

낙동강 하구역에 출현하는 문절망둑 (*Acanthogobius flavimanus*) 자치어의 식성

최희찬 · 조정현 · 허성희¹ · 박주면^{2,*}

국립수산과학원 동해수산연구소, ¹부경대학교 해양학과, ²한국해양과학기술원 동해연구소 독도전문연구센터

Feeding Habits of Larval *Acanthogobius flavimanus* from the Nakdong River Estuary, Korea by Hee Chan Choi, Jeong Hyun Cho, Sung Hoi Huh¹ and Joo Myun Park^{2,*} (Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung 25435 Republic of Korea, ¹Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 48513 Republic of Korea, ²Dokdo Research Center, East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Ulsan 36315 Republic of Korea)

ABSTRACT We examined the food habits of larval *Acanthogobius flavimanus* using 260 specimens collected from February to April 2011 in the Nakdong River estuary, Korea. We found that larval *A. flavimanus* are carnivorous, feeding mainly on copepods and tintinnids. Their diet also included small quantities of larval polychaetes, macrostomids, larval bivalves, rotifers, barnacles, diatoms and unidentified materials. To assess ontogenetic changes in diet composition, the larvae were separated into three developmental stages: preflexion (<7 mmNL), flexion (7~9 mmNL), and postflexion (>9 mmNL). The preflexion group frequently preyed on tintinnids. But as the larvae of *A. flavimanus* grew, the consumption of copepods for flexion group, and polychaetes for postflexion group, increased respectively. The larvae of *A. flavimanus* showed one peak for feeding incidence at dusk, but the mean number of preys per individual was high until midnight.

Key words: *Acanthogobius flavimanus*, food habits, ontogenetic change, estuary, diel feeding

서 론

문절망둑 (*Acanthogobius flavimanus*)은 대한민국의 전 지역과 일본, 중국에 분포하며, 주로 강의 하구나 바다로 나가는 작은 하천의 지류에 주로 분포한다(Kim *et al.*, 2005). 특히 본 연구해역인 낙동강 하구역에서 수행된 어류 군집연구에서 문절망둑은 주요 우점종 내지는 상위 출현종으로 출현하였다(Kwak and Huh, 2003; Kang *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2016). 대부분의 망둑어과 어류처럼, 문절망둑 역시 상업적으로 중요한 어종은 아니지만, 많은 해안지역에서 회나 구이로 이용하고 있으며, 탐식성이 강해 낚시대상 어종으로도 인기가 높다.

지금까지 국내에서 수행된 문절망둑에 관한 연구로는 분류

학적 재검토(Kim *et al.*, 1986, 1987; Lee, 1992), 식성(Huh and Kwak, 1999; Park *et al.*, 2016) 및 일부 어류 군집연구(Kwak and Huh, 2003; Kang *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2016)에 언급된 정도로 많은 연구가 이루어지지는 않았다. 국외에서도 문절망둑의 식성에 관한 연구가 이루어졌으나(Kanou *et al.*, 2005; Workman and Merz, 2007), 문절망둑의 생활사 초기의 섭식생태에 대한 연구는 없었다.

어류는 난 및 자치어 시기를 거쳐 성어로 가입되며, 난황을 흡수 이후 처음 외부먹이를 섭식하는 성장 초기에 초기감모(Early Stage Mortality)가 일어나고, 이는 적절한 외부섭식이 이루어지지 못하여 발생하는 기아(starvation)가 주요 요인 중 하나이다. 기아에 의한 직접적인 사망 및 성장률의 저하로 인한 부유생활기(pelagic stage)의 증가는 다른 포식자에 의해 피식될 확률을 증가시키고(Shepherd and Cushing, 1980), 결국 이런 과정이 어류 가입에 영향을 미친다(May, 1974;

*Corresponding author: Joo Myun Park Tel: 82-54-780-5344,
Fax: 82-54-780-5319, E-mail: joomyun.park@kiost.ac.kr

Lasker, 1975). 따라서 자치어 시기에 주요 먹이생물을 파악하는 것은 자치어의 생존 기회를 평가하는데 중요한 요소이다 (Robichaud-LeBlanc *et al.*, 1997)

따라서 본 연구는 우리나라의 대표적인 어류 산란장 및 성육장인 낙동강 하구역에 출현한 문절망둑 자치어의 주요 먹이생물을 파악하고, 발생단계에 따른 먹이변화와 일주기 섭식생태 (diel feeding pattern)를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

식성 연구에 사용된 문절망둑 자치어의 시료는 2011년 2월부터 4월까지 매월 소조기에 채집하였으며, 수심이 5 m 이하의 비교적 얕은 낙동강 하구역 안쪽에 위치한 정점에서 오전 9시부터 익일 오전 6시까지 3시간 간격(낮 12시는 채집 제외, 7회/일 채집)으로 채집하였다(Fig. 1). 일주기 섭식생태 파악을 위한 시료는 가장 많은 개체가 채집된 2011년 3월에 채집한 시료를 이용하였다. 시료는 RN80 넷트(망구: 80 cm, 망목: 330 μ m)를 이용하여 수심 1~2m에서 약 2.5kn로 10분간 수평 채집을 실시하였고, 정량적 분석을 위하여 넷트 입구에 유량계 (Hydro-Bios Model 438 110)를 부착하였다.

채집된 표본은 5% 중성 포르말린으로 고정한 뒤, 실험실에서 70% 에탄올로 치환하였다. 이후 문절망둑 자치어를 분리한 뒤, 척색장(notochord length: NL)을 0.1 mm까지 측정하여 해부현미경(Olympus SZ40) 하에서 위장을 분리하였다. 장내용물은 쌍안실체현미경(Olympus CH2)을 이용하여 먹이 종류별로 구분하였고, 출현량이 많은 먹이생물은 가능한 속(genus) 수준까지 동정하였으며, 그 외 먹이생물은 그보다 상위 분류 단계까지만 동정하였다. 먹이생물의 동정에는 Yamaji (1984), Cho (1993), Yoo (1995) 등을 참고하였다.

먹이생물은 종류별로 개체수를 계수한 뒤, 먹이생물 크기에 따라 소형 먹이생물은 17 μ m, 대형 먹이생물은 68 μ m 단위로 먹이생물의 장축과 단축을 측정하였다. 그리고 먹이생물의 부피를 측정하기 위하여 먹이생물 종류에 관계없이 원기둥으로 가정한 뒤 장축은 높이, 단축은 밑면의 반지름을 구하는데 이용하였고, 원기둥 부피 식인 $v = \pi r^2 * h$ 이용해 먹이 생물의 체적을 구하였다.

장내용물의 분석 결과는 각 먹이생물에 대한 출현빈도 (frequency of occurrence), 먹이생물의 개체수비와 부피비로 나타내었으며, 출현빈도는 다음과 같이 구하였다.

$$\%F = A_i / N \times 100$$

여기서, A_i 는 장내용물 중 해당 먹이생물이 발견된 문절망둑 자치어의 개체수이고, N 은 위장에 내용물이 있었던 문절망둑 자치어의 개체수이다.

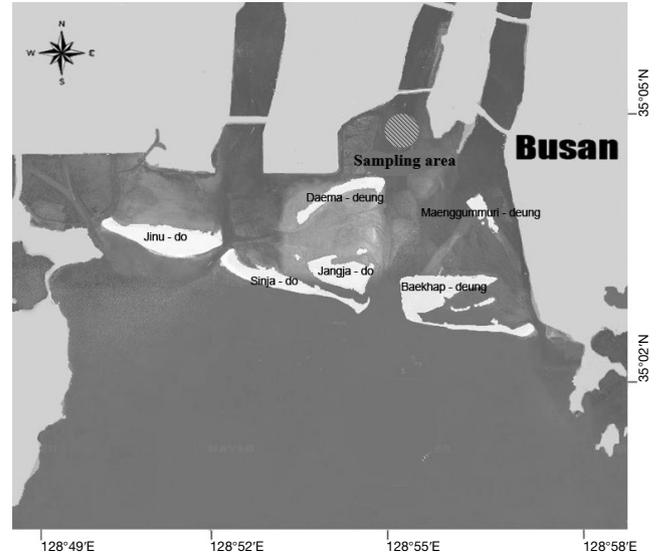


Fig. 1. Location of the sampling area in the Nakdong River estuary, Korea.

섭식된 먹이생물의 상대중요성지수 (index of relative importance, IRI)는 Pinkas *et al.* (1971)의 식을 이용하여 다음과 같이 구하였으나, 먹이생물의 중량비(%W) 대신 부피비(%V)를 이용하였으며, 결과 값은 백분율로 환산하여 상대중요성지수비(%IRI)를 구하였다.

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

성장에 따른 먹이생물의 변화를 알아보기 위하여 문절망둑 자치어의 시료를 발달단계에 따라 전기자어 (Preflexion: < 7 mmNL), 중기자어 (Flexion: 7~9 mmNL), 후기자어 (Postflexion: > 9 mmNL)로 나누어 먹이조성을 조사하였고, 척색장과 섭식된 먹이생물 크기 (단축) 사이의 관계는 선형회귀분석을 실시하였다. 그리고 성장에 따른 먹이섭식 특성을 파악을 위하여 발생단계별 개체 당 먹이의 평균 개체수 (mean number of preys per gut, mN/GUT)와 부피 (mean volume of prey per gut, mV/GUT)를 구하였으며, 분산분석 (analysis of variance, ANOVA)을 이용하여 유의성 검정을 실시하였다.

또한 먹이생물을 얼마나 다양하게 먹고 있는가를 파악하기 위하여 섭식 폭 지수 (dietary breadth index) B_i 를 구하였다 (Park *et al.*, 2007; Huh *et al.*, 2008).

$$B_i = (1/n - 1) \cdot (1/\sum P_{ij}^2 - 1)$$

여기서, P_{ij} 는 포식자 i 의 장내용물 중 먹이생물 j 가 차지하는 비율이고, n 은 총 먹이생물의 종수이다. 이 지수는 0에서 1까지의 범위를 보이며, 1에 가까울수록 더 다양한 먹이생물을 섭식하는 종으로 볼 수 있다 (Gibson and Ezzi, 1987; Park *et*

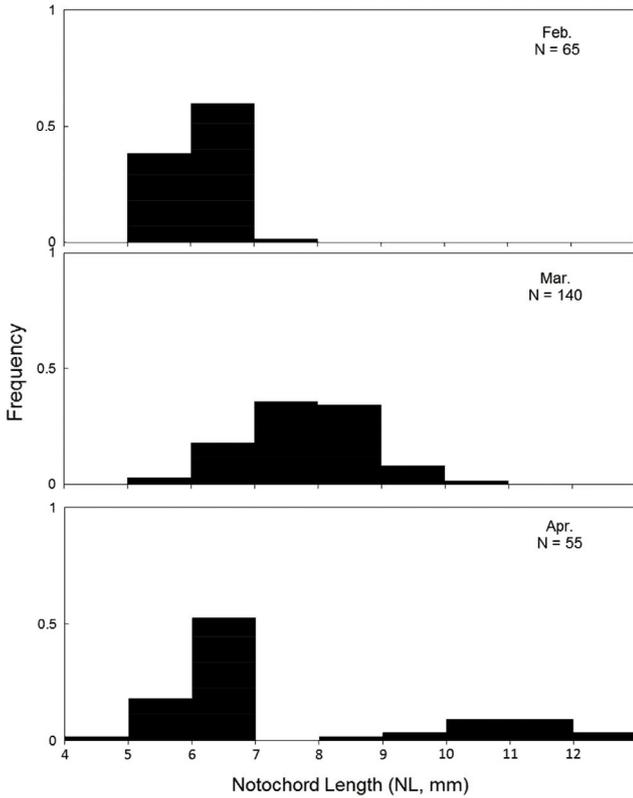


Fig. 2. Monthly size frequency of *Acanthogobius flavimanus* collected in the Nakdong-River estuary.

al., 2007; Huh et al., 2008).

그리고 일주기에 따른 문절망둑의 섭식특성 변화를 알아보기 위하여 가장 많은 개체가 채집된 2011년 3월에 출현한 문절망둑 자치어를 대상으로 시간대별 섭식률과 평균 먹이생물 개체수를 분석하였다.

결 과

1. 자치어의 체장분포와 섭식참여율

본 연구에서 문절망둑 자치어의 식성 분석을 위하여 사용된 시료는 총 260개체로, 4월에 55개체로 가장 적었고, 3월에 140개체로 가장 많았다. 문절망둑 자치어의 척색장 분포는, 2월에는 5.3~7.2 mm (mean NL (\pm SD))=6.0 \pm 0.3 mm), 3월에 5.4~10.2 mm (mean NL=7.7 \pm 1.0 mm)의 범위를 보였고, 평균 척색장은 증가하였다. 4월에는 4.8~6.7 mm와 8.9~12.9 mm의 두 크기 무리의 자치어가 출현하였다(Fig. 2).

위내용물을 분석한 260개체 중 먹이를 섭식한 문절망둑 자치어는 105개체로 섭식참여율은 40.4%였다(Table 1). 발생단계 별 섭식률은 전기자치어의 경우 33.8%로 가장 낮았으며, 후

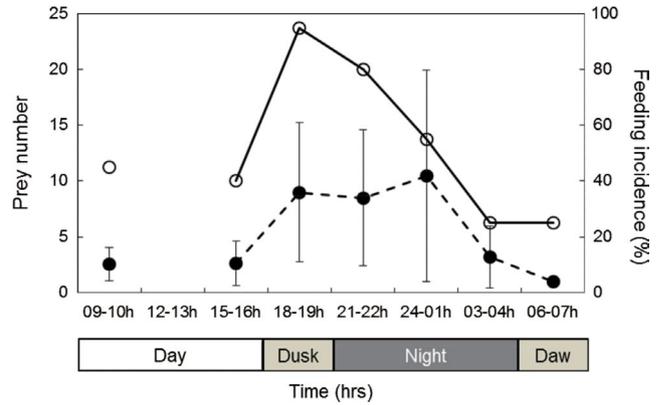


Fig. 3. Diel changes in the number of preys per larva (●) with standard deviation (vertical bar) and feeding incidence (○) of *Acanthogobius flavimanus* in the Nakdong River estuary.

Table 1. Feeding incidence (FI) of *Acanthogobius flavimanus* collected in the Nakdong-River estuary. N: number of fish examined; NL: notochord length

Development stage	N	NL(mm)	FI (%)
Preflexion	133	4.8~6.9	33.8
Flexion	100	7.0~8.9	46.0
Postflexion	27	9.0~12.9	51.9
Total	260		40.4

기자치어는 51.9%로 성장에 따라 섭식참여율은 증가하였다.

2. 일주기 섭식 특성

2011년 3월에 채집된 문절망둑 자치어의 일주기 섭식특성을 살펴보면(Fig. 3), 섭식참여율의 경우 09~10h에 45%였고, 15~16h에는 40%로 약간 감소하였다. 이후 18~19h에 섭식참여율이 95%로 크게 증가하였다. 이후 계속 감소하여 03~04h에는 섭식참여율이 25%로 급격히 낮아졌으며, 06~07h에도 25%로 가장 낮은 섭식참여율을 보였다.

한편, 개체 당 먹이생물의 평균 개수는 09~10h와 15~16h에 각각 2.6개체를 섭식하다가 18~19h에 9.0개체로 급격히 증가하였고. 이후 24~01h에 10.5개체로 정점을 보인 이후 평균 먹이생물 개체수는 급격히 감소하여, 06~07h에 1.0개체로 가장 적은 개체수를 보였다.

3. 장내용물 조성

먹이를 섭식한 105개체의 위내용물 분석 결과(Table 2), 문절망둑 자치어가 가장 선호한 먹이생물은 출현빈도 56.2%, 개체수비 46.0%, 부피비 82.3%를 보여 상대중요성지수비 74.5%를 차지한 요각류(Copepoda)로 나타났다. 요각류 중에서 출현빈도 28.6%, 개체수비 14.7%, 부피비 6.9%를 차지한

Table 2. Composition of the gut contents of *Acanthogobius flavimanus* by frequency of occurrence, number, volume and index of relative importance (IRI)

Prey organisms		Occurrence (%)	Number (%)	volume (%)	IRI	IRI (%)
Copepoda		56.2	46.0	82.3	7,207.7	74.5
	Copepod nauplii	28.6	14.7	6.9		
	Copepodite	1.0	0.5	2.6		
	<i>Corycaeus</i> sp.	1.0	0.3	3.3		
	<i>Euterpina</i> sp.	3.8	0.6	0.7		
	<i>Oithona</i> spp.	17.1	7.4	18.0		
	Paracalanidae	1.9	0.8	13.4		
	Paracalanus spp.	2.9	0.6	9.8		
	Parvocalanus sp.	2.9	0.5	12.2		
	Unidentified copepod	8.6	1.9	14.8		
	Copepod egg	15.2	18.6	0.6		
Tintinnida		51.4	36.1	7.7	2,247.9	23.2
	Codonellopsis spp.	6.7	1.4	0.5		
	<i>Favella ehrenbergii</i>	23.8	9.5	4.8		
	<i>Stenosemella</i> sp.	1.0	0.2	—		
	Tintinnopsis Kofoidi	13.3	3.0	0.3		
	Tintinnopsis spp.	37.1	22.0	2.1		
Polychaeta		7.6	11.1	2.0	99.7	1.0
	Unidentified polychaetes larva	7.6	11.1	2.0		
Macrostomida		5.7	1.1	4.8	33.6	0.3
Bivalvia		4.8	0.8	0.8	7.5	0.1
	Unidentified bivalve larva	4.8	0.8	0.8		
Rotifera		2.9	0.6	0.1	2.0	—
	Unidentified rotifer	1.0	0.3	—		
	Rotifer egg	1.9	0.3	—		
Cirripedia		1.9	0.3	0.9	2.4	—
	<i>Balanus</i> sp.	1.9	0.3	0.9		
Bacillariophyceae		1.9	0.6	0.2	1.7	—
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	1.9	0.6	0.2		
Us material		12.4	3.4	1.3	57.2	0.6
	Unidentified egg	4.8	1.8	0.3		
	Unidentified materials	8.6	1.6	0.9		
Total			100	100	6751.07	100

—: less than 0.1

노플리우스 유생이 상대중요성지수 618.2로 가장 중요한 먹이 생물이었고, *Oithona* spp.가 상대중요성지수 434.3으로 그 다음으로 중요한 먹이생물이었다. 이외에도 미동정 요각류와 요각류 알이 비교적 많이 섭취되었다.

요각류 다음으로 많이 섭취된 먹이생물은 출현빈도 51.4%, 개체수비 36.1%, 부피비 7.7%를 보여 상대중요성지수비 23.2%를 차지한 유충섬모충류(Tintinnida)이었다. 유충섬모충류 중에서 *Tintinnopsis* spp.가 출현빈도 37.1%, 개체수비 22.0%, 부피비 2.1%를 보여 상대중요도지수 893.9로 가장 중요한 먹이생물이었으며, *Favella ehrenbergii*가 출현빈도 23.8%, 개체수비 9.5%, 부피비 4.8%로 상대중요성지수 339.3을 나타내 그 다음으로 중요한 먹이생물이었다.

유충섬모충류 다음으로 중요한 먹이생물은 출현빈도 7.6%, 개체수비 11.1%, 부피비 2.0%를 차지하여 상대중요성지수비 1.0%를 보인 갯지렁이류(Polychaeta)이었고, 모두 부유성 유생 단계의 개체였다.

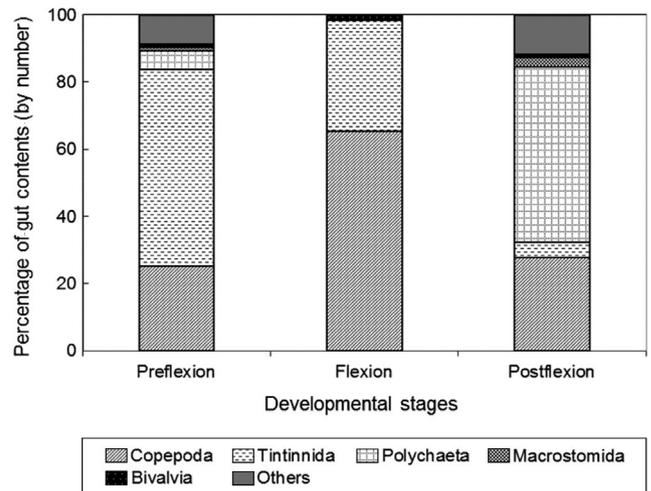


Fig. 4. Ontogenetic changes in composition of gut contents of *Acanthogobius flavimanus* by number.

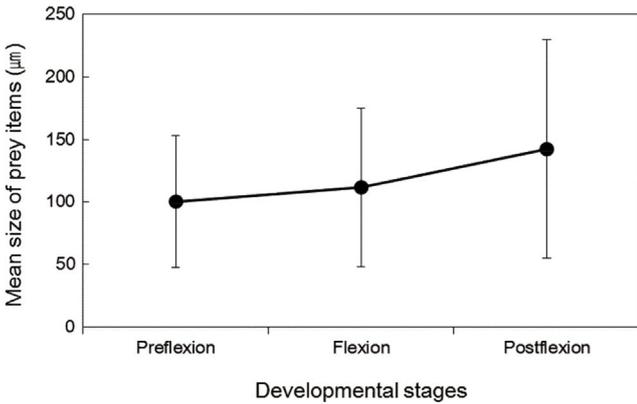


Fig. 5. Ontogenetic changes in the mean size with standard deviation (vertical bar) of prey items of *Acanthogobius flavimanus* in the Nakdong River estuary.

그 외에 편형동물인 거구목 (Macrostromida)와 이매패류 (Bivalvia), 윤충류 (Rotifera), 만각류 (Cirripedia), 규조류 (Bacillariophyceae), 이매패류 (Bivalvia) 및 미동정 먹이생물이 발견되었으나 상대중요성지수 1.0% 미만으로 먹이생물 중 차지하는 비중은 매우 적었다.

4. 발생단계별 먹이 조성의 변화

본 연구에서 문절망둑 자치어는 발생단계에 따라 3개의 크기그룹으로 나누어 먹이생물의 개체수를 기준으로 위내용물의 조성 변화를 조사하였다 (Fig. 4).

가장 작은 크기군인 전기자어 단계에서는 유충섭모충류가 전체 먹이생물 개체수의 58.6%를 차지하여 가장 많이 섭식되었다. 그 다음으로 요각류가 25.3%로 많이 섭식되었다. 그 외 윤충류, 규조류 및 미동정 먹이생물이 포함된 기타 먹이생물들이 8.6%의 개체수비를 보였고, 갯지렁이류가 5.6%를 차지하였다. 그 밖에 거구목과 이매패류가 각각 1.0%로 소량 섭식되었다.

중기자어 단계에서는 유충섭모충류가 크게 감소하여 전체 먹이생물 개체수의 33.0%를 차지한 반면, 요각류는 크게 증가하여 65.4%를 차지하여 가장 중요한 먹이생물이었다. 그 외 모든 먹이생물은 전기자어기에 비해 적게 섭식되었다.

후기자어 단계에서는 갯지렁이류가 전체 먹이생물 개체수의 52.3%로 가장 우점하였다. 그 다음으로 요각류가 27.9%로 이전 크기군에 비해 크게 감소한 개체수비를 보였고, 유충섭모충류 역시 크게 감소하여 4.5%를 차지하였다. 그 외에 기타 먹이생물이 11.7%를 차지하였는데, 미동정 먹이생물이 대부분이었다.

섭식된 먹이생물의 크기를 살펴보면 (Fig. 5), 전기자어의 평균 먹이생물 크기가 100.4 µm이었으며, 중기자어의 경우 111.5 µm로 크기 차이가 거의 없었고, 후기자어의 평균 먹이생물 크기는 142.1 µm로 증가하였으며, 자치어의 발생단계에

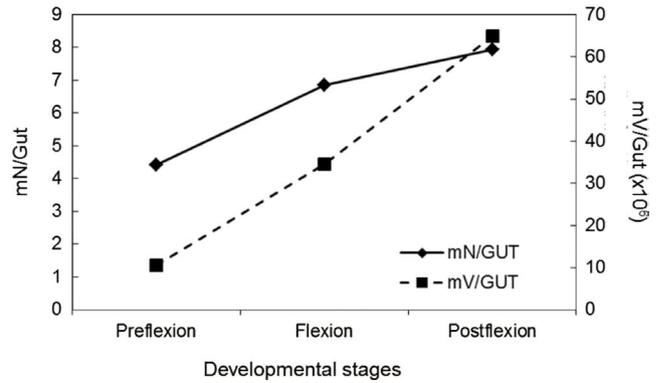


Fig. 6. Variation of mean number of preys per gut (mN/GUT) and mean volume of preys per gut (mV/GUT) of *Acanthogobius flavimanus* among size classes.

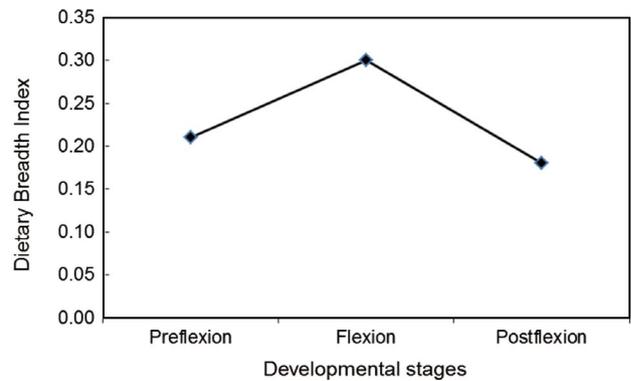


Fig. 7. The size-related variations of dietary breadth index of *Acanthogobius flavimanus*.

따라 섭식된 먹이생물의 크기 역시 통계적으로 유의한 크기의 증가를 보였다 ($F_{2,209} = 4.390, P < 0.05$).

문절망둑 자치어의 발생단계별 평균 먹이생물 개체수 (mN/GUT)와 평균 먹이생물 부피 (mV/GUT) 모두 전기자어에서 후기자어로 성장하면서 증가하는 경향을 보였으나 (Fig. 6), 통계적으로는 개체 당 먹이생물의 평균부피만 유의하게 증가하는 결과를 보였다 (ANOVA, $F_{2,102} = 10.284, P < 0.05$).

문절망둑 자치어에 의해 섭식된 장내용물의 섭식 폭 지수 (dietary breadth index)는 0.18~0.30의 범위를 보였다 (Fig. 7). 전기자어에서 중기자어는 0.21에서 0.30으로 증가하여 더 다양한 먹이생물을 섭식하였으며, 후기자어에 이르러서 갯지렁이류를 주로 섭식하여 0.18로 감소하였다.

고찰

본 연구에서 문절망둑 자치어는 섭식참여율이 40.4%로 낮았고, 전기자어의 섭식참여율은 33.8%로 매우 낮았고, 후기

자어에 이르러서도 51.9%로 비교적 낮은 섭식참여율을 보였다. 섭식참여율이 낮게 나타나는 경우는 몇 가지 이유가 있겠지만, 일반적으로 소화되었거나(Ellertsen *et al.*, 1981; Jenkins, 1987), 채집 및 시료고정 중에 먹이생물을 배설하였거나 토하였기 때문이며, 특히 직선형태의 장을 가진 종들이 낮은 섭식률을 보인다(Hay, 1981; Yamashita, 1990). 특히 자치어 시기에 가늘고 긴 체형을 가진 청어목(Clupeiformes)에 속하는 종들이 낮은 섭식참여율을 보였는데, 광양만에서 채집된 전어(*Konosirus punctatus*)의 전기자어는 38.7%의 낮은 섭식참여율을 보였으며(Park *et al.*, 1996), 낙동강 하구역에서 채집된 전어 자치어 역시 전체 섭식참여율이 49.7%로 낮았다(Choi *et al.*, 2015b). 같은 청어목에 속하는 청어 자치어는 섭식 초기에 29.2%의 매우 낮은 섭식참여율을 보였다(Choi *et al.*, 2015a). 한편 멸치과에 속하는 멸치와 웅어 자치어 역시 낮은 섭식참여율을 보였다(Park and Cha, 1995; Choi *et al.*, 2018). 그러나 곡선형으로 꼬인 장의 형태를 가지고 있던 농어목 자치어들은 매우 높은 섭식참여율을 보였는데, 보구치(Cha and Park, 2001a)와 주동치(Cha and Park, 2001b) 자치어는 각각 88.8%와 100%의 섭식참여율을 보였고, 망둑어과(Park, 1999)의 자치어 역시 91.0%의 섭식참여율을 보였다. 이와 같이, 꼬인 장의 형태를 가지고 있는 종들은 채집과정 중의 외력에 의한 배설이나 구토 때문에 발생하는 먹이생물 탈출 빈도가 적어 비교적 높은 섭식참여율을 보이는 것으로 생각된다. 하지만 본 연구해역의 문절망둑은 겨울철 기수역에서 주로 산란 및 부화하는 어종으로 당시 매우 낮은 수온으로 인한 활용 가능한 먹이생물의 제한 때문에(See Choi *et al.*, 2015c), 타계절에 출현하는 농어목 자치어에 비해 낮은 섭식률을 보이는 것으로 생각된다.

일주기(diel cycle) 변동에 따른 어류 식성의 변화는 흔히 관찰된다(e.g. Huusko and Sutela, 1998; Amundsen *et al.*, 1999; Weljange *et al.*, 2006). 본 연구에서 문절망둑 자치어는 18~19 h에 최고 섭식률을 보였고, 먹이생물 개체수도 평균 9.0개체로 24~01 h 다음으로 많은 평균 개체수를 보여 가장 활발히 섭식하는 시간대임을 추측할 수 있다. 이후 자정까지 섭식률은 감소하였으나, 평균 먹이생물 개체수는 다른 시간대에 비해 높게 나타나 야간에 활발히 섭식하는 경향을 보였다.

일반적으로 자치어 시기에는 다른 감각기관이 충분히 발달하지 못해 시각을 이용하여 먹이를 찾는 것을 고려하여 볼 때, 야간에 이루어진 자치어의 섭식은 일반적이지 않은 현상이다(Hunter, 1981; Blaxter, 1986). 낙동강 하구역에서 채집된 멸치과 자치어도 야간에는 전혀 섭식활동을 하지 않아 시각에 의존하여 먹이활동을 하는 것으로 생각된다(Choi, 2014). 한편 자치어가 어둠 속에서도 먹이를 섭식한다는 결과 보고는 다수 존재하는데(Amundsen *et al.*, 1999; Rao, 2003; Reiss *et al.*, 2005), 낙동강 하구역에 출현하는 청어(Choi *et al.*, 2015a)와

망둑어과 자치어 역시 야간에 먹이생물을 섭식하였다(Choi, 2014). 하지만 야간섭식은 일몰 이전에 섭식된 먹이가 완전히 소화되지 못한 결과일수도 있는데(Watson and Davis, 1989), 이는 흰송어(vendace) 자어의 섭식실험 결과에서 잘 나타나 있다(Huusko and Sutela, 1998). 따라서 문절망둑 야간 섭식 여부는 추후 먹이생물의 소화도 및 장배출율(gut evacuation rate)을 실험을 통하여 종합적인 판단이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 문절망둑 자치어의 가장 중요한 먹이생물은 요각류였다. 자치어의 먹이원으로서의 요각류의 중요성은 이미 많은 선행연구에서 보고된 바 있는데(e.g. Young and Davis, 1990; Park and Cha, 1995; Park *et al.*, 1996; Cha and Park, 2001a, b; Cass-Calay, 2003; Østergaard *et al.*, 2004; Reiss *et al.*, 2005; Shoji *et al.*, 2005; Fernández and González-Quirós, 2006; Landaeta *et al.*, 2012), 이는 작은 크기를 가진 요각류를 자치어가 섭식하기 용이하고, 전체 해양생물 생체량의 70~90%를 차지할 정도로 우점하는 생물군이기 때문에, 최소한의 노력으로 쉽게 섭식가능하기 때문인 것으로 생각된다(Huh and Kwak, 1997).

한편 국내에서 보고된 망둑어과 자치어의 먹이생물을 살펴보면, 광양만에서 채집된 망둑어과(Gobiidae spp.)는 요각류와 유충섬모충류를 섭식하였고, 그 중 요각류의 노플리우스 유생을 주로 섭식하였다(Park, 1999). 그리고 낙동강 하구역에서 여름철에 채집된 망둑어과 자치어도 요각류를 주로 섭식하여(Choi, 2014), 요각류가 망둑어과 자치어의 주요한 먹이생물로 판단된다.

문절망둑 자치어는 요각류 중에서도 검물벼룩목(Cyclopoida)의 *Oithona* spp.를 많이 섭식하였다. *Oithona* spp.는 세계 어디서나 아주 흔하게 발견되고, 생체량도 많은 분류군으로(Robins and Gallienne, 2001), 동일한 시기에 낙동강 하구역에서 조사된 동물플랑크톤 군집조사에서도 우점 분류군으로 나타났다(Unpubl. data). 그리고 같은 해역에서 수행된 청어 자치어 식성 연구에서도 *Oithona* spp.는 중요한 먹이생물로 출현하여(Choi *et al.*, 2015a), 문절망둑 자치어가 낙동강 하구역에 많이 서식하는 *Oithona* spp.를 많이 섭식한 것으로 생각된다.

자치어 섭식에 있어 먹이선택의 중요한 결정 요인 중 하나로 먹이생물의 크기를 꼽을 수 있고(Schmitt, 1986; Theilacker, 1987), 섭식된 먹이생물의 크기는 자치어의 입크기에 의해 결정되는 경향이 있기 때문에(Last, 1980), 자치어가 성장하면서 더 큰 먹이생물을 선호하거나, 먹이의 종류와 개수가 변하는 것은 일반적인 현상이며, 이는 자치어가 성장하면서 필요한 에너지를 효율적으로 충족하기 위한 기작으로 생각된다(Hunter, 1981). 실제로 다양한 어류의 자치어 식성 연구에서 성장에 따른 먹이전환 관찰되었다(Lee and Huh, 1989; Park *et al.*, 1996; Park, 1999; Cha and Park, 2001a, b; Gning *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2015a, b; Choi *et al.*, 2018). 본 연구에서도 문절망둑 자치

어는 섭식 초기에 소형의 유충섭모충류를 주로 섭식하다가 성장함에 따라 요각류를 먹이전환을 하였고, 후기자어에 이르러서는 다시 갯지렁이류를 주로 섭식하였다. 먹이생물의 평균크기도 발생단계에 따라 점차 증가하였고, 개체 당 먹이생물 개수와 부피 모두 증가하는 경향을 보였는데, 이러한 섭식전략을 통해 성장하면서 필요한 에너지 요구량을 충족시키는 것으로 보인다.

문절망둑 후기자어의 주요 먹이생물이었던 갯지렁이류는, 국내외에서 연구된 문절망둑 치어기 이후의 개체들의 주요 먹이생물 중 하나로 나타났다(Kikuchi and Yamashita, 1992; Huh and Kwak, 1999; Kanou *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2016). 특히 일본 Tama강 하구역에서 채집된 문절망둑 치어기(14~41 mm) 개체들의 먹이생물 전환은 요각류를 주로 섭식하던 14~17 mm 개체에서 이후 갯지렁이류로 전환되는 패턴을 보여 본 연구와 유사하였다(Kanou *et al.*, 2005). 과양만 잘피밭에 출현한 문절망둑도 미성어(80 mm 이하) 개체들이 갯지렁이류를 많이 섭식하는 경향을 보였다(Huh and Kwak, 1999). 따라서 문절망둑은 후기자어기부터 갯지렁이류로 먹이전환된 이후 성장함에 따라 꾸준히 갯지렁이류를 주요 먹이로 이용하는 것으로 판단된다.

요 약

낙동강 하구역에 서식하는 문절망둑 자치어의 식성을 밝히기 위해 2011년 2월부터 4월까지 RN80 네트를 이용하여 채집하였고, 그 중 260개체를 해부현미경을 이용하여 장내용물 분석을 실시하였다. 분석결과 문절망둑 자치어는 요각류와 유충섭모충류를 주로 섭식하였고, 그 외에도 갯지렁이 유생, 거구목(편형동물), 이매패류 유생, 윤충류, 따개비 유생, 규조류 등을 섭식하였다. 문절망둑 자치어는 시간대별로 다른 섭식강도를 보였는데, 18~19시 사이에 가장 높은 섭식참여율 보였고, 개체당 먹이생물 개체수는 18~01시까지 높은 수준을 유지하였다. 성장에 따른 문절망둑 자치어의 식성변화를 평가하기 위해 발생단계(3단계: 전기, 중기, 후기자어) 별로 먹이생물을 분석한 결과, 전기자어 시기에는 유충섭모충류를 주로 섭식하였고, 중기자어기에는 요각류, 후기자어 시기에는 갯지렁이 유생을 주로 섭식하였다. 문절망둑 자치어의 먹이생물의 평균크기는 성장에 따라 유의하게 증가하였고, 개체당 평균먹이생물 평균 개체수와 평균 부피도 증가하는 경향을 보였다. 먹이생물의 다양성을 나타내는 먹이 섭식 폭 지수는 중기자어 시기까지는 증가하다가 후기자어에 들어 급격히 감소하였다.

사 사

이 논문은 2019년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업인

“동해 연안어업 및 환경생태 조사(R2019024)” 및 한국해양과학기술원의 주요사업 “한국 주변 해양생태계 변동 이해 및 대응 기반연구(PE99713)”의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Amundsen, P.A., R. Bergersen, H. Huru and T.G. Heggerget. 1999. Diel feeding rhythms and daily food consumption of juvenile Atlantic salmon in the river Alta, northern Norway. *J. Fish. Biol.*, 54: 58-71.
- Blaxter, J.H.S. 1986. Development of sense organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 115: 98-114.
- Buskey, E.J., C. Coulter and S. Strom. 1993. Locomotory patterns of microzooplankton: potential effects on food selectivity of larval fish. *Bull. Mar. Sci.*, 53: 29-43.
- Cass-Calay, S.L. 2003. The feeding ecology of larval Pacific hake (*Merluccius productus*) in the California Current region: an updated approach using a combined OPC/MOCNESS to estimate prey biovolume. *Fish. Oceanogr.*, 12: 34-48.
- Cha, S.S. and K.J. Park. 2001a. Feeding selectivity of postlarvae of white croaker *Argyrosomus argentatus* in Kwangyang Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 34: 27-31. (in Korean)
- Cha, S.S. and K.J. Park. 2001b. Food organisms and feeding selectivity of postlarvae of slimy *Leiognathus nuchalis* in Kwangyang Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 34: 666-671. (in Korean)
- Chang, K.H., S.J. Hwang, M.H. Jang, H.W. Kim, K.S. Jeong and G.J. Joo. 2001. Effect of juvenile fish predation on the zooplankton community in the large regulated Nakdong River, South Korea. *Korean J. Limnol.*, 34: 310-318. (in Korean)
- Cho, K.S. 1993. Illustration of the freshwater zooplankton Korea. Academy Publish Company, Seoul, 387p. (in Korean)
- Choi, H.C. 2014. Species composition of the ichthyoplankton and feeding ecology of early stage in the Nakdong River estuary, Korea. Doctoral Thesis, Pukyong National University, Busan, 144pp. (in Korean)
- Choi, H.C., I.S. Han, Y.S. Suh and S.H. Huh. 2015b. Feeding habits of larval *Konosirus punctatus* from the Nakdong River estuary, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 752-759. (in Korean)
- Choi, H.C., J.M. Park, S.H. Youn and S.H. Huh. 2015a. Feeding habits of larval *Clupea pallasii* from the Nakdong River estuary, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 498-506. (in Korean)
- Choi, H.C., J.M. Park and S.H. Huh. 2015c. Spatio-temporal variations in species composition and abundance of larval fish assemblages in the Nakdong River estuary, Korea. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 498-506. (in Korean)
- Choi, H.C., S.H. Youn, S.H. Huh and J.M. Park. 2018. Diet composition and feeding habits of two engraulid fishlarvae (*En-*

- graulis japonicas* and *Coilia nasus*) in the Nakdong River estuary, Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 48: 498-506. (in Korean)
- Chyung, M.K. 1977. The Fishes Of Korea. Ilji-sa, Seoul, 727p. (in Korean)
- Fernandez, I.M. and R. Gonzalez-Quiros. 2006. Analysis of feeding of *Sardina pichardus* (Walbaum, 1972) larval stages in the central Cantabrian Sea. Sci. Mar., 70: 131-139.
- Gibson, R.N. and I.A. Ezzi. 1987. Feeding relationships of a demersal fish assemblage on the west coast of Scotland. J. Fish. Biol., 31: 55-69.
- Gning, N., G. Vidy and O.T. Thiaw. 2008. Feeding ecology and ontogenetic diet shifts of juvenile fish species in and invasive estuary: The Sine-Saloum, Senegal. Estuar. Coast. Shelf Sci., 76: 395-403.
- Han, K.H., S.H. Lee, J.I. Baek and B.I. Youn. 2016. Seasonal fluctuations in abundance and species composition of fishes collected by set net fishery in Nakdong River estuary. Environ. Res., 16: 77-85. (in Korean)
- Hay, D.E. 1981. Effects of capture and fixation on gut contents and body size of Pacific herring larvae. Rapp. P. -v Reun. Cons. Int. Explor. Mer., 178: 395-400.
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1997. Feeding habits of *Pholis nebulosa*. Korean J. Ichthyol., 9: 22-29. (in Korean)
- Huh, S.H. and S.N. Kwak. 1999. Feeding habits of *Acanthogobius flavimanus* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. J. Korean Fish. Soc., 32: 10-17. (in Korean)
- Huh, S.H. and S.N. Kwak and H.W. Kim. 2008. Feeding habits of *Pseudoblennius percoides* (Pisces; Cottidae) in an eelgrass (*Zostera marina*) bed of Dongdae bay. Korean J. Ichthyol., 20: 45-53. (in Korean)
- Hunter, J.R. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: Lasker R., (ed.), Marine Fish Larvae: morphology, ecology, and relation to fisheries. Washington University Press, Seattle, pp. 34-77.
- Huusko, A. and T. Sutela. 1998. Diel feeding periodicity in larvae of the vendace (*Coregonus albula* L.) and influence of food availability and environmental factors on food intake. Ecol. Freshwater Fish., 7: 69-77.
- Jenkins, G.P. 1987. Comparative diets, prey selection, and predatory impact of co-occurring larvae of two flounder species. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 110: 147-170.
- Kang, E.J., H. Yang, H.H. Lee, K.S. Kim and C.H. Kim. 2012. Characteristics of Fish fauna collected from near estuaries bank and fish-way on the bank of Nakdong River. Korean J. Ichthyol., 24: 201-219. (in Korean)
- Kanou, K., M. Sano and H. Kohno. 2005. Ontogenetic diet shift, feeding rhythm, and daily ratio of juvenile yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus* on a tidal mudflat in the Tama River estuary, central Japan. Ichthyol. Res., 52: 319-324.
- Kikuchi, T. and Y. Yamashita. 1992. Seasonal occurrence of gobiid fish and their food habits in a small mud flat in Amakusa. Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab., 11: 73-93.
- Kim, H.B. and T.Y. Lee. 1984. Reproductive biology of a shad, *Konosirus punctatus*. Bull. Korean Fish. Soc., 17: 206-218. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.R. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-hak Publishing Co, Seoul, 613pp. (in Korean)
- Kim, I.S., Y.U. Kim and Y.J. Lee. 1986. Synopsis of the family Gobiidae (Pisces, Perciformes) from Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 19: 387-408. (in Korean)
- Kim, I.S., Y.J. Lee and Y.U. Kim. 1987. A taxonomic revision of the subfamily Gobiidae (Pisces, Perciformes) from Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 20: 529-542. (in Korean)
- Kim, K.S., K.H. Han, J.H. Lee, S.H. Lee, C.C. Kim, H.J. Ko and K.S. Jeong. 2007. Egg development and morphology of larva and juvenile of the konoshiro gizzard shad, *Konosirus punctatus*. Dev. Reprod., 11: 127-135. (in Korean)
- Kwak, S.N. and S.H. Huh. 2003. Changes in species composition of fishes in the Nakdong River estuary. J. Korean Fish. Soc., 36: 129-135. (in Korean)
- Landaeta, M.F., G. Lopez, N. Suarez-Donoso, C.A. Bustos and F. Balbontin. 2012. Larval fish distribution, growth and feeding in Patagonian fjords: potential effects of freshwater discharge. Environ. Biol. Fish. 93: 73-87.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull. U.S., 73: 453-462.
- Last, J.M. 1980. The food of twenty species of fish larvae in the west-central North Sea. Fish. Res. Tech. Rep., Suffolk 60: 1-44.
- Lee, T.W. and S.H. Huh. 1989. Early life history of the marine animals. 2. Age, growth and food of *Chaenogobius laevis* (Steindachner) larvae and juveniles. J. Korean Fish. Soc., 22: 332-341. (in Korean)
- Lee, Y.J. 1992. A taxonomy study of the genera *Acanthogobius* and *Synechogobius* (Pisces: Gobiidae). Korean J. Ichthyol., 4: 1-25. (in Korean)
- Matasuura, Y. 1974. Morphological studies of two pristigasterinae larvae from southern Brazil, in the early life history. J.H.S. Blaxter ed. Springer-Variag, Berlin, pp. 685-701.
- May, R.C. 1974. Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In: Blaxter J.H.S. (ed.), The Early Life History of Fish. Springer Berlin Heidelberg, New York, pp. 3-20
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2004. Commercial Fishes of the Coastal & Offshore Waters in Korea. Hangul Graphics, Busan, 333pp. (in Korean)
- Østergaard, P., P. Munk and V. Janekarn. 2005. Contrasting feeding patterns among species of fish larvae from tropical Andaman Sea. Mar. Biol., 146: 595-606.
- Park, J.H., J.M. Jeong, H.J. Kim, S.J. Ye and G.W. Baek. 2016. Feeding habits of yellowfin goby, *Acanthogobius flavimanus* in the tidal flat of Sangnae-ri, Suncheon, Korea. J. Korean Soc. Fish. Technol., 52: 169-175. (in Korean)

- Park, K.D., Y.J. Kang, S.H. Huh, S.N. Kwak, H.W. Kim and H.W. Lee. 2007. Feeding ecology of *Sebastes schlegeli* in the Tongyeong marine ranching area. J. Korean Fish. Soc., 40: 308-314. (in Korean)
- Park, K.J. 1999. Species composition of the ichthyoplankton and feeding ecology of early stage in Kwangyang Bay, Korea. Doctoral Thesis, Chonnam National University, Kwangju, 131pp. (in Korean)
- Park, K.J. and S.S. Cha. 1995. Food organisms of postlarvae of Japanese anchovy *Engraulis japonica* in Kwangyang Bay. J. Korean Fish. Soc., 28: 247-252. (in Korean)
- Park, K.J., S.S. Cha and S.H. Huh. 1996. Food organisms of post-larval shad *Konosirus punctatus* in Kwangyang Bay. J. Korean Fish. Soc., 29: 450-455. (in Korean)
- Pinkas, L., M.S. Loiphant and I.L.K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Calif. Dep. Fish and Game Fish. Bull., 152: 1-105.
- Rao, T.R. 2003. Ecological and ethological perspectives in larval fish feeding. J. Appl. Aquacult., 13: 145-178.
- Reiss, C., I. McLaren, P. Avendaño and C. Taggart. 2005. Feeding ecology of silver hake larvae on the Western Bank, Scotian Shelf, and comparison with Atlantic Cod. J. Fish. Biol., 66: 703-720.
- Schmitt, P.D. 1986. Feeding by larvae of *Hypoatherina tropicalis* (Pisces: Atherinidae) and its relation to prey availability in One Three lagoon, Great Barrier Reef, Australia. Environ. Biol. Fish., 16: 79-94.
- Shepherd, J.G. and D.H. Cushing. 1980. A mechanism for density-dependent survival of larval fish as the basis of a stock-recruitment relationship. J. Cons. Int. Explor. Mer., 39: 160-167.
- Shoji, J., E.W. North and E.D. Houde. 2005. The feeding ecology of *Morone americana* larvae in the Chesapeake Bay estuarine turbidity maximum: the influence of physical conditions and prey concentrations. J. Fish. Biol., 66: 1328-1341.
- Theilacker, G.H. 1987. Feeding ecology and growth energetics of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish. Bull. US., 85: 213-228.
- Watson, W. and R.L. Davis. 1989. Larval fish diets in shallow waters off San Onofre, California. Fish. Bull. U.S., 87: 569-591.
- Weliange, W., U.S. Amarasinghe, J. Moreau and M.C. Villanueva. 2006. Diel feeding periodicity, daily ration and relative food consumption in some fish populations in three reservoirs of Sri Lanka. Aquat. Living Res., 19: 229-237.
- Workman, L.M. and E.J. Merz. 2007. Introduced yellowfin goby, *Acanthogobius flavimanus*: Diet and habitat use in the lower Mokelumne River, California. San Francisco Estuary Watershed Sci., 5: 1-13.
- Yamaji, I. 1984. Illustrations of the Marine Plankton of Japan. Hoikusha Publication, Tokyo, 538pp. (in Japanese)
- Yamashita, Y. 1990. Defecation of larval Japanese anchovy *Engraulis japonica* during net sampling. Bull. Tohoku Nat'l. Fish. Res. Inst., 52: 29-32.
- Yoo, K.I. 1995. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 35 Marine Zooplankton. Ministry of Education, 415pp. (in Korean)
- Young, J.W. and T.L.O. Davis. 1990. Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces: Scombridae) in the eastern Indian Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser., 61: 17-29.