1월부터 2017년 12월까지 우리나라 연근해(서해, 동해남부, 남해, 북부동중국해)에서 소형선망과 대형선망어업을 이용해 어획된 것을 매월 구입하여 조사하였다. 구입한 시료는 실험실로 옮겨 암·수 별로 전장(total length, TL)과 가랑이체장(fork length, FL)을 0.1 cm단위로 측정하였으며, 체중(body weight, BW)과 생식소 중량(gonad weight, GW)은 0.01 g까지 계량하였다.

고등어의 체장분포가 암·수 간에 차이가 있는지 알아보기 위

하여 t-test 검정을 하였고, 월별 암·수 성비 차이는 chi-square test를 통해 유의성 검증을 하였다.

(1)가랑이체장-전장과의 관계를 알아보기 위하여 아래의 식으로 선형화 하여 나타내었고, (2)가랑이체장-체중의 상대성장식을 추정하기 위해 아래와 같은 식을 사용하였다.

$$TL=aFL-b \dots\dots\dots(1)$$

$$BW=aFL^b \dots\dots\dots(2)$$

여기서 TL은 전장(cm), FL은 가랑이체장(cm), BW는 체중(g, wet weight), a와 b는 상수를 나타낸다.

고등어 암컷의 생식소 발달과정은 Murua et al. (2003)을 참고하여 미숙(immature), 중숙(maturing), 성숙(mature), 완숙(spawning), 방후(spent)로 구별하여 5년간(2013-2017)의 월별 성숙도 비율을 나타내었다. 또한 암컷과 수컷의 월별 생식소속도지수(gonadosomatic Index, GSI)의 경향을 알아보기 위해 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$GSI=\frac{GW}{BW} \times 100$$

여기서 GW는 생식소 중량(g, wet weight), BW는 체중(g, wet weight)을 나타낸다.

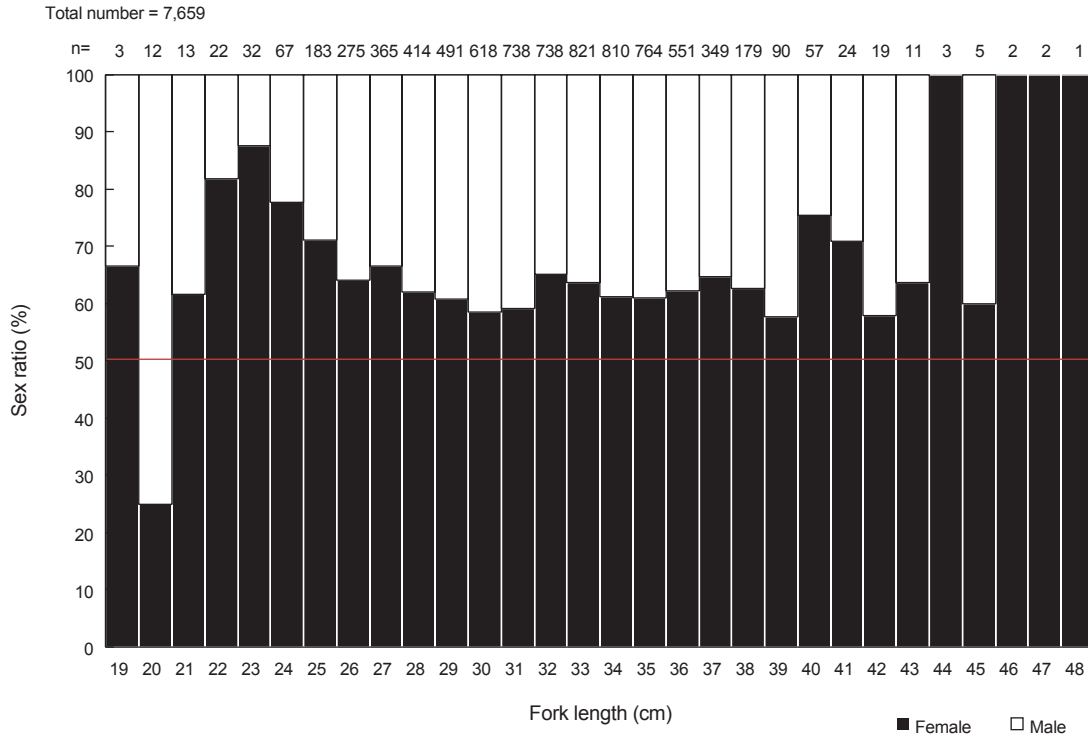


Fig. 2. Sex ratio (%) of fork length distribution of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017.

비만도지수(Fulton's condition factor, K)는 생식소 속도지수와(GSI)의 관계를 알아보기 위해 아래와 같은 식을 사용하여 구하였다(Froese, 2006).

$$K = \frac{BW}{FL^3} \times 1000$$

암컷의 성숙체장을 추정하기 위해 산란기로 추정되는 시기에 생식소 성숙도가 중숙 이상인 개체를 당해년도 산란가능군으로 보고 가랑이체장 계급을 1 cm 간격으로 구분하여 전체 출현 개체수에 대한 성숙한 개체의 비율로 구하였고, logistic식을 이용하였다(Zhang, 2010b).

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{(b_1 - b_2 \cdot FL_i)}}$$

여기서 P_i 는 i 체장계급에서의 성숙비율, FL_i 는 i 체장계급의 가랑이체장, b_1, b_2 는 상수이다.

성숙체장은 대상어종의 자원상태를 진단하기 위해 사용되는 중요한 요소이며, 시행하고 있는 포획 금지체장의 적합여부를 판단 할 수 있는 근거자료가 된다. 일반적으로 50% 성숙체장을 사용하나, 본 연구에서는 추후 대상어종의 자원수준에 적합한 자원관리 방안을 마련하기 위해 50%, 75%, 97.5%의 성숙체장

을 추정하여 과학적인 기준을 제시하였다.

결 과

체장분포 및 성비

암·수 체장분포

2013년 1월부터 2017년 12월까지 한국 연근해에서 대형선망 어업으로 어획된 암·수 총 7,659개체의 고등어를 측정된 결과 (Table 1, Fig. 1), 총 4,800개체의 암컷 체장(FL)은 최소 19.6 cm에서 최대 48.0 cm, 평균 32.4 cm로 나타났으며, 32.0-35.9 cm 범위에서 10% 전후로 높은 분포를 보였다. 수컷은 총 2,859 개체가 채집되었고, 체장은 최소 19.6 cm에서 최대 45.4 cm, 평균 32.5 cm로 나타났으며, 31.1-35.9 cm 범위에서 10% 이상의 높은 분포를 보였다. 암컷과 수컷의 가랑이 체장은 비슷한 분포 범위를 보였으며, 암·수 체장 간의 차이는 없는 것으로 나타났다(T-test, $P > 0.05$).

성비

조사기간 중 채집된 암·수의 성비는 62.7:37.3로 암컷의 비율이 수컷보다 높은 것으로 나타났다(X^2 -test, $P < 0.05$) (Table 1). 체급별로 알아본 암·수 성비는 20 cm 체급을 제외한 모든 체급에서 암컷의 비율이 높게 나타났으며, 특히 22-25 cm의 작은 체

급과 40-41 cm, 44-48 cm의 큰 체급에서 암컷의 비율이 70% 이상 높게 나타났다(Fig. 2).

가랑이체장-전장관계

가랑이체장을 전장으로 변환하기 위하여 암·수 총 11,447개체를 사용하여 가랑이체장-전장의 관계를 선형화 하여 나타내었고, 관계식은 $TL=1.0827FL-0.3393$ ($R^2=0.9886$)로 추정하였다(Fig. 3).

Table 1. Monthly size distributions (fork length, FL) of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017

Year	Month	Female				Male			
		Range (cm)	Mean	n	Sex ratio (%)	Range (cm)	Mean	n	Sex ratio (%)
2013	Jan.	22.7-39.2	31.2	95	82.6	24.2-37.9	31.1	20	17.4
	Feb.	23.7-37.5	32.9	76	71.7	25.6-37.2	32.5	30	28.3
	Mar.	22.5-38.4	29.0	83	74.1	22.8-37.8	32.6	29	25.9
	Apr.	25.3-41.5	31.7	76	66.7	25.0-39.0	32.7	38	33.3
	May	29.2-40.0	32.6	57	49.1	29.6-39.9	32.3	59	50.9
	Jun.	25.7-38.5	31.8	71	59.2	25.2-38.0	31.2	49	40.8
	Jul.	24.9-35.9	30.7	77	77.8	28.0-33.3	31.3	22	22.2
	Aug.	25.8-34.6	30.9	71	59.2	26.1-34.5	30.3	49	40.8
	Sep.	-	-	-	-	-	-	-	-
	Oct.	29.4-37.5	32.9	54	49.5	28.3-38.2	33.0	55	50.5
	Nov.	26.1-39.9	32.7	102	86.4	29.6-38.4	33.5	16	13.6
	Dec.	26.7-38.5	34.0	99	82.5	27.8-36.2	31.8	21	17.5
2014	Jan.	23.2-37.1	30.5	158	65.8	24.1-38.2	32.2	82	34.2
	Feb.	25.1-37.2	31.0	81	67.5	25.9-38.1	31.8	39	32.5
	Mar.	23.8-35.4	30.2	66	57.4	25.4-36.1	31.9	49	42.6
	Apr.	24.0-48.0	33.3	104	73.8	26.1-38.9	33.7	37	26.2
	May	25.3-47.5	35.4	96	56.1	25.3-40.4	31.4	75	43.9
	Jun.	28.2-39.2	32.4	68	56.7	27.7-40.3	33.0	52	43.3
	Jul.	30.0-37.4	32.9	73	60.8	29.5-35.9	32.9	47	39.2
	Aug.	24.9-37.8	31.9	63	52.5	24.8-36.6	31.0	57	47.5
	Sep.	23.4-39.0	32.7	174	65.9	24.8-38.6	31.7	90	34.1
	Oct.	23.7-42.8	32.6	137	58.8	20.5-38.4	32.6	96	41.2
	Nov.	24.4-37.8	32.3	84	70.0	25.1-35.5	30.6	36	30.0
	Dec.	25.1-38.5	32.5	59	50.0	24.3-38.0	32.4	59	50.0
2015	Jan.	27.3-39.2	33.6	70	60.3	28.1-37.2	33.3	46	39.7
	Feb.	26.1-43.9	34.1	64	65.3	26.7-42.9	34.7	34	34.7
	Mar.	26.4-39.7	32.6	65	54.2	26.2-39.9	32.5	55	45.8
	Apr.	26.9-46.0	34.0	71	54.6	27.2-43.8	35.6	59	45.4
	May	24.0-41.6	31.9	46	54.8	23.2-39.1	32.5	38	45.2
	Jun.	26.5-36.0	31.5	75	62.5	26.8-34.5	31.3	45	37.5
	Jul.	25.2-36.6	31.6	76	63.3	25.4-34.9	31.5	44	36.7
	Aug.	23.7-36.5	31.3	85	70.8	24.8-37.2	31.4	35	29.2
	Sep.	26.0-38.6	32.3	202	84.5	26.2-36.8	31.4	37	15.5
	Oct.	25.3-38.4	32.4	118	49.6	22.1-40.5	31.7	120	50.4
	Nov.	19.6-39.8	33.5	100	47.4	19.6-40.1	33.0	111	52.6
	Dec.	23.1-38.8	33.0	124	52.8	26.0-38.3	33.0	111	47.2

Table 1. continued

Year	Month	Female				Male			
		Range (cm)	Mean	n	Sex ratio (%)	Range (cm)	Mean	n	Sex ratio (%)
2016	Jan.	26.5-38.6	33.3	59	52.2	25.5-38.9	32.4	54	47.8
	Feb.	28.0-39.3	33.6	60	50.4	27.5-38.5	32.8	59	49.6
	Mar.	24.2-40.1	31.4	68	58.1	20.7-38.6	30.8	49	41.9
	Apr.	24.6-37.9	31.0	87	59.6	26.7-39.1	32.7	59	40.4
	May	27.2-44.2	34.8	109	40.7	26.9-45.4	33.5	159	59.3
	Jun.	-	-	-	-	-	-	-	-
	Jul.	23.8-41.1	30.8	82	68.3	25.6-38.5	31.7	38	31.7
	Aug.	29.9-39.5	34.2	82	96.5	30.7-31.7	31.3	3	3.5
	Sep.	27.4-36.1	32.4	65	54.6	27.4-37.2	32.3	54	45.4
	Oct.	28.6-39.2	33.9	89	78.8	28.9-39.5	33.1	24	21.2
	Nov.	29.0-39.0	33.9	69	59.5	28.2-39.1	33.4	47	40.5
	Dec.	25.2-39.0	33.8	75	64.1	26.0-38.5	32.7	42	35.9
2017	Jan.	27.0-37.9	33.3	83	69.2	28.4-37.7	34.5	37	30.8
	Feb.	30.3-42.5	35.8	58	54.7	29.1-43.0	35.2	48	45.3
	Mar.	31.3-38.3	34.3	62	52.1	30.5-38.1	34.4	57	47.9
	Apr.	21.9-38.1	31.9	65	55.1	22.7-38.5	33.0	53	44.9
	May	25.5-40.5	32.8	71	51.1	25.3-42.2	31.9	68	48.9
	Jun.	29.5-42.2	32.6	75	64.7	28.0-42.5	33.9	41	35.3
	Jul.	27.8-40.1	32.6	86	74.8	27.9-37.9	32.2	29	25.2
	Aug.	33.9-39.6	37.3	12	80.0	37.4-38.0	37.6	3	20.0
	Sep.	29.8-37.1	33.5	38	43.7	27.4-39.1	32.3	49	56.3
	Oct.	24.7-39.4	30.1	106	93.8	24.5-37.6	33.2	7	6.2
	Nov.	20.8-38.2	30.5	109	91.6	29.0-32.3	30.7	10	8.4
	Dec.	25.5-40.4	31.4	70	72.2	26.0-38.0	32.8	27	27.8
Total		19.6-48.0	32.4	4800	62.7	19.6-45.4	32.5	2859	37.3

가량이체장-체중관계

체장-체중 간 상대성장식은 암·수 간 체장 차이가 없는 것으로 나타나 총 8,110개체의 체장을 합쳐서 체장-체중관계를 분석하였다. 상대성장식은 $BW=0.0025FL^{3.4693}$ ($R^2=0.9314$)로 추정하였다(Fig. 4).

산란기 추정

암컷의 생식소 발달과정

육안 관찰을 통해 난소의 발달과정을 5단계로 나누어 분석한 결과, 미숙(immature)은 불투명한 옅은 주황색을 띠고, 빛 모양의 난소 박판이 육안으로 관찰 되나 난은 육안으로 보이지 않으며, 난소가 복강 내에 차지하는 비율이 매우 낮았다. 중숙(maturing)은 미숙보다 난소의 색은 짙어 졌고, 중숙 또한 빛 모양의 난소 박판이 육안으로 관찰되나 뚜렷한 구형의 모양은 보이지 않았다. 난소의 크기는 복강 내 1/4-2/4정도 차지하고 있었다. 성숙(mature)단계의 난소는 짙은 주황색을 띠며, 다양한

크기의 불투명한 난이 육안으로 관찰되고 수화된 난(hydrated oocyte)은 보이지 않았다. 난소는 복강 내 3/4 정도 차지하고 있었으며, 중숙 보다 난소의 볼륨(volume)이 커진 상태였다. 완숙(ripe)은 밝은 주황색 또는 노란색을 띠었고, 성숙단계보다 발달된 난과 수화된 난이 관찰되었다. 난소는 복강 내 대부분을 차지하고 있었다. 방후(spent)는 어두운 붉은 색을 띠었으며, 더 이상 발달된 난을 육안으로 관찰 할 수 없었다. 난소는 크기가 줄고 탄력없이 축 늘어지는 형태를 보였으며, 난소 내부(난소강)는 비어있었다.

성숙도의 월 변화

암컷의 생식소 발달과정을 기준으로 5년간의 월별 성숙도 변화를 알아보았다(Fig. 5). 미숙 단계는 시료가 채집되지 않은 2013년 9월과 2016년 6월, 미숙 개체가 출현하지 않은 2013년 5월을 제외하고 5년간 연중 나타났으며, 대부분 9-12월에 높은 비율을 차지 하였다. 중숙 단계는 12월이나 1월부터 출현하기 시작하여 대부분 7월까지 나타나는 경향을 보였다. 성

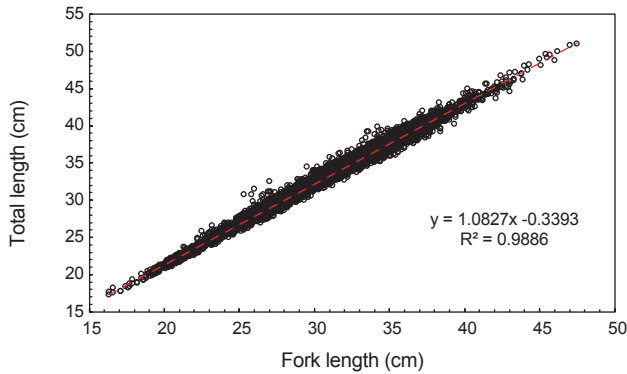


Fig. 3. Fork length-Total length relationship of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017.

숙 단계는 빠르면 2월부터 출현하여 7월까지 나타났으며, 대부분 4-6월에 높은 비율을 보였다. 완숙 단계는 3월 이후부터 출현하여 늦으면 7월까지 나타나는 경향을 보였으며, 대부분 5월에 가장 높은 비율로 나타났다. 방후 단계는 주로 7-8월에 나타난 반면, 2013년과 2017년의 경우 5월에 출현하기 시작하여 8월까지 나타났다.

생식소숙도지수(GSI)의 월 변화

5년간의 암·수 생식소숙도지수(GSI)의 월 변화를 분석하였다(Fig. 6). 암컷은 대부분 3월부터 GSI값이 높아지는 경향을 보이기 시작하여 4월에 평균 1.65-3.78, 최대 7.76-10.80의 범위를 보였다. 이후 5월에 평균 4.70-7.74, 최대 11.15-20.98의 범위로 가장 높았다가 6월부터 GSI값이 낮아지는 경향을 보였다. 7월에는 평균 0.35-2.20, 최대 1.90-12.89의 범위로 전월보다 감소하는 경향을 보인 후, 8월부터 이듬해 2월까지의 평균 0.21-1.07 범위로 현저히 낮은 값을 나타냈다. 반면, 2015년의 경우, 4월에 평균 5.47, 최대 14.24로 동년에서 가장 높게 나타났으며, 5월(평균, 5.23; 최대, 13.74)과 6월(평균, 4.70; 최대, 11.64)의 평균은 4월과 비슷하나 최대값이 감소하는 경향을 보였다. 수컷 또한 대부분 3월부터 GSI값이 높아지는 경향을 보이기 시작하여, 4월에 평균 3.42-6.87, 최대 7.62-14.8의 범위를 보였다. 이후 5월에 평균 6.63-8.33, 최대 13.36-15.64의 범위로 가장 높았다가 6월부터 GSI값이 낮아지는 경향을 보였다. 7월에는 평균 0.20-1.78, 최대 1.63-7.34의 범위로 전월보다 감소하는 경향을 보인 후, 8월부터 이듬해 2월까지의 평균 0.02-0.83 범위로 현저히 낮은 값을 나타냈다. 반면, 2015년의 경우, 4월에 평균 8.74, 최대 15.70으로 동년에서 가장 높은 GSI값을 보였다. 암컷과 수컷의 5년간 GSI경향은 매우 비슷한 것으로 나타났다.

비만도(K)의 월 변화

5년간 암·수 비만도지수(K)의 월 변화를 전반적으로 분석하

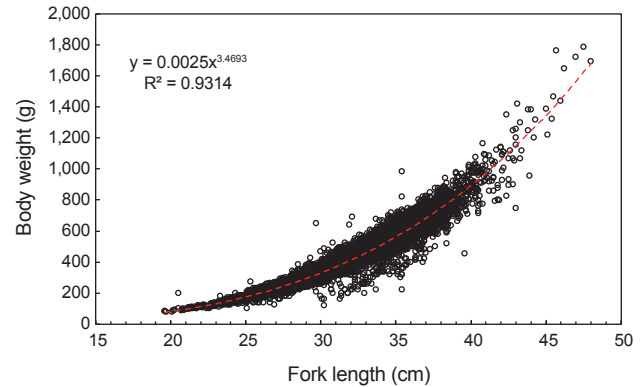


Fig. 4. Fork length-body weight relationship of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017.

였다(Fig. 7). 암컷과 수컷은 대부분 봄철인 3월부터 비만도지수가 증가하는 경향을 보이다가 2015년을 제외한 2013-2017년 5월에 암컷은 평균 13.79-14.59, 수컷은 13.57-14.17의 범위로 높은 비만도지수를 보였다. 반면, 2015년의 경우 4월에 암컷은 평균 13.31, 수컷은 14.11로 동년에서 가장 높은 비만도지수를 보인 후 8월까지 낮아지는 경향을 보였다. 이후, 9월(가을철)에 비만도지수가 소폭 상승하여 유지하다 12월부터 2월까지(겨울철) 비만도지수가 차츰 줄어들었다. 암컷과 수컷의 5년간 비만도지수 경향은 매우 비슷한 것으로 나타났다.

성숙체장

산란에 참여하는 암컷의 체장(FL)을 알아보기 위해 주산란기로 추정되는 4-6월의 암컷 1,153개체를 대상으로 난소의 성숙 단계가 중숙 이상(881개체)인 개체들이 당해 연도 산란에 참여하는 것으로 간주하여 체급별(1 cm) 성숙 개체의 출현율을 조사하였다(Fig. 8). 체장 24.9 cm이하는 산란에 참여하지 않았고, 체장 36.0 cm 이상인 개체들은 모두 산란에 참여하는 것으로 나타났다. Logistic식에 적용하여 성숙 개체의 출현율을 추정할 결과, 29.3 cm에서 50%, 31.1 cm에서 75%, 35.5 cm에서 97.5%가 산란에 참여하는 것으로 추정되었다.

고 찰

본 연구에서 조사된 고등어의 최대 체장은 암컷 48.0 cm, 수컷 45.4 cm로 암컷이 수컷보다 큰 것으로 나타났으나, 평균 체장에서는 암컷 32.4 cm, 수컷 32.5 cm로 암·수간 체장이 유사하였다. Cha et al. (2002)의 연구에서 고등어의 암·수 체장 범위는 각각 21.2-44.5 cm, 21.0-44.7 cm, 평균 체장은 33.3 cm, 32.4 cm로 나타나 본 연구의 표본 체장 범위가 더 넓게 나타났으며, 암컷의 평균 체장이 약 1 cm 정도 작게 나타났다.

본 조사기간 중 채집된 고등어의 암·수 성비는 62.7:37.3로 암

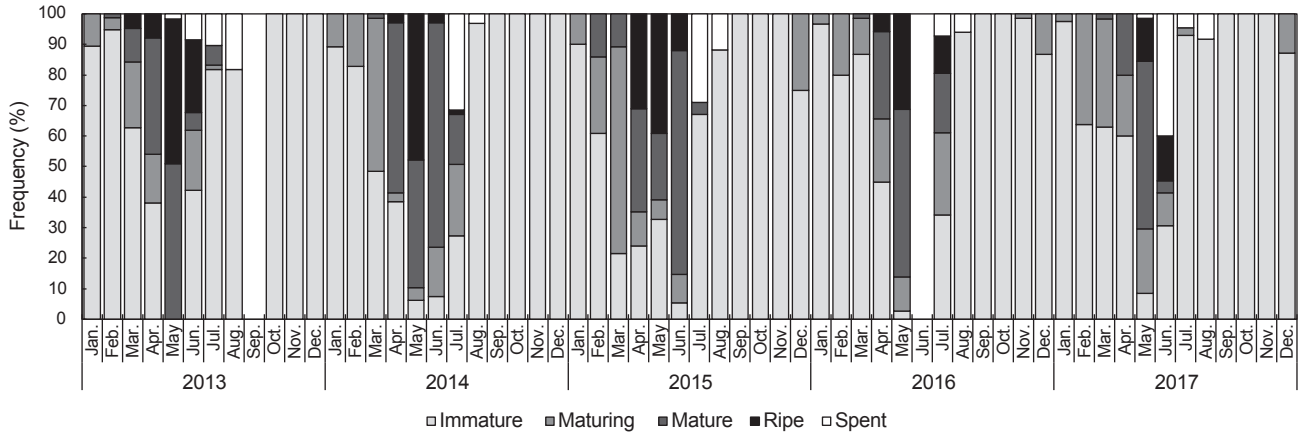


Fig. 5. Monthly changes in maturity stages of female chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017.

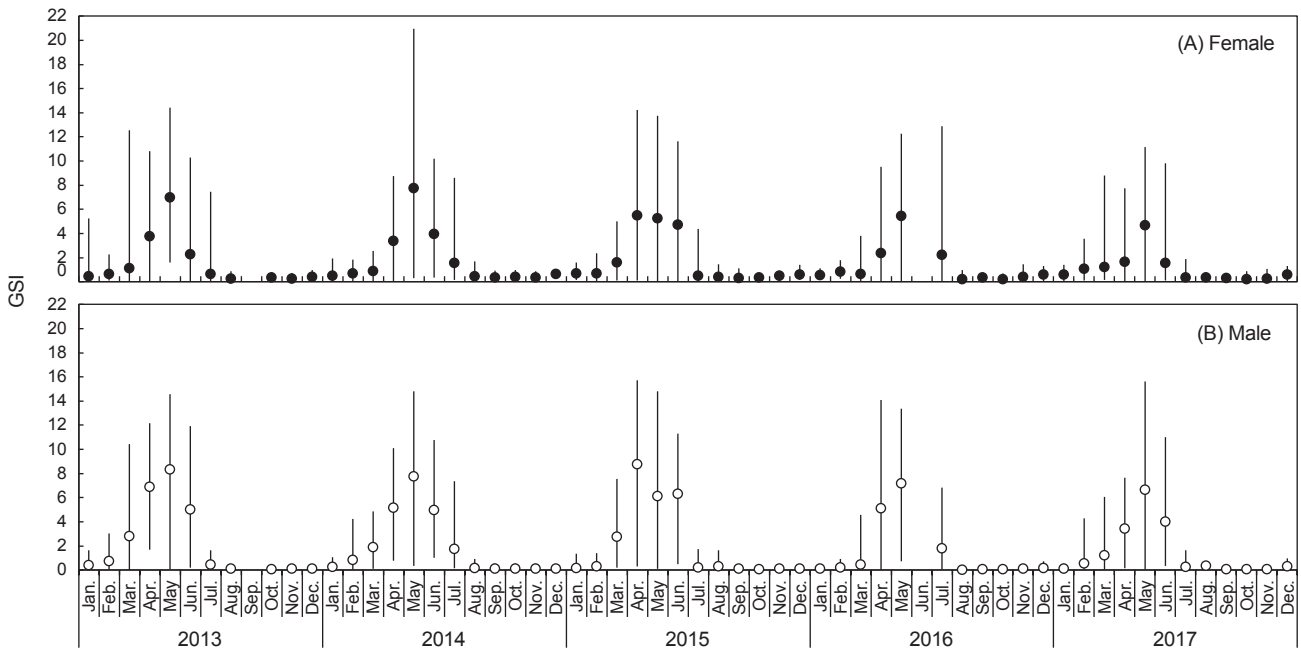


Fig. 6. Monthly changes of GSI (gonadosomatic index) of (A) female and (B) male of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013-December 2017. Solid circle and open circle indicate mean GSI, and vertical bars indicate minimum and maximum value of GSI.

컷의 비율이 수컷보다 높은 것으로 나타났다. 반면, 남해에서 어획된 고등어의 산란기 내 성비는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고(Ann, 1970), 지중해에 서식하는 고등어 또한 조사기간 내 성비의 차이는 없었으나, 주 산란기의 성비는 수컷이 높은 것으로 나타났다(Allaya et al., 2013). 본 연구에서 고등어의 체급별 성비는 22-25 cm의 작은 체급과 40-41 cm, 44-48 cm의 큰 체급에서 암컷의 비율이 70% 이상 높게 나타났다.

페루에 서식하는 고등어는 36 cm 이하에서는 성비의 차이가 없었으나, 37 cm 이상에서는 암컷이 우세하였고(Mendo, 1984), 지중해에 서식하는 고등어는 19 cm 이하에서 수컷의 비율이 높았으며, 26 cm 이상에서는 암컷의 비율이 높았다(Allaya et al., 2013). 각 연구마다 조사기간 내 성비에는 차이를 보였으나, 체급별 성비에서는 대부분 채집된 표본의 큰 체급에서 암컷의 비율이 우세한 것으로 나타났다.

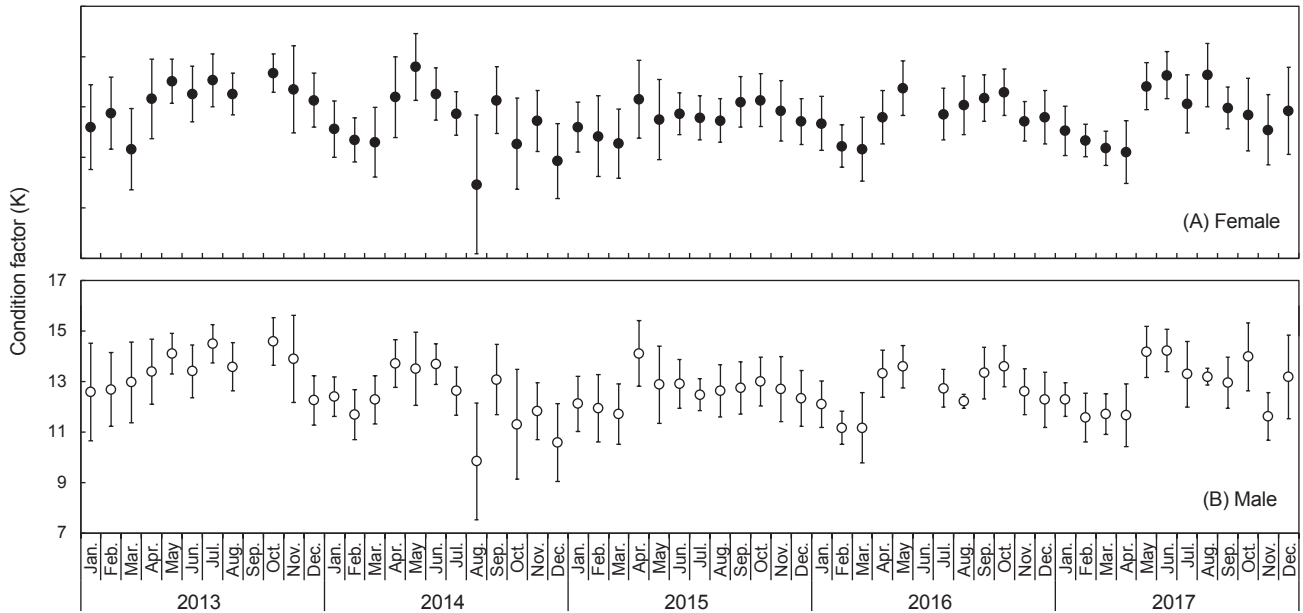


Fig. 7. Monthly changes of condition factor (K) of (A) female and (B) male of chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters, January 2013–December 2017. Solid circle and open circle indicate the mean K, and vertical bars indicate the standard deviation value of K.

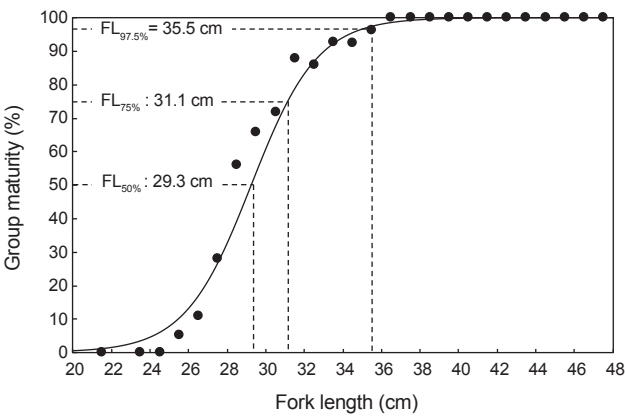


Fig. 8. Relationship between fork length and group maturity of female chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters.

고등어의 산란기를 추정하기 위해 난소의 발달과정과 생식속도지수(GSI)의 변화를 살펴보았다. 난소 발달단계 중 성숙은 4-6월에 높은 비율을 보였으며, 완숙은 4월부터 관찰되어 5월에 가장 많은 비율을 나타냈다. GSI의 경우 암·수 모두 3월부터 증가하는 경향을 보이다 5월에 가장 높은 값을 보이고 7월까지 점차 낮아지는 경향을 보였다. 종합해보면 고등어의 산란기는 3-6월, 주산란기는 5월로 추정된다. 우리나라 연근해 고등어의 산란기를 추정할 이전 연구를 살펴보면, Ann (1970)은 남해에 출현하는 고등어의 산란기를 5-8월(주산란기, 6-7월)로 추정하였고, Hwang (1999)은 서해, 동해남부, 남해, 북부동중국해

에서 출현하는 고등어의 산란기를 3-6월(주산란기, 5월), Cha et al. (2002)는 북부동중국해에서 출현하는 고등어의 산란기를 3-6월(주산란기, 4월)로 제시하였다(Cha et al., 2002). 본 연구결과와 비교해보면, 우리나라 연근해 고등어의 산란시기는 1960년대 보다 2개월 가량 빨라졌으며, 1990년대와는 비슷한 산란시기를 보였다. 고등어는 소형표층성어류로 기후변화에 매우 민감하게 반응하는 어종이며(Kim, 2003), 최근 우리나라 해역의 수온이 과거보다 높아짐에 따라(Seong et al., 2010) 생물계절주기(phenology)에 변화를 가져온 것으로 생각된다. 고등어과(Scombridae) 어류인 삼치(*Scomberomorus niphonius*)의 산란시기 또한 과거 1970년대에 비해 산란기가 적어도 1개월 가량 빨라진 것으로 나타났으며, 여러가지 환경요인 중 지구 온난화에 따른 서식처의 수온상승이 산란기의 변화에 기여했을 가능성이 크다고 하였다(Baek et al., 2007).

비만도지수의 5년간의 월 변화를 살펴본 결과, 비만도지수는 생식주기와 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉, 산란기가 시작되는 3월부터 비만도지수가 증가하여 산란이 최고에 이르는 5월에 가장 높은 값을 보인 후 점차 감소하였다. 이후 산란을 마친 고등어는 9월부터 비만도지수가 높아졌다. 일반적으로 어류는 산란에 필요한 에너지를 간 또는 내장에서 공급받으며(Diana and Mackay, 1979), 간중량지수(hepato somatic index, HSI)의 경우 체내에 영양성분의 축적과 소비, vitellogenin의 합성과 관련이 있다(Aida, 1991; Miller, 1989). 따라서 추후 연구에서는 고등어의 간중량지수(HSI)와 내장중량지수(visceral somatic index, VSI) 또한 고려되어 비만도지수와 산란기와의 관

계를 해석해야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 추정된 고등어 암컷의 50%, 75%, 97.5% 성숙체장은 각각 29.3, 31.1, 35.5 cm였으며, 25 cm 이상에서 처음 산란에 참여하고 36 cm 이상에서는 전 개체가 산란에 참여하였다. 이를 가랑이체장-전장과의 관계식(Fig. 3)을 이용하여 성숙체장을 전장으로 변환한 결과, 50%, 75%, 97.5% 성숙체장은 각각 31.4, 33.3, 38.1 cm의 전장(TL)에 해당되었다. 이전 연구에서 추정된 50% 성숙체장을 살펴보면, 1990년대에 Hwang (1999)은 29.95 cm, Cha et al. (2002)는 28.7 cm로 보고 하여 본 연구와 큰 차이를 보이지 않은 반면, 1960년대에 Ann (1970)이 추정된 50% 성숙체장(27.5 cm)은 본 연구와 약 2 cm 가량 차이를 보여 최근 고등어의 성숙체장이 과거 1960년대보다 커진 것을 알 수 있었다. 1960년대 우리나라 고등어 어획량은 평균 8,062톤, 1990-2010년대에는 평균 158,230톤을 보여 과거보다 고등어 어획량이 늘어난 것을 확인 할 수 있었다(Lee, 2018; KOSIS, 2019). 또한 1990년대에 들어 우리나라 주변해역에서는 고등어를 포함한 난류성 소형 표층 어류자원들이 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다(Kim, 2003). 일반적으로 자원수준의 변동에 따라 개체의 성숙체장 및 성숙연령 또한 달라지는 것으로 알려진다(Zhang, 2010a). 일본 동부해역의 고등어 태평양계군은 자원수준이 낮을 때 성숙체장이 줄어들었으며, 성숙 연령 또한 줄어드는 경향을 보였다(Watanabe and Yatsu, 2006). 따라서 고등어의 성숙체장의 변화는 기후변화뿐만 아니라 자원수준의 변동과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다(Cardinale and Modin, 1999; Millán, 1999).

우리나라 연근해 고등어 자원량이 지속가능한 수준을 유지하기 위해서는 본 연구와 같은 단기적인 기초생태조사뿐만 아니라 기후변화 및 해양환경변동에 따른 대상 자원의 생식생물학적 반응을 모니터링 할 수 있는 장기간의 생태연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(한국 연근해 어항 예측능력 향상 연구, R2020031)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Aida K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull Inst Zool Academia Sinica Monograph 16, 173-187.
- Allaya H, Hattour A, Hajjaj G and Trabelsi M. 2013. Biologic characteristics of *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782) in Tunisian waters (Central Mediterranean Sea). Afr J Biotechnol 12, 3040-3048. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2723>.
- Ann HB. 1970. On the spawning and maturity of the Pacific mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn. Rep Fish Kes 8, 83-95.
- Baeck GW, Kim JW, Huh SH and Park JM. 2007. Maturation and spawning of female spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) in the coastal waters off Busan. Korean J Fish Aquat Sci 40, 248-253. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.248>.
- Cardinale M and Modin J. 1999. Changes in size-at-maturity of baltic cod (*Gadus morhua*) during a period of large variations in stock size and environmental conditions. Fish Res 41, 285-295. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(99\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(99)00021-1).
- Cha HK, Choi YM, Park JH, Kim JY and Sohn MH. 2002. Maturation and spawning of the chub mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn in Korean waters. J Korean Soc Fish Res 5, 24-33.
- Choi YM. 2003. Stock assessment and management implications of chub mackerel, *Scomber japonicus* in Korean water. Ph.D. Dissertation, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Collette BB and Nauen CE. 1983. FAO Species catalogue. Scombrids of the world: an annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish. Synopsis 125, 1-137.
- Diana JS and Mackay WC. 1979. Timing and magnitude of energy deposition and loss in the body, liver and gonads of northern pike (*Esox lucius*). J Fish Res Board Can 36, 481-487.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. J Appl Ichthyol 22, 241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>.
- Hiyama Y, Yoda M and Ohshimo S. 2002. Stock size fluctuations in chub mackerel *Scomber japonicus* in the East China sea and the Japan/East Sea. Fish Oceanogr 11, 347-353. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2002.00217.x>.
- Hwang SD. 1999. Population ecology of Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, off Korea. Ph.D Dissertation, Department of Oceanography, Graduate School Chungnam National University, Taejeon, Korea.
- Jung KM, Kang SK, Cha HK, Choi KH and Myksovoll MS. 2013. Buoyancy and vertical distribution of mackerel *Scomber japonicus* eggs in Korean waters. Korean J Fish Aquat Sci 46, 957-965. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0957>.
- Kang SK, Jung KM and Cha HK. 2015. First annulus formation and age determination for otoliths of chub mackerel *Scomber japonicus*. Korean J Fish Aquat Sci 48, 760-767. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0760>.
- Kim DH, Kim DJ, Yoon SJ, Hwang HG, Kim EO, Son GS and Kim JK. 2008. Development the eggs, larvae and juveniles by artificially-matured pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Korean waters. J Kor Fish Soc 41, 471-477. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2008.41.6.471>.
- Kim S. 2003. Changes in fisheries resources in relation to variability of oceanic environments. J Korean Soc Fish Res 6,

- 11-20.
- Kim SH and Pang IC. 2005. Distribution and characteristic of transport mechanism of eggs and larvae of Anchovy, *Engraulis japonica*, in the Southwestern Sea of Korea in July and November, 2001. J Kor Fish Soc 38, 331-341. <https://doi.org/10.5657/kfas.2005.38.5.331>.
- Kim SR, Kim JJ, Stockhausen WT, Kim CS, Kang SK, Cha HK, Ji HS and Baek HJ. 2019. Characteristics of the eggs and larval distribution and transport process in the early life stage of the Chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters. Korean J Fish Aquat Sci 52, 666-684. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0666>.
- Ko JC, Seo YI, Kim HY, Lee SK, Cha HK and Kim JI. 2010. Distribution characteristics of eggs and larvae of the Anchovy *Engraulis japonica* in the Yeosu and Tongyeong coastal waters of Korea. Korean J Ichthyol 22, 256-266.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2019. Fishery production survey. Retrieved from www.kosis.kr on Dec 01, 2019.
- Lee CH. 2018. The characteristics of fluctuation on fishing condition of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in 2008-2016. M.S. Thesis, Pukyong national university, Busan, Korea.
- Lee SJ, Go YB and Kim BJ. 2006. Seasonal variation of species composition and distribution of fish eggs and larvae in the western part of Jeju Island, Korea. Korean J Ichthyol 18, 129-140.
- Lee SJ, Kim JB and Han SH. 2016. Distribution of mackerel, *Scomber japonicus* eggs and larvae in the coast of Jeju Island, Korea in spring. J Kor Fish Soc 52, 121-129. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2016.52.2.121>.
- Lee SJ, Kim JB and Han SH. 2016. Distribution of mackerel, *Scomber japonicus* eggs and larvae in the coast of Jeju island, Korea in spring. J Kor Fish Soc 52, 121-129. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2016.52.2.121>.
- Mendo J. 1984. Edad, crecimiento y algunos aspectos reproductivos y alimentarios de la caballa *Scomber japonicus peruana*. Bol Inst mar Perú-Calloao 8, 101-156.
- Millán M. 1999. Reproductive characteristics and condition status of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. from the Bay of Cadiz (SW Spain). Fish Res 41, 73-86. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(99\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(99)00010-7).
- Miller PJ. 1989. The ecology of gobioid fishes. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 1-482.
- Murayama T, Mitani I and Aoki I. 1995. Estimation of the spawning period of the Pacific mackerel *Scomber japonicus* based on the changes in gonad index and the ovarian histology. Bull Jpn Soc Fish Oceanogr 59, 11-17.
- Murua H, Krous G, Saborido-Rey F, Whittames PR, Thorsen A, and Junquera S. 2003. Procedures to estimate fecundity in marine fish species in relation to their reproductive strategy. J Northwest Atl Fish Sci 33, 33-54.
- Sassa C and Tsukamoto Y. 2010. Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions. Mar Ecol Prog Ser 419, 185-199. <https://doi.org/10.3354/meps08832>.
- Scoles DR, Collette BB and Graves JE. 1998. Global phylogeography of mackerels of the genus *Scomber*. Fishery Bull 96, 823-842.
- Seong KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS and Lee JY. 2010. Characteristic for long-term trends of temperature in the Korean waters. J Korean Soc Mar Environ Saf 16, 353-360.
- Shiraishi T, Okamoto K, Yoneda M, Sakai T, Ohshimo S, Onoe S, Yamaguchi A and Matsuyama M. 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. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01612.x>.
- Watanabe C and Yatsu A. 2006. Long-term change in maturity at age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in relation to population declines in the waters off northeastern Japan. Fish Res 78, 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.01.001>.
- Watanabe C, Hanai T, Meguro K, Ogino R and Kimura R. 1999. Spawning biomass estimates of chub mackerel *Scomber japonicus* of Pacific subpopulation off Central Japan by a daily egg production method. Nippon Suisan Gakk 65, 695-702.
- Yoon SJ, Kim DH, Baek GW and Kim JW. 2008. Feeding habits of Chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the South sea of Korea. J Kor Fish Soc 41, 26-31. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2008.41.1.026>.
- Yukami R, Oshimo S, Yoda M, Hiyama Y. 2009. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and spotted mackerel (*S. australasicus*) in the East China Sea based of catch statistics and biometric data. Fish Sci 75, 167-174. <https://doi.org/10.1007/s12562-008-0015-7>.
- Zhang CI. 2010a. Marine fisheries resource ecology (Fisheries Science Series #1). Pukyong National University Press, Busan, Korea, 153-187.
- Zhang CI. 2010b. Marine fisheries resource Ecology (Fisheries Science Series #1). Pukyong National University Press, Busan, Korea, 308-309.