

한국 남해에 출현하는 전갱이(*Trachurus japonicus*)의 위내용물 조성 및 영양단계

김도균 · 성기창 · 진수연 · 서호영¹ · 백근욱^{2*}

경상대학교 해양식품생명의학과/해양산업연구소/해양생물교육연구센터 학생, ¹전남대학교 해양융합과학과 교수,
²경상대학교 해양식품생명의학과/해양산업연구소/해양생물교육연구센터 교수

Diet composition and trophic level of jack mackerel, *Trachurus japonicus* in the South Sea of Korea

Do-Gyun KIM, Gi Chang SEONG, Suyeon JIN, Ho Young SOH¹ and Gun Wook BAECK^{2*}

Student, Department of Seafood & Aquaculture Science/Institute of Marine Industry/Marine Bio-Education & Research Center,
College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

¹Professor, Department of Ocean Integrated Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Professor, Department of Seafood & Aquaculture Science/Institute of Marine Industry/Marine Bio-Education & Research Center,
College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

Diet composition and trophic level of *Trachurus japonicus* were studied using 417 specimens collected by trawls, set nets and purse seine fisheries from March 2019 to February 2020 in the South Sea of Korea. The size of *T. japonicus* ranged from 7.0 to 49.8 cm in total length. *T. japonicus* were a carnivore that fed mainly on euphausiids and pisces. In addition, *T. japonicus* fed on small quantities of cephalopods, crabs etc. *T. japonicus* showed ontogenetic changes in feeding habits. The proportion of euphausiids decreased inversely proportional to body size whereas the consumption of pisces gradually increased. As body size of *T. japonicus* increased the mean number of prey per stomach and the mean weight of prey per stomach tended to increase, but the mean number of prey per stomach was not significantly different. As a result of the feeding strategy analysis, *T. japonicus* were specialized feeders with pisces and euphausiids as their dominant prey. The trophic level ranged between 3.57 ± 0.54 and 3.91 ± 0.65 , and increased asymptotically with size of specimens. The average trophic level of the *T. japonicus* was 3.79 ± 0.61 .

Keywords: *Trachurus japonicus*, Diet composition, Trophic level

서론

농어목(Perciformes) 전갱이과(Carangidae)에 속하는

전갱이(*Trachurus japonicus*)는 최대전장 약 50.0 cm까
지 성장하는 것으로 알려져 있으며, 연안의 표층부터

*Corresponding author: gwbaeck@gnu.ac.kr, Tel: +82-55-772-9156, Fax: +82-55-772-9159

저층까지 유영하는 유영성 어류로 우리나라 전 연안, 황해, 동중국해, 일본의 중부 이남 등 온대 해역에 주로 분포한다(Kim et al., 2005; Fishbase, 2020).

전갱이는 우리나라 일반해면어업 어획량의 약 18%를 차지하는 대형선망어업에서 2번째로 많이 어획되는 어종으로(Lee and Kim, 2011), 우리나라에서 매우 중요한 유용 수산자원 생물인 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2015). 따라서 지속적인 어업과 생산을 위해 우리나라 수산자원 관리 제도인 총허용어획량(Total allowable catch, TAC) 제도의 대상 어종으로 선정되어 있다. 통계청의 어업생산 동향조사를 통해 전갱이의 연간 어획량 변동 추이를 알아본 결과, 전갱이과 어류로 분류되어 전갱이의 정확한 어획량은 알 수 없었다. 하지만 고등어(*Scomber japonicus*), 전갱이, 정어리(*Sardinops melanosticus*)와 같이 표층이나 중층에서 무리를 지어 서식하는 어종을 주요 목표종으로 하는 대형선망어업에서 2번째로 많이 어획되는 어종이 전갱이로 알려져 있으며(Lee and Kim, 2011), 전갱이과 어류의 국내 어획량이 1980년대에는 평균 13,517톤이었지만, 최근 5년간 평균 31,276톤을 나타내어 상승하는 추세로 보았을 때, 전갱이의 어획량 또한 상승하고 있는 것으로 추정된다(KOSIS, 2020; Fig. 1). 그러나 연간 어획량 변동 폭이 매우 높은 것으로 나타났다.

현재의 해양생태계는 과거와 달리 변화하는 해양환경, 어구어법의 발달 등 다양한 요인에 의해 수산자원의 생물학적 특성치가 계속해서 변화하고 있기 때문에 효율적인 수산자원 관리를 위해서는 어종별, 해역별 자원 생태학적인 연구가 지속적으로 수행되어야 한다(Cardinale and Modin, 1999; Engelhard and Heino, 2004; Kim et al., 2020). 특히 자원생태학적인 연구 중에서도 위내용물 조성, 영양단계와 같은 섭식생태에 관한 연구는 대상 수산자원의 생물학적인 측면과 생태학적인 측면을 이해하고, 생태적 지위와 역할, 종 상호간의 피포식관계 파악을 통해 생태계 기반 수산자원 관리와 보존에 이용되기 때문에 필수적으로 수행되어야 한다(Hyslop, 1980; Bax, 1998; Choi et al., 2014).

전갱이 생태에 관한 선행연구를 살펴보면, 국외에서는 식성(Tanaka et al., 2006; Sassa et al., 2008; Jiang et al., 2013), 연령과 성장(Nakashima, 1982; Lu et al., 2013), 연령과 성숙(Yoda et al., 2014) 등이 수행되었고, 국내에서는 식성(Huh and Cha, 1998; Lee et al., 2021),

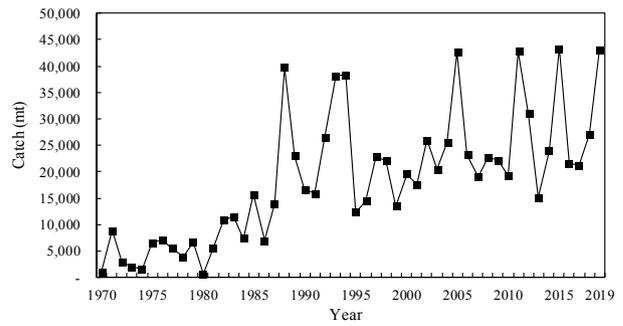


Fig. 1. Annual catch (mt) of carangidae fishes in the Korean waters.

위내용물 조성(Kim et al., 2015), 연령과 성장(Ann, 1973; Sohn, 1993; Lee et al., 2016), 성숙과 산란(Cha et al., 2009) 등이 수행되었다. 하지만 국내에서 수행된 전갱이 섭식생태에 관한 연구는 28.0 cm 미만의 전장군을 대상으로한 제한적인 연구가 진행되었기 때문에 전갱이의 전 생활사 동안의 먹이섭성에 관한 더 많은 정보가 필요하다. 그리고, 대부분의 어류 특성상 효율적인 에너지 관리를 위하여 성장함에 따라 생태적 지위와 먹이생물이 변화한다고 알려져 있으며(Huh et al., 2008), 이러한 변화는 수산자원의 변동을 야기할 수 있기 때문에 다양한 크기군 연구를 통한 저차부터 고차 생태계 이해와 크기군별 적절한 수산자원 관리가 이루어져야 한다.

따라서 이번 연구는 우리나라 남해에 출현하는 전갱이의 주 먹이생물, 성장에 따른 위내용물 조성 변화, 섭식전략 분석을 통해 섭식생태에 대한 정보를 증대시키고, 생태적 지위를 나타내는 영양단계를 성장별로 분석함으로써 생태계 기반 수산자원 관리와 평가를 위한 신뢰성 있는 생태학적 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

재료 및 방법

실험방법

이번 연구에 사용된 전갱이의 시료는 2019년 3월부터 2020년 2월까지 우리나라 남해에서 대형선망, 저층 트롤, 정치망어업으로 어획된 개체를 매일 구입하여 조사하였다(Fig. 2). 구입한 시료는 빙상상태로 실험실로 운반한 후 전장 0.1 cm, 체중 0.01 g 단위까지 계측하였다.

측정된 개체는 위를 적출한 후 10% formalin solution에 고정하여 해부현미경(LEICA L2, LEICA, Wetzlar, Germany) 아래에서 가능한 분류군이 낮은 종 수준까지

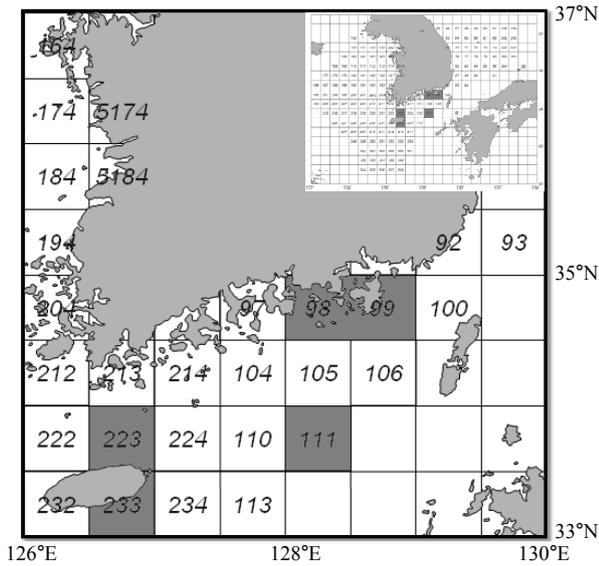


Fig. 2. A map showing the trench where *Trachurus japonicus* were caught in the South Sea of Korea (■).

분석하였다. 먹이생물은 크기를 0.1 cm 단위까지 측정하고, 개체수를 계수한 후, 정밀전자저울(Analytical Balance ME204TE/00, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)을 이용하여 습중량을 0.0001 g 단위까지 측정하였다. 또한 공복상태의 개체는 분석에서 제외하였다. 위내용물 분석 결과는 아래의 식을 이용하여 각 먹이생물에 대한 출현빈도(%F), 개체수비(%N), 중량비(%W)로 나타내었다(Hyslop, 1980).

$$\begin{aligned} \%F &= A_i / N \times 100 \\ \%N &= N_i / N_{total} \times 100 \\ \%W &= W_i / W_{total} \times 100 \end{aligned}$$

여기서, A_i 는 위내용물 중 해당 먹이생물이 발견된 전갱이의 개체수이고, N 은 먹이를 섭식한 전갱이의 총 개체수, N_i 와 W_i 는 해당 먹이생물의 개체수와 중량, N_{total} 과 W_{total} 은 전체 먹이생물 개체수와 중량이다.

이후, 먹이생물의 상대중요도지수(Index of relative importance, IRI)는 Pinkas et al. (1971)의 식을 이용하여 나타내었으며, 상대중요도지수를 백분율로 환산하여 상대중요도지수비(%IRI)로 나타내었다.

$$IRI = (\%N + \%W) \times \%F$$

성장에 따른 전갱이의 위내용물 조성 변화를 알아보기 위해 균성숙 체장과 먹이생물의 변화가 관찰된 체장을 기반으로 10.0 cm 간격 3개의 체장그룹(<20.0 cm, $n=175$; 20.0-30.0 cm, $n=186$; ≥ 30.0 cm, $n=56$)에서 먹이 분류군 조성과 먹이생물의 평균 크기를 분석하였다. 3개의 체장그룹간의 먹이생물 평균 크기, 성장에 따른 먹이 섭식 특성 분석을 위해 체장그룹별 개체당 평균 먹이생물의 개체수(Mean number of preys per stomach, mN/ST)와 개체당 평균 먹이생물의 중량(Mean weight of preys per stomach, mW/ST)의 평균차이를 분석하였다.

일반적으로 3개 이상 그룹의 평균차이를 검증하기 위해서는 분산분석을 실시하지만, 이 방법의 가정은 모집단의 정규성이 인정되어야 한다. 그러나 이번 연구에서는 모집단의 편차가 커, 정규성이 인정되지 않았다. 따라서, 모집단이 정규분포를 따르지 않거나 개체별 편차가 큰 경우에 사용되며, 비모수 평균차이를 추정하는 Kruskal-Wallis test (SPSS version 20)를 사용하여 평균간의 차이를 검증하였다.

전갱이의 먹이중요도(Dominant or rare), 섭식 폭(Niche width), 섭식전략(Specialist or generalist)은 Amundsen et al. (1996)의 도해적방법(Graphical method)을 통해 나타내었다. 도해적방법은 출현빈도(%F)에 대하여 특정먹이생물우점도(Prey-specific abundance)를 도식화함으로써 나타내며, 특정먹이생물우점도의 경우 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$P_i = \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_{ti}} \right) \times 100$$

여기서, P_i 는 먹이생물 i 의 특정먹이생물우점도, S_i 는 위내용물 중에서 먹이생물 i 의 중량, S_{ti} 는 먹이생물 i 를 섭식한 전갱이 위내용물 중에서 전체 먹이생물의 중량이다.

전갱이의 생태적 지위를 나타내는 영양단계(Trophic level)는 다음의 식으로 구성된 TrophLab (Pauly et al., 2000)을 이용하여 3개의 체장그룹(<20.0 cm, $n=175$; 20.0-30.0 cm, $n=186$; ≥ 30.0 cm, $n=56$) 영양단계와 평균 영양단계를 나타내었다.

$$TROPH_i = 1 + \sum_{j=1}^G CD_{ij} TROPH_j$$

여기서, $TROPH_i$ 는 i 생물의 영양단계, CD_j 는 i 의 위에서 출현한 j 의 비율, G 는 먹이생물의 총 개체수, $TROPH_j$ 는 먹이생물 j 의 영양단계이다.

결 과

전장분포

이번 연구에서 사용된 전갱이는 총 417개체로, 전장 (Total length)범위는 7.0-49.8 cm로 나타났으며, 15.0-20.0 cm 체장그룹이 전체 개체수의 35.5%를 차지하여 가장 많이 출현하였다(Fig. 3).

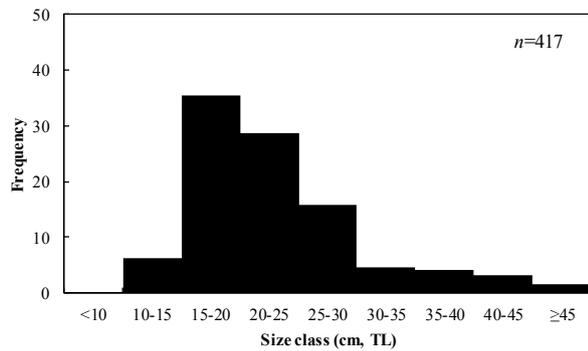


Fig. 3. Total length frequency of *Trachurus japonicus* collected from March 2019 to February 2020 in the South Sea of Korea.

위내용물 조성

이번 연구에 사용된 전갱이 417개체 중 공복인 개체는 140개체로 33.6%의 공복률을 나타내었다. 위내용물이 출현한 전갱이 277개체의 먹이생물을 분석한 결과 (Table 1), 난바다곤쟁이류(Euphausiacea)가 전갱이의 주 먹이생물로 48.0%의 출현빈도, 82.5%의 개체수비, 17.9%의 중량비를 차지하여 53.7%의 상대중요도지수비를 보였다.

그 다음으로 중요한 먹이생물은 어류(Pisces)로 60.6%의 출현빈도, 6.2%의 개체수비 58.5%의 중량비를 차지하여 43.7%의 상대중요도지수비를 보였다. 그 외에도 두족류(Cephalopoda), 게류(Brachyura), 새우류(Macrura), 요각류(Copepoda), 쿠마류(Cumacea), 이매패류(Bivalvia), 복족류(Gastropoda), 미세플라스틱 (Microplastic) 등이 출현하였지만 각각 1.6% 이하의 상대중요도지수비를 차지하여 그 양은 상대적으로 많지 않은 것으로 나타났다.

Table 1. Composition of the stomach contents of *Trachurus japonicus* by frequency of occurrence, number, weight and index of relative importance (IRI) collected from March 2019 to February 2020 in the South Sea of Korea

Prey organism	%F	%N	%W	IRI	%IRI
Amphipoda	1.4	0.1	+	0.2	+
Gammaridae	1.1	0.1	+		
Unidentified Amphipoda	0.4	+	+		
Brachyura	8.3	6.0	4.4	86.4	1.0
Copepoda	1.8	3.0	0.1	5.6	0.1
Cumacea	0.4	+	+	+	+
Euphausiacea	48.0	82.5	17.9	4,820.5	53.7
Macrura	5.4	0.5	0.7	6.4	0.1
<i>Leptochela sydniensis</i>	1.1	0.2	0.1		
Unidentified Macrura	4.3	0.3	0.6		
Bivalvia	1.1	0.1	0.1	0.2	+
Cephalopoda	7.2	1.3	18.3	141.6	1.6
<i>Euprymna</i> sp.	1.4	0.4	5.4		
<i>Loligo</i> sp.	3.6	0.6	8.7		
<i>Sepiella birostrata</i>	1.8	0.4	4.1		
Unidentified Cephalopoda	0.4	+	0.1		
Gastropoda	1.1	0.1	+	0.1	+
Nematoda	1.4	0.1	+	0.2	+
Pisces	60.6	6.2	58.5	3,922.9	43.7
<i>Acropoma japonicum</i>	1.8	0.2	1.6		
<i>Bregmaceros japonicus</i>	4.3	0.9	13.0		
<i>Engraulis japonicus</i>	10.1	1.6	17.1		
<i>Myctophum nitidulum</i>	1.8	0.1	1.2		
Unidentified Pisces	44.4	3.4	25.7		
Seaweeds	0.4	+	+	+	+
Microplastics	0.4	+	+	+	+
Total		100.0	100.0	8,984.1	100.0

+: less than 0.1%.

성장에 따른 위내용물 조성 변화

전갱이 성장에 따른 위내용물 조성 변화를 분석한 결과(Fig. 4), 20.0 cm 미만의 체장그룹에서는 난바다곤쟁이류가 71.5%의 상대중요도지수비를 차지하여 가장 중요한 먹이생물이었으며, 그 다음으로는 27.6%의 상대중요도지수비를 차지한 어류였다. 그 외에 요각류, 게류, 새우류 등은 상대중요도지수비 0.6% 이하로 그 양은 많지 않았다. 20.0-30.0 cm 체장그룹의 상대중요도지수비는 난바다곤쟁이류가 46.4%를 차지하여 감소하는 반면, 어류는 45.8%로 증가하는 것으로 나타났다. 그 외에 두족류, 게류 등이 출현하였지만 5.1% 이하의 상대중요도지수비를 차지하여 그 양은 많지 않았다. 30.0 cm 이상의 체장그룹도 어류가 54.6%로 가장 높은 상대중요도지수

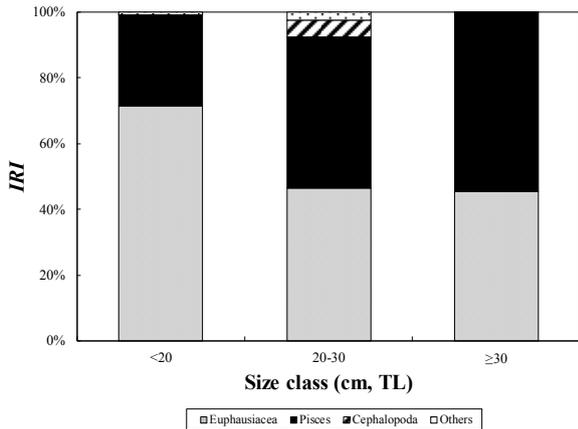


Fig. 4. Ontogenetic changes in composition of the stomach contents by %IRI of *Trachurus japonicus* collected from March 2019 to February 2020 in the South Sea of Korea.

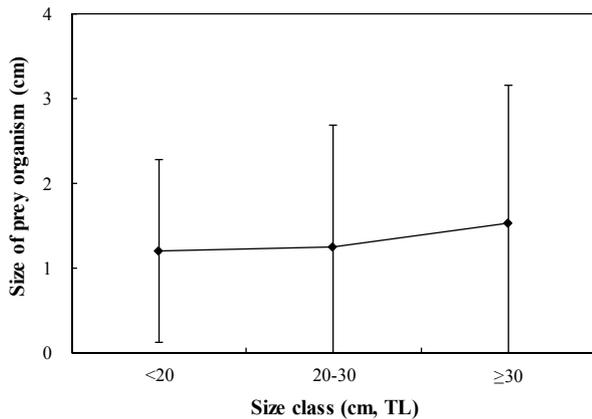


Fig. 5. Ontogenetic change in size of prey organisms in stomachs of *Trachurus japonicus* solid circle and vertical bar represent mean and standard error, respectively.

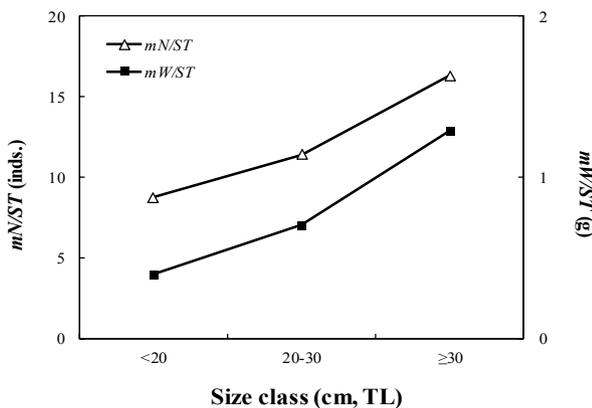


Fig. 6. Variation of mean number of preys per stomach (mN/ST) and mean weight of prey per stomach (mW/ST) of *Trachurus japonicus* among size classes from March 2019 to February 2020 in the South Sea of Korea.

수를 보였으며, 난바다곤쟁이류는 45.3%로 소폭 감소하였다. 그 외에 새우류, 요각류, 계류 등이 출현하였지만 상대중요도지수비 0.1% 이하로 그 양은 많지 않았다.

전갱이의 체장그룹별 먹이생물의 평균 크기를 분석한 결과(Fig. 5), 가장 작은 20.0 cm 미만의 체장그룹에서는 먹이생물 평균 크기가 1.2 ± 1.1 cm, 20.0-30.0 cm 체장그룹의 먹이생물의 평균 크기는 1.3 ± 1.4 cm, 가장 큰 30.0 cm 이상의 체장그룹에서는 먹이생물의 평균 크기가 1.5 ± 1.6 cm로 나타나 성장함에 따라 먹이생물의 평균 크기가 증가하는 경향이 보이지만, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Kruskal-Wallis, $X^2=2.545$, $DF=2,384$, $P>0.05$).

전갱이의 체장그룹별 먹이섭식 특성을 알아본 결과(Fig. 6), 전갱이는 성장함에 따라 평균 먹이생물 개체수(mN/ST)는 증가하는 경향을 보였지만, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Kruskal-Wallis, $X^2=4.335$, $Df=2,384$, $P>0.05$). 하지만 평균 먹이생물의 중량(mW/ST)은 성장함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Kruskal-Wallis, $X^2=9.398$, $Df=2,384$, $P<0.05$).

섭식전략

전갱이의 먹이 중요도, 섭식 폭, 섭식전략을 분석한 결과(Fig. 7), 그래프 우측 상부와 중앙 상부에 위치한 어류와 난바다곤쟁이류가 각각 60.6%, 48.0%의 출현빈도와 73.0%, 63.2%의 특정먹이생물우점도를 차지하여 중요한 먹이생물로 나타났다. 하지만 그 외의 먹이생물은 그래프 좌측 중앙부와 좌측 하단부에 출현하여 비우점 먹이생물 또는 중요하지 않은 먹이생물인 것으로 나타났다. 따라서 전갱이는 어류와 난바다곤쟁이류를 주로 섭식하고 개체당 섭식한 먹이생물 종류가 적어 좁은 섭식폭을 가지는 섭식특화종(Specialist feeder)으로 나타났다.

영양단계

전갱이의 생태적 지위를 나타내는 영양단계를 분석한 결과(Fig. 8), 20.0 cm 미만의 체장그룹에서는 3.57 ± 0.54 , 20.0-30.0 cm 체장그룹에서는 3.85 ± 0.62 , 30.0 cm 이상의 체장그룹에서는 3.91 ± 0.65 으로 성장함에 따라 영양단계가 상승하는 것으로 나타났으며, 평균 영양단계는 3.79 ± 0.61 로 나타났다.

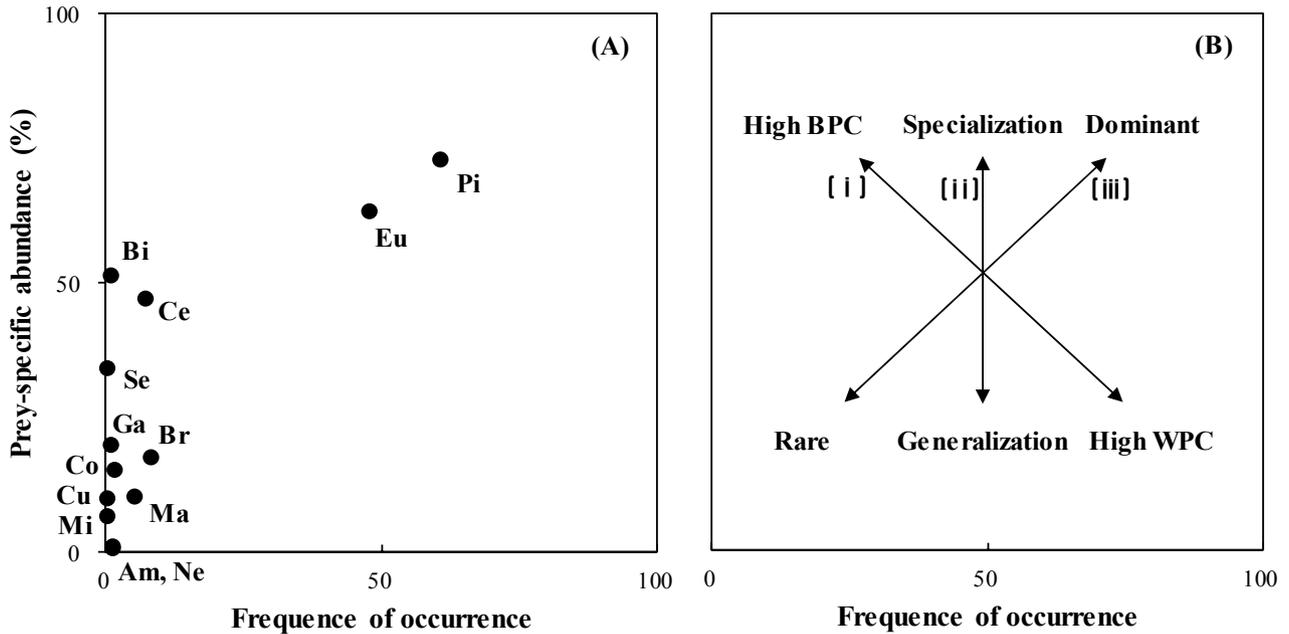


Fig. 7. (A) Graphical representation of feeding pattern of *Trachurus japonicus* from March 2019 to February 2020 in the South Sea of Korea (Am, Amphipoda; Bi, Bivalvia; Br, Brachyura; Ce, Cephalopoda; Co, Copepoda; Cu, Cumacea; Eu, Euphausiacea; Ga, Gastropoda; Ma, Macrura; Mi, Microplastics; Ne, Nematoda; Pi, Pisces; Se, Seaweeds), (B) Explanatory diagram for interpretation of niche-width contribution (axis I, within-phenotypic component (WPC) or between-phenotypic component (BPC)) of the study population, feeding strategy (axis ii), and prey importance (axis iii).

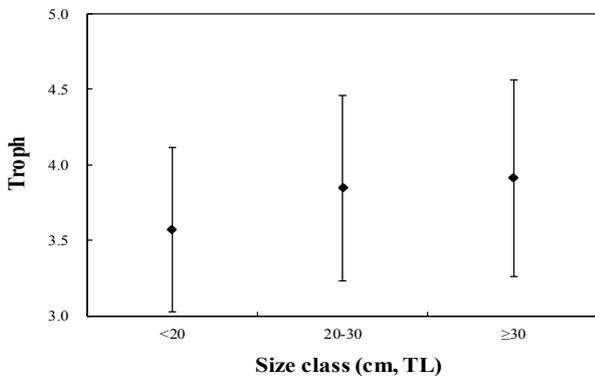


Fig. 8. Relationship between trophic level (TROPH) and size class.

고찰

이번 연구에서 전갱이의 주요 먹이생물은 난바다곤쟁이류(Euphausiacea)와 어류(Pisces)로 나타났으며, 어류 중에서는 멸치(*Engraulis japonicus*)가 가장 중요한 먹이생물이었다. 난바다곤쟁이류는 해양생태계 내에서 어류, 포유류와 같은 상위 영양단계의 포식자와 식물플랑

크톤과 같은 하위 영양단계인 일차생산자 사이의 먹이사슬을 연결하는 생태학적으로 중요한 역할을 하는 종이며, 많은 어류들이 선호하는 주요 먹이생물로 알려져 있다 (Mauchline, 1980; Greene et al., 1988, Ko et al., 2020). 멸치의 경우에도 해양생태계 내에서 요각류(Copepoda), 난바다곤쟁이류, 십각류유생(Decapoda larvae), 부유성 단각류(Pelagic amphipoda) 등과 같은 동물플랑크톤과 상위 영양단계의 포식자를 연결하는 매우 중요한 영양 단계에 위치해있다고 알려져 있으며(Atli 1959; Kramer, 1969; Schaefer, 1980), 우리나라 남해에 출현하는 육식성 부어류인 고등어(*Scomber japonicus*), 삼치(*Scomberomorus niphonius*), 방어(*Seriola quinqueradiata*), 만새기(*Coryphaena hippurus*) 등의 어종이 멸치를 주로 섭식하는 것으로 보고되었다(Huh et al., 2006; Yoon et al., 2008; Jeong et al., 2016; Jeong et al., 2017). 또한 난바다곤쟁이류와 멸치는 우리나라 연근해에 풍부하게 서식하는 것으로 알려져 있으며, 높은 밀도로 개체군을 형성하는 종으로 표층부터 저층까지 군집을 이루어 유영생활을 하는 것으로 알려진

전갱이가 효율적인 에너지 관리를 위하여 넓고 풍부한 출현량을 보인 난바다곤쟁이류와 멸치를 주로 섭식한 것으로 판단된다(Endo, 1984; Kim and Pang, 2005; Kim et al., 2018; Fishbase, 2020). 전갱이 섭식생태에 관한 선행연구인 낙동강 하구해역에서 수행된 Huh and Cha (1998)의 연구, 일본 큐슈 북쪽과 서쪽연안에서 수행된 Tanaka et al. (2006)의 연구, 동지나해에서 수행된 Sassa et al. (2008)의 연구, 여수 금오도 주변해역에서 수행된 Kim et al. (2015)의 연구에 따르면 전갱이의 주 먹이생물이 요각류로 나타나 이번 연구와는 다른 결과가 나타났다. 이러한 이유는 선행연구에서 2.2-15.2 cm 체장군인 유어만을 대상으로 연구가 수행되어 이번 연구에 비해 표본 체장이 비교적 작았으며, 유어의 경우 성어에 비해 입의 크기가 작고, 유영능력과 소화능력이 비교적 미약하기 때문에 포식하기에 적합한 요각류를 주로 섭식한 것으로 판단된다(Kim et al., 2015). 하지만 동중국해에서 가랑이 체장군 4.6-25.0 cm의 전갱이를 대상으로 수행된 Jiang et al. (2013) 선행연구에서는 주 먹이생물이 어류로 나타났고, 남해에서 전장군 6.0-28.0 cm의 전갱이를 대상으로 수행한 Lee et al. (2021)의 연구에서는 주 먹이생물이 요각류와 난바다곤쟁이류로 나타났으며, 체장이 증가할수록 더 큰 먹이를 선택하는 먹이의 선택성을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 표본 체장이 커질수록 입의 크기가 커지고, 유영능력과 소화능력의 향상, 에너지 요구량이 증가하여 비교적 크기가 더 큰 어류와 난바다곤쟁이류를 주로 섭식한 것으로 판단된다(Kim et al., 2015).

우리나라 연근해에서 출현하는 대부분의 어류들은 성장함에 따라 먹이생물이 전환되는 것으로 나타났다(Huh et al., 2013; Jeong et al., 2015; Kim et al., 2017). 이번 연구에서의 전갱이 또한 성장함에 따라 난바다곤쟁이류와 같이 크기가 작은 먹이생물에서 비교적 크기가 큰 어류의 비율이 높아져 먹이전환이 이루어지는 것으로 나타났다. 먹이전환이 일어나는 이유는 전갱이가 성장함에 따라 유영능력 및 먹이탐색 능력의 향상, 소화기관의 발달 등 더 큰 먹이생물을 섭식할 수 있게 된 결과이며, 큰 크기의 전갱이가 작은 크기의 먹이생물을 여러 차례 섭식하는 것 보다는 한 번에 큰 크기의 먹이생물을 섭식하는 것이 에너지 효율을 극대화하는데 유리하기 때문인 것으로 판단된다(Wainwright and Richard,

1995; Huh et al., 2007). 하지만 이번 연구에서 체장그룹별 먹이생물의 평균 크기가 증가하지 않은 이유는 표본 체장이 큰 전갱이 또한 효율적인 에너지 관리를 위하여, 높은 밀도로 개체군을 형성하며, 우리나라 연근해에서 넓고 풍부한 출현량을 보인 난바다곤쟁이류를 대량 섭식하는 것으로 판단된다(Endo, 1984; Kim et al., 2018). 또한 20.0-30.0 cm의 체장그룹에서 다양한 분류군의 먹이생물 섭식이 관찰되었는데, 이러한 이유는 20.0-30.0 cm의 체장그룹의 개체수가 다른 체장그룹에 비해 가장 많으며, 채집해구 범위가 가장 넓고, 채집어구 또한 다양하기 때문인 것으로 판단된다.

전갱이의 체장그룹별 먹이섭식 특성을 알아본 결과, 성장함에 따라 먹이생물 개체수(mN/ST)는 증가하지 않았고, 먹이생물의 중량(mW/ST)은 증가하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 대부분의 어류의 경우 성장함에 따라 에너지 요구량이 증가되고, 소화능력 향상, 복강용적 증가, 유영능력 향상 등의 이유로 평균 먹이생물 중량이 증가하는 경향을 보이는데(Gerking, 1994), 이번 연구에서의 전갱이 역시 이러한 이유 때문에 성장함에 따라 평균 먹이생물 중량이 증가하는 경향을 보인 것으로 생각된다. 하지만 평균 먹이생물 개체수가 증가하지 않은 이유는 큰 크기의 전갱이가 어류뿐만 아니라 고밀도로 개체군을 형성하는 난바다곤쟁이류를 에너지 효율적인 측면에서 기회주의적 섭식(Opportunistic feeding)하여 개체당 평균 먹이생물의 개체수의 편차가 크게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

출현빈도에 대한 특정먹이생물우점도(*prey-specific abundance*)를 도식화 하는 방법은 많은 섭식생태 연구에서 어류의 먹이중요도, 섭식 폭, 섭식전략을 분석하는데 유용하게 사용되고 있다(Amundesen et al., 1996). 먹이생물 분류군이 그래프 우측 상부에 위치할수록 우점 먹이생물이며, 개체당 섭식한 먹이생물의 종류가 적어 좁은 섭식폭을 가지는 섭식특화종(Specialist feeder)인 것으로 판단된다. 또한 먹이생물 분류군이 그래프 하부에 위치할수록 다양한 먹이생물을 섭식하여 넓은 섭식폭을 가지는 섭식일반종(Generalist feeder)인 것으로 판단된다(Pianka, 1988). 따라서 이번 연구에서 전갱이는 어류와 난바다곤쟁이류를 주로 섭식하는 섭식특화종인 것으로 나타났다.

이번 연구에서 전갱이의 영양단계는 성장함에 따라

3.57±0.54-3.91±0.65의 범위를 보여 영양단계가 상승하는 것으로 나타났으며, 평균 영양단계는 3.79±0.61로 나타났다. 동중국해에서 수행된 Jiang et al. (2013)의 선행연구에 따르면 4.6-25.0 cm 가랑이 체장군을 대상으로 분석한 전갱이의 평균 영양단계는 3.51로 나타나 동일 체장그룹으로 비교하였을 경우 이번 연구와 유사하였다. 또한 우리나라 남해에서 출현하는 생물들의 평균 영양단계는 3.46±0.004로 이번 연구에서 전갱이 영양단계 수치와 유사하거나 비교적 높은 것으로 나타났다(Zhang and Lee, 2004). 따라서 우리나라 남해에 출현하는 전갱이는 일차생산자인 동물플랑크톤 및 소형 어류와 최상위 포식자 사이를 연결시켜 주는 생태계 내에서 중간 영양단계에 위치하는 매우 중요한 종인 것으로 판단된다.

주 먹이생물, 성장에 따른 위내용물 조성 변화, 섭식 전략, 영양단계의 결과를 종합한 결과, 우리나라 남해에 출현하는 전갱이는 성장함에 따라 어류의 섭식 비율이 증가하지만, 난바다곤쟁이류와 같이 해역의 환경에 따라 풍부하게 서식하고 있는 먹이 또한 선택하여 섭식하는 시·공간적 기회주의적 섭식자(Opportunistic feeder)임과 동시에 육식성 어류(Carnivore)인 것으로 판단된다.

결론

2019년 3월부터 2020년 2월까지 한국 남해에서 대형 선망, 저층 트롤, 정치망어업으로 채집된 전갱이 417개체의 위내용물 조성과 영양단계를 분석하였다. 전갱이는 7.0-49.8 cm의 전장범위를 보였으며, 주 먹이생물은 난바다곤쟁이류(Euphausiacea)와 어류(Pisces)였다. 그 외에 두족류(Cephalopoda), 게류(Brachyura) 등이 출현하였지만 그 양은 상대적으로 많지 않았다. 성장에 따른 위내용물 조성 변화를 분석한 결과, 전갱이는 성장함에 따라 난바다곤쟁이류의 비율이 낮아지고, 어류의 비율이 높아졌으며, 평균 먹이생물의 중량은 증가하는 경향을 보였다. 먹이 중요도, 섭식 폭, 섭식전략을 분석한 결과, 전갱이는 어류와 난바다곤쟁이류를 주로 섭식하는 섭식특화종(Specialist feeder)임을 확인할 수 있었다. 전갱이의 영양단계는 3.57±0.54-3.91±0.65의 범위를 보여 성장함에 따라 상승하는 추세인 것으로 나타났으며, 평균 영양단계는 3.79±0.61로 나타났다. 따라서 우리나라 남해에 출현하는 전갱이는 일차생산자인 동물플랑크

톤 및 소형어류와 최상위 포식자 사이를 연결시켜 주는 생태계 내에서 중간 영양단계에 위치하는 매우 중요한 종이며, 성장함에 따라 어류의 섭식 비율이 증가하지만, 난바다곤쟁이류와 같이 해역의 환경에 따라 풍부하게 서식하고 있는 먹이 또한 선택하여 섭식하는 시·공간적 기회주의적 섭식자(Opportunistic feeder)임과 동시에 육식성 어류(Carnivore)인 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(ICT기반 수산자원관리 연구센터).

References

- Amundsen PA, Gable HM and Staldvik FJ. 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data modification of Costello (1990) method. *J Fish Biol* 48, 607-614. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01455.x>.
- Ann HB. 1973. Studies on the age and growth of the jack mackerel (*Trachurus japonicus*). *Bull Fish Res Dev Agency* 10, 73-82.
- Atli M. 1959. Kolyoz (*Scomber colias* L.)'un biolojisi hakkinda. *Hidrobiol Mecm* 5, 125-143.
- Bax NJ. 1998. The significance and prediction of predation in marine fisheries. *ICES J Mar Sci* 55, 997-1030. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1998.0350>.
- 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, Lee JB, Kang SK, Chang DS and Choi JH. 2009. Reproduction of the jack mackerel, *Trachurus japonicus* Temminck et Schlegel in the coastal waters around Jeju Island, Korea: maturation and spawning. *J Kor Soc Fish* <https://doi.org/10.3796/KSFT.2009.45.4.243>.
- Choi JH, Choi SH and Lee DW. 2014. Feeding ecology of the blackthroat seaperch *Doederleinia berycoides* in the Southern Seas of Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 47, 895-900. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0895>.

- Endo Y. 1984. Daytime surface swarming of *Euphausia pacifica* (Crustacea:Euphausiacea) in the Sanriku coastal waters of northeastern Japan. *Mar Biol* 79, 269-276. <https://doi.org/10.1007/BF00393258>.
- Engelhard GH and Heino M. 2004. Maturity changes in Norwegian spring-spawning herring before, during, and after a major population collapse. *Fish Res* 66, 299-310. [https://doi.org/10.1016/s0165-7836\(03\)00195-4](https://doi.org/10.1016/s0165-7836(03)00195-4).
- Fishbase. 2020. Fish Information. Retrieved from <https://www.fishbase.in>. Accessed 12 Dec 2020.
- Gerking SD. 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press Sandiego CA, U.S.A., 416.
- Greene CH, Wiebe PH, burczynski J and Youngbluth MJ. 1988. Acoustical detection of high-density krill demersal layers in the submarine canyons off Georges Bank. *Science* 241, 359-361. <https://doi.org/10.1126/science.241.4863.359>.
- Huh SH and Cha BY. 1998. Feeding habits of jack mackerel, *Trachurus japonicus*, Nakdong River Estuary. *Bull Korean Soc Fish Technol* 34, 320-327.
- Huh SH, Baeck GW, Choo HG and Park JM. 2013. Feeding habits spearnose grenadier, *Coelorinchus multispinulosus* in the coastal waters off Gori, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* 25, 157-162.
- Huh SH, Nam KM, Choo HG and Baeck GW. 2008. Feeding habits of *Sebastes thompsoni* in the coastal waters off Busan, Korea. *J Kor Fish Soc* 41, 32-38. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.1.032>.
- Huh SH, Park JM and Baeck GW. 2006. Feeding habits of spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) in the Southern Sea, Korea. *J Kor Fish Soc* 39, 35-41. <https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.1.035>.
- Huh SH, Park JM and Baeck GW. 2007. Feeding habits of bluefin searobin (*Chelidonichthys spinosus*) in the coastal waters off Busan. *Korean J Ichthyol* 19, 51-56.
- Hyslop EJ. 1980. Stomach contents analysis: a review of methods and their application. *J Fish Biol* 17, 411-429.
- Jeong JM, Choi JH, Im YJ and Kim JN. 2017. Feeding habits of Dophinfish *Coryphaena hippurus* in the South Sea of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 541-546. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0541>.
- Jeong JM, Hwang KS, Song SH, Kim HY, Park JH and Lee JH. 2016. Feeding habits of juvenile and young Yellow tail *Seriola quinqueradiata* in coastal waters of the South Sea, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 635-641. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0635>.
- Jeong JM, Kim HJ, Ye SJ, Yoem SD, Park JH and Baeck GW. 2015. Feeding habits of juvenile sea perch, *Lateolabrax japonicus* in tidal creek at Sangnae-ri Suncheon, Korea. *Korean J Fish Technol* 51, 221-226. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.2.221>.
- Jiang RJ, Jin HW, Zhou YD, Xue LJ and Guo A. 2013. Feeding habits of *Trachurus japonicus* in the East China Sea. *J Appl Ecol* 24, 2015-2024.
- Kim DG, Im YJ, Kim JN, Lee HW, Jin SY, Choi YJ and Baeck GW. 2020. Maturity and spawning Yellow goosefish *Lophius litulon* in the coastal waters of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 67-73. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0067>.
- Kim HJ, Jeong JM, Park JH and Baeck GW. 2017. Feeding habits of larval *Clupea pallasii* in the eastern Jinhae Bay, Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 53, 107-113. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.1.107>.
- Kim HY, Lim YN, Jeong JM, Kim HJ and Baeck GW. 2015. Diet composition of juvenile *Trachurus japonicus* in the coastal waters of Geumodo Yeosu, Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 51, 637-643. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.637>.
- Kim IS, Choi Y, Lee CR, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-Hak Pub Co, Seoul, Korea, 1-616.
- Kim PK, Han IW, Oh WS, Choi YM, Yoon SH, Lee HB and Lee KH. 2018. Biomass estimate of Euphausiids *Euphausia* sp. Using the Two-frequency difference method. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 305-312. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0305>.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 38, 331-341. <https://doi.org/10.5657/kfas.2005.38.5.331>.
- Ko AR, Lee SJ, Yang JH and Baeck GW. 2020. Diet of the walleye pollock *Gadus chalcogrammus* in the East Sea, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 456-463. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0456>.
- KOSIS. 2020. Statistic database for fisheries production.

- Korean Statistical Information Service Retrieved from <http://www.fips.go.kr>. Accessed 21 Aug 2020.
- Kramer D. 1969. Synopsis of the biological data on the Pacific mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn (Northeast pacific). US Fish Wildl Serv Circ 302, 1-18.
- Lee DJ, Kang SK, Jung KM and Cha HK. 2016. Age and growth of jack mackerel *Trachurus japonicus* off Jeju Island, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 49, 648-656. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0648>.
- Lee H and Kim H. 2011. Variation of fisheries conditions of mackerel (*Scomber japonicus*) fishing ground for large purse seine fisheries. J Kor Soc Fish Tech 47, 108-117. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2011.47.2.108>.
- Lee YJ, Lee JH and Kim YH. 2021. Feeding habits of the Jack mackerel *Trachurus japonicus* in the Southern Sea of the Republic of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 54, 64-72. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0064>.
- Lu HJ, Chen CC and Cheng JC. 2013. Age and growth study of the jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the northeastern waters off Taiwan. J Mar Sci Tech-Taiw 21 (Suppl), 31-40. <https://doi.org/10.6119/JMST-013-1220-1>.
- Mauchline J. 1980. The biology of mysids and euphausiids (Adv Mar Biol 18). Academic Press, London, U.K., 680.
- Nakashima, 1982. On the growth and age of three populations of jack mackerel *Trachurus japonicus*, in the western seas of Japan. Bull Seikai Reg fish Res Lab 57, 47-57.
- Pauly D, Froes R, Sa-a PS, Palomares ML, Christensen V and Rius J. 2000. Approaches for dealing with three sources of bias when studying the fishing down marine food web phenomenon. In: Fishing Down the Mediterranean Food Webs? (F. Briand ed.). CIESM Workshop Series, 12, 61-66.
- Pianka ER. 1988. Evolutionary ecology 4th ed. Harper Collins New York, U.S.A., 468.
- Pinkas L, Oliphant MS and Iverson ILK. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. Fish Bull 152, 1-105.
- Sassa C, Tsukamoto Y and Konishi Y. 2008. Diet composition and feeding habits of *Trachurus japonicus* and *Scomber* spp. larvae in the shelf break region of the East China Sea. Bull Mar Sci 82, 137-153.
- Schaefer KM. 1980. Synopsis of biological data on the chub mackerel (*Scomber japonicus* Houttuyn, 1782) in the Pacific ocean. IATTC spec Rep 2, 395-446.
- Sohn MH. 1993. Age and growth of jack mackerel, *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) caught with a set net on the coast of Shinyang, Cheju Island. Master's thesis, national university of Cheju, Jeju, Korea.
- Tanaka H, Aoki I and Ohshimo S. 2006. Feeding habits and gill raker morphology of three *Planktivorous pelagic* fish species off the coast of northern and western Kyushu in summer. J Fish Biol 68, 1041-1061. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00988.x>.
- Wainwright PC and Richard BA. 1995. Scaling the feeding mechanish of the largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Motor pattern. J Exp Biol 198, 1161-1171.
- Yoda M, Shiraishi T, Yukami R and Ohshimo S. 2014. Age and maturation of jack mackerel *Trachurus japonicus* in the East China Sea. Fish Sci 80, 61-68. <https://doi.org/10.1007/s12562-013-0687-5>.
- Yoon SJ, Kim DH, Baeck GW and Kim JW. 2008. Feeding habits of cub mackerel *Scomber japonicus* in the South Sea of Korea. J Kor Fish Soc 41, 26-31. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.1.026>.
- Zhang CI and Lee SK. 2004. Trophic levels and fishing intensities in Korean marine ecosystems. J Korean Soc Fish Res 6, 140-152.

2021. 01. 15 Received

2021. 03. 02 Revised

2021. 04. 01 Accepted