

낙동강 하구역에 출현하는 전어(*Konosirus punctatus*) 자치어의 식성

최희찬 · 한인성 · 서영상 · 허성희^{1*}

국립수산과학원 수산해양종합정보과, ¹부경대학교 해양학과

Feeding Habits of Larval *Konosirus punctatus* from the Nakdong River Estuary, Korea

Hee Chan Choi, In Seong Han, Young Sang Suh and Sung Hoi Huh^{1*}

Fishery and Ocean Information Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 46083, Korea

¹Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

We examined the feeding habits of larval *Konosirus punctatus* using 165 specimens collected from May to August 2011 in the Nakdong River estuary, Korea. We found that larval *K. punctatus* [3.9-8.4 mm notochord length (NL)] are carnivorous, consuming mainly rotifers. Their diet also included small numbers of rhizopods, tintinnids, euglenoids, copepods, larval bivalves, dinoflagellates, diatoms, and unidentified materials. To evaluate ontogenetic changes in dietary composition, we split the larvae into three size groups: < 5 mm, 5-6 mm, and > 6 mm NL. The smallest size group frequently preyed on rhizopods. As NL increased, the number of rotifers increased relative to those of rhizopods. Larvae also showed bimodal feeding for feeding incidence, with peaks in the midafternoon and at midnight, while the mean number of prey per individual peaked at 18:00-19:00 h.

Key words: *Konosirus punctatus*, Feeding habits, Ontogenetic change, Estuary, Diel feeding

서 론

어류는 난과 자어 및 치어 단계를 거쳐 성어로의 가입이 이루어지며, 난황을 흡수하고 난 후기자어기에서 치어기에 이르는 성장초기에 사망률이 매우 높기 때문에 어류의 초기생활사 연구는 어업자원관리 차원에서 매우 중요하다(Hjort, 1926). 생활사 초기에 일어나는 대량 감모의 중요한 요인 중 하나는 적절한 외부섭식이 이루어지지 못하여 발생하는 기아(starvation)로, 이로 인한 직접적인 사망과 낮은 성장률로 인한 부유생활기(pelagic stage)가 길어지게 되어 다른 포식자에 의해 피식될 확률이 증가되고(Shepherd and Cushing, 1980), 결국 이러한 일련의 과정이 어류의 가입량에 영향을 미친다(May, 1974; Lasker, 1975). 따라서 초기 생활사 단계에서 선호하는 먹이생물을 확인하는 것은 섭식조건과 먹이요건을 충족하는 자어의 기회를 평가하는데 중요한 요소이다(Robichaud-LeBlanc et al., 1997).

전어(*Konosirus punctatus*)는 우리나라 전 연안을 비롯해, 일

본 중부 이남, 동중국해, 남중국해에 분포하는 연근해성 어류로 강의 하구에도 출현한다(NFRDI, 2004). 전어는 주로 봄에 산란하는 것으로 알려져 있으며, 본 연구와 동일한 낙동강 하구 인근 해역에서 채집된 전어는 5-6월에 주로 산란하였다(Kim and Lee, 1984).

전어는 주로 회나 구이로 이용되는 중요한 상업성 어종이지만, 전어에 관한 생태적 연구는 난발생 및 부화자어 형태(Kim et al., 2007), 생식생태(Matasauro et al., 1974; Kim and Lee, 1984)에 관한 연구 등이 있고, 후기자어의 식성에 관한 연구로는 Park et al. (1996)에 의해 광양만에서 수행된 연구가 있으나 본 연구 해역과는 서식 환경이 달라 먹이조성에 차이가 있었다.

본 연구는 우리나라 남해안의 대표적인 어류 산란 및 성육장인 낙동강 하구역에 출현하는 어종의 초기생활사에 대한 종합적인 연구의 일환으로 중요한 상업성 어종 중 하나인 전어 자치어의 주먹이생물을 파악하고, 성장에 따른 먹이변화와 일주기 섭식생태(diel feeding pattern)를 파악하고자 한다.

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0752>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 48(5) 752-759, October 2015

Received 17 August 2015; Revised 5 October 2015; Accepted 11 October 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 6570 Fax: +82. 51. 629. 6568

E-mail address: shhuh@pknu.ac.kr

재료 및 방법

식성 연구에 사용된 전어 자치어의 시료는 2011년 5월부터 8월까지 매월 소조기의 낮 동안 채집이 이루어졌다. 또한 수심이 5 m 이내로 얇고, 담수의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 낙동강 하구역 안쪽에 위치한 정점에서 3-4회 반복 채집 하였고, 수심이 5-10 m로 비교적 깊고 해수의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 바깥 정점에서 7회 반복 채집하였다(Fig. 1). 일주기 섭식생태 파악을 위한 시료는 2011년 5월에 동일한 정점에서 09:00부터 익일 06:00까지 3시간 간격으로 총 8회 채집한 시료를 이용하였다. 시료의 채집은 RN80 네트(망구: 80 cm, 망목: 330 μ m)를 이용하여 수심 1-2 m에서 약 2.5 knots로 10분간 수평 채집을 실시하였고, 정량적 분석을 위하여 네트 입구에 유량계(Hydro-Bios Model 438 110, Hydrobios GmbH, Altenholz Germany)를 부착하였다.

채집된 표본은 5% 중성 포르말린으로 고정한 뒤, 실험실에서 70% 에탄올로 치환하였다. 이후 전어 자치어를 분리한 뒤, 척색장(notochord length: NL)을 0.1 mm까지 측정하여 해부현미경(Olympus SZ40, Olympus, Tokyo, Japan) 하에서 위장을 분리하였다. 장내용물은 쌍안실체현미경(Olympus CH2, Olympus, Tokyo Japan)을 이용하여 먹이 종류별로 구분하였고, 출현량이 많은 먹이생물은 가능한 속(genus)수준까지 동정하였으며, 그 외 먹이생물은 그 보다 상위 분류단계까지만 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 가정된 뒤 장축은 높이, 단축은 밑면의 반지름을 구하는데 이용하였고, 원기둥 부피 식인 $v = \pi r^2 * h$ 이용해 먹이생물의 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 전어 자치어의 개체수이고, N 은 위장에 내용물이 있었던 전어 자치어의 개체수이다.

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 청어 자치어의 시료를 1 mm 간격으로 3개의 크기군(<5 mm, 5-6 mm, >6 mm)으로 나누어 먹이조성을 조사하였고, 척색장과 섭식된 먹이생물 크기(단축) 사이의 관계는 선회귀분석을 실시하였다. 그리고 성장에 따른 먹이섭식 특성 파악을 위하여 크기군별 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, 컴퓨터 패키지인 EXCEL을 이용하여 먹이생물을 얼마나 다양하게 먹고 있는가를 파악하기 위한 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 al., 2007; Huh et al., 2008).

그리고 일주기에 따른 전어의 섭식특성 변화를 알아보기 위하여 2011년 5월에 출현한 전어 자치어를 대상으로 시간대별 섭식률과 평균 먹이생물 개체수를 분석하였다.

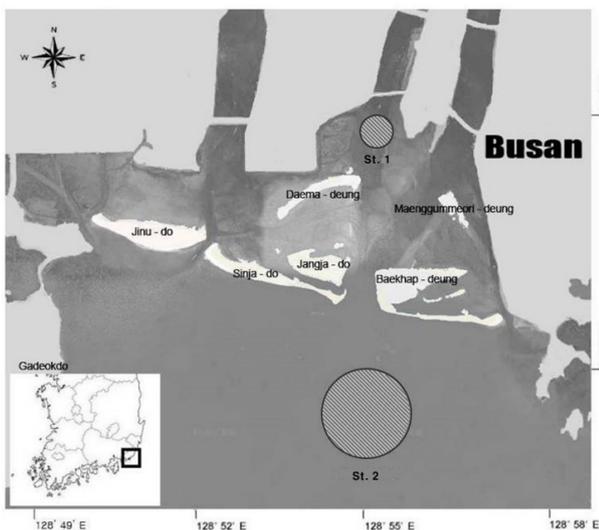


Fig. 1. Location of the sampling area in the Nakdong River estuary, Korea.

결 과

자치어의 체장분포 및 섭식률

본 연구에서 전어 자치어의 먹이생물 분석을 위하여 사용된 시료는 총 165개체였고, 8월에 26개체로 가장 적었으며, 5월에 54개체로 가장 많았다. 전어 자치어의 척색장 분포를 살펴보면(Fig. 2), 5월에는 4.7-7.2 mm [mean NL=5.5±0.47 (S.D.) mm], 6월에 3.9-8.4 mm (mean NL=5.6±0.87 mm), 7월에 3.9-7.1 mm (mean NL=4.9±0.67 mm)의 범위를 보여 평균 척색장이 감소하였으나, 8월에는 4.4-5.7 mm (mean NL=5.0±0.39 mm)의 범위로 다시 증가하였다.

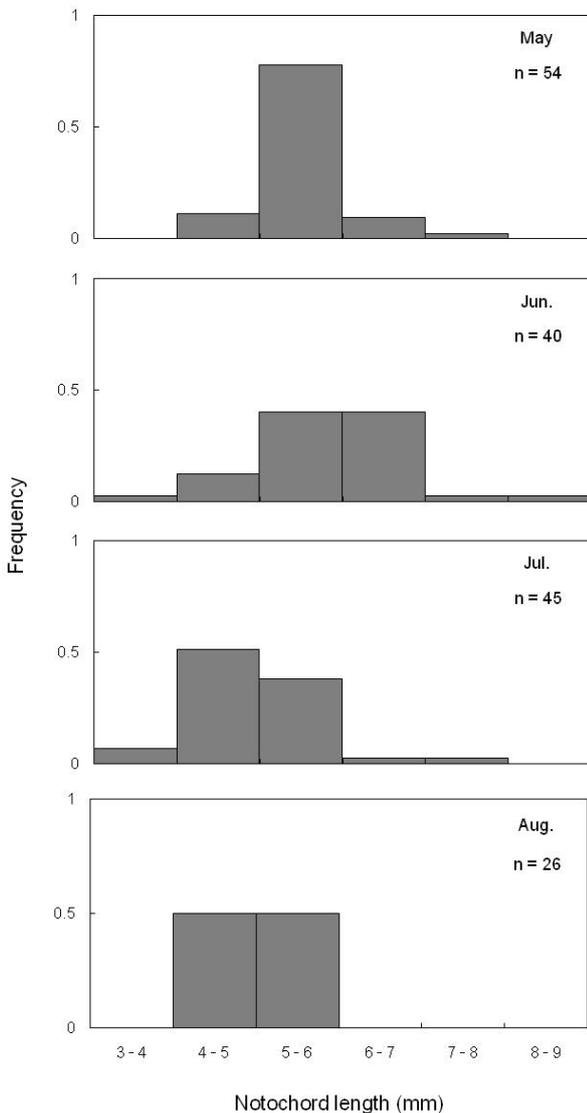


Fig. 2. Monthly size frequency of *Konosirus punctatus* collected in the Nakdong-River estuary.

장내용물을 분석한 165개체 중 먹이를 섭식한 전어 자치어는 82마리로 섭식률은 49.7% 였다(Table 1). 척색장에 따른 섭식률은 섭식 초기인 5 mm 미만에서 35.3%로 가장 낮았으며, 5-6 mm에서 54.6%로 증가하였다. 가장 큰 6 mm 이상 크기군에서 섭식률은 61.5%로 척색장이 증가함에 따라 증가하였다.

장내용물 조성

먹이를 섭식한 82개체의 장내용물 분석 결과(Table 2), 전어 자치어의 가장 중요한 먹이생물은 출현빈도 49.2%, 개체수비 42.6%, 부피비 68.8%를 보여 상대중요성지수비 81.8%를 차지한 윤충류(Rotifera)였다. 윤충류 중에서 출현빈도 22.0%, 개체수비 21.3%, 부피비 33.8%를 차지한 미동정 윤충류가 상대중요성지수 1,214.6으로 가장 중요한 먹이생물이었고, 윤충류 알이 상대중요성지수 309.0으로 그 다음으로 중요한 먹이생물이었다. 이외에도 *Synchaeta* spp.가 출현빈도 8.5%, 개체수비 9.6%, 부피비 16.3%를 보여 상대중요성지수 219.3으로 중요한 먹이생물이었다. 그 외에 *Trichocerca* spp., *Monostylis* spp.와 같은 분류군이 비교적 많이 섭식되었다.

윤충류 다음으로 중요한 먹이생물은 출현빈도 20.3%, 개체수비 19.1%, 부피비 3.3%를 보여 상대중요성지수비 6.8%를 차지한 근족충류(Rhizopoda)였다. 근족충류 중에서 *Diffugia* spp.가 출현빈도 13.6%, 개체수비 10.3%, 부피비 2.1%를 보여 상대중요도지수 167.8로 가장 중요한 먹이생물이었으며, Euglyphidae가 출현빈도 8.5%, 개체수비 8.8%, 부피비 1.2%로 상대중요성지수 85.0을 나타내 두 번째로 중요한 먹이생물이었다.

근족충류 다음으로 많이 섭식된 먹이생물은 출현빈도 10.2%, 개체수비 5.1%, 부피비 8.7%를 차지하여 상대중요성지수비 2.1%를 보인 유중섬모충류(Tintinnida)이었고, 섭식된 유중섬모충류 중 *Tintinnopsis* spp.가 출현빈도 6.8%, 개체수비 2.9%, 부피비 4.0%를 차지하여 상대중요성지수 47.1로 가장 중요한 먹이생물이었다.

유중섬모충류 다음으로 유글레나류(Euglenoida)가 상대중요성지수비 1.5%로 비교적 많이 섭식되었으며, 그 다음으로 요각류가 상대중요성지수비 1.4%로 많이 섭식되었다.

그 외에 식물플랑크톤인 와편모조류(Dinophyceae)와 규조류

Table 1. Feeding incidence of *Konosirus punctatus* collected in the Nakdong-River estuary

Size range NL (mm)	Number of Guts	
	Examined	Filled
< 5 mm	51	18 (35.3%)
5 - 6 mm	88	48 (54.6%)
> 6 mm	26	16 (61.5%)
Total	142	82 (49.7%)

NL, notochord length

(Bacillariophyceae), 이매패류(Bivalvia) 유생이 먹이생물 중 발견되었으나 그 양은 매우 적었다.

성장에 따른 먹이 조성의 변화

채집된 전어 자치어는 <5 mm, 5-6 mm, >6 mm 3개의 크기군으로 나누어 장내용물의 개체수를 기준으로 먹이생물 조성 변화를 조사하였다(Fig. 3).

Table 2. Composition of the gut contents of *Konosirus punctatus* by frequency of occurrence (F%), number (N%), volume (V%) and index of relative importance (IRI)

Prey organisms	F%	N%	V%	IRI	IRI%
Rotifera	49.2	42.6	68.8	5,479.1	81.8
<i>Asplanchna</i> spp.	1.7	0.7	1.3		
<i>Monostylis</i> spp.	3.4	1.5	2.0		
<i>Synchaeta</i> spp.	8.5	9.6	16.3		
<i>Trichocerca</i> spp.	1.7	0.7	6.0		
unidentified rotifers	22.0	21.3	33.8		
rotifer eggss	16.9	8.8	9.4		
Rhizopoda	20.3	19.1	3.3	455.5	6.8
<i>Diffugia</i> spp.	13.6	10.3	2.1		
Euglyphidae	8.5	8.8	1.2		
Tintinnida	10.2	5.1	8.7	141.2	2.1
<i>Parafavella</i> spp.	1.7	0.7	4.3		
<i>Tintinnopsis</i> spp.	6.8	2.9	4.0		
unidentified tintinnids	1.7	1.5	0.4		
Euglenoida	8.5	9.6	1.9	97.5	1.5
<i>Euglena</i> spp.	3.4	4.4	0.7		
<i>Lepocinclis</i> spp.	3.4	2.9	0.1		
<i>Phacus</i> spp.	1.7	1.5	0.7		
Volvocidae	1.7	0.7	0.4		
Copepoda	6.8	3.7	9.9	91.8	1.4
copepods nauplii	5.1	2.9	9.6		
copepods eggs	1.7	0.7	0.3		
Bivalvia	1.7	0.7	0.8	2.5	-
unidentified bivalve larva	1.7	0.7	0.8		
Dinophyceae	8.5	6.6	0.3	59.0	0.9
<i>Gonyaulax</i> spp.	5.1	2.9	0.2		
<i>Peridinium</i> spp.	3.4	3.7	0.2		
Bacillariophyceae	3.4	1.5	0.9	8.1	0.1
<i>Coscinodiscus</i> spp.	3.4	1.5	0.9		
Unidentified materials	22.0	11.0	5.3	360.8	5.4
unidentified materials	22.0	11.0	5.3		
Total		100	100	6,695.5	100

-: less than 0.1

가장 작은 크기군인 <5 mm에서는 근족충류가 전체 먹이생물 개체수의 41.9%를 차지하여 가장 중요한 먹이생물로 나타났다. 그리고 식물플랑크톤과 이매패류 유생 및 미동정 먹이생물이 포함된 기타 먹이생물이 22.6%로 그 뒤를 나타내었고, 유충섬모충류와 유글레나류가 각각 12.9%로 그 다음으로 많이 섭취되었다. 그 밖에 윤충류와 요각류가 각각 3.2%, 6.5%로 소량 섭취되었다.

5-6 mm 크기군에서는 윤충류가 크게 증가하여 전체 먹이생물 개체수의 41.5%를 차지하여 가장 중요한 먹이생물로 나타난 한편, 근족충류는 크게 감소하여 12.3%를 차지하였다. 유글레나류도 약간 증가하여 13.8%의 개체수비를 보였다. 한편, 유충섬모충류는 감소하여 3.1%의 개체수비를 보였고, 요각류도 약간 감소하였다. 그 외 기타 먹이생물이 24.6%를 차지하여 비교적 많이 섭취되었다.

가장 큰 크기군인 >6 mm 크기군에서는 윤충류가 전체 먹이생물 개체수의 75%로 가장 우점하였다. 그 다음으로 근족충류가 12.5%로 이전 크기군과 유사한 개체수비를 보였고 유충섬모충류는 약간 감소하여 2.5%를 차지하였다. 그 외에 기타 먹이생물이 10.0%를 차지하였는데, 와편모조류와 이매패류가 대부분이었다.

섭식된 먹이생물의 크기를 살펴보면(Fig. 4), <5 mm 크기군에서는 평균 먹이생물 크기가 0.05 mm이었으며, 5-6 mm 크기군에서는 0.06 mm, 가장 큰 크기군인 >6 mm에서는 0.07 mm로 크기 차이가 거의 없었고, 자치어가 성장함에 따라 섭식된 먹이생물의 크기는 통계적으로 유의한 차이가 없었다 ($F_{2,79}=2.018, P>0.05$).

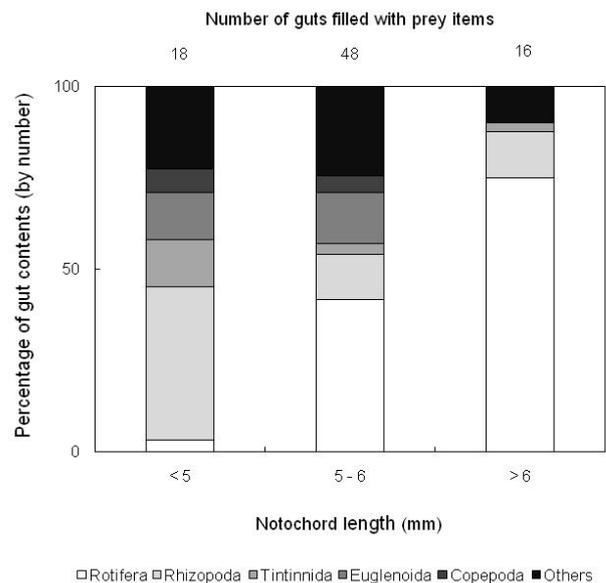


Fig. 3. Ontogenetic changes in composition of gut contents of *Konosirus punctatus* by number.

전어 자치어의 크기군별 개체 당 평균 먹이생물 개체수(mN/GUT)는 5-6 mm 크기군에서 약간 감소하였다가 다시 증가하는 경향을 보였으나(Fig. 5), 통계적으로는 유의한 차이가 없었다(ANOVA, $F_{2,79}=0.516, P>0.05$). 크기군별 개체 당 평균 먹이생물 부피(mV/GUT) 또한 척색장의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의한 증가는 보이지 않았다(ANOVA, $F_{2,79}=1.407, P>0.05$).

전어 자치어에 의해 섭식된 장내용물의 dietary breadth index는 0.38-0.52의 범위를 보였다(Fig. 6). 가장 작은 크기군인 <5 mm 크기군에서는 가장 높은 값인 0.52를 보였으며, 5-6 mm 크기군에서는 0.44, 가장 큰 >6 mm 크기군에서는 0.38로 점차 감소하였다.

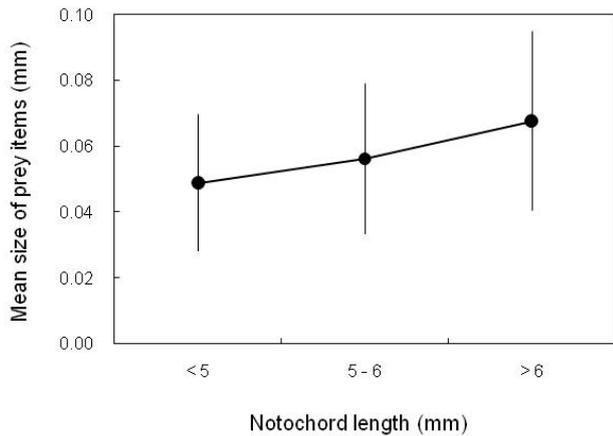


Fig. 4. Ontogenetic changes in the mean size of prey items of with standard deviation (vertical bar) of *Konosirus punctatus* in the Nakdong River estuary.

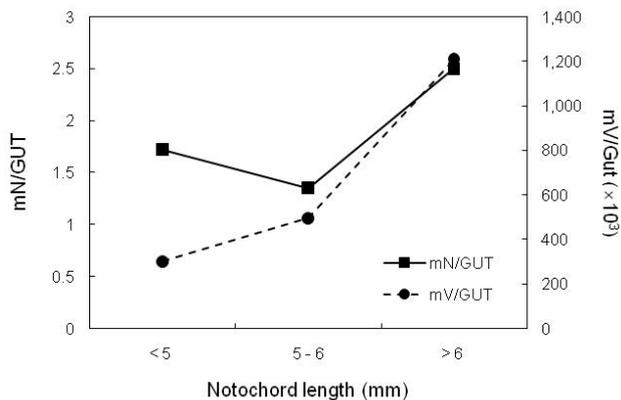


Fig. 5. Variation of mean number of preys per gut (mN/GUT) and mean volume of preys per gut (mV/GUT) of *Konosirus punctatus* among size classes.

일주기 섭식 특성

2011년 5월에 채집된 전어 자치어의 일주기 섭식특성을 살펴 보면(Fig. 7), 섭식률의 경우 09-10 h에 60%였고, 12-13 h에는 약간 감소하여 50%였다. 15-16 h에는 80%로 증가하였으며, 이후 18-19h에 섭식률이 60%로 다시 감소하였다. 21-22 h에는 40%까지 감소하였으나 24-01 h에 100%로 다시 증가하여 증감을 반복하였다. 03-04 h에는 섭식률이 20%로 급격히 낮아졌으며, 06-07 h에는 10%로 가장 낮은 섭식률을 보였다.

한편 개체 당 평균 먹이생물 개수는 09-10 h에 1.8개체를 섭식하였고, 12-13 h에는 2.0개체로 증가하였다. 이후 점차 증가하여 15-16 h에 2.9개체, 18-19 h에 4.0개체로 가장 많은 먹이를 섭식하였다. 한편 21-22 h 이후 평균 먹이생물 개체수는 계속 감소하여, 1.0-1.7개체의 범위를 보였다.

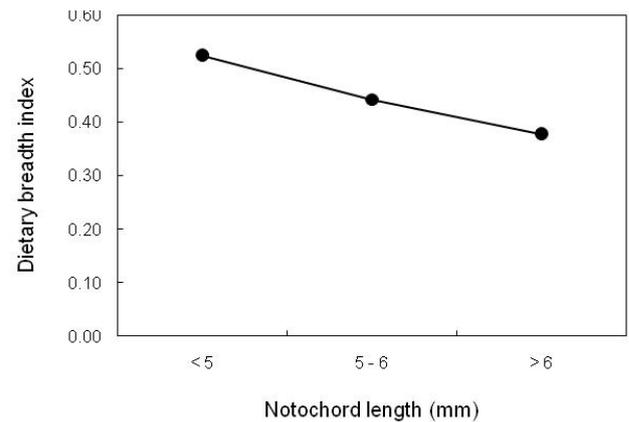


Fig. 6. The size-related variations of dietary breadth index of *Konosirus punctatus*.

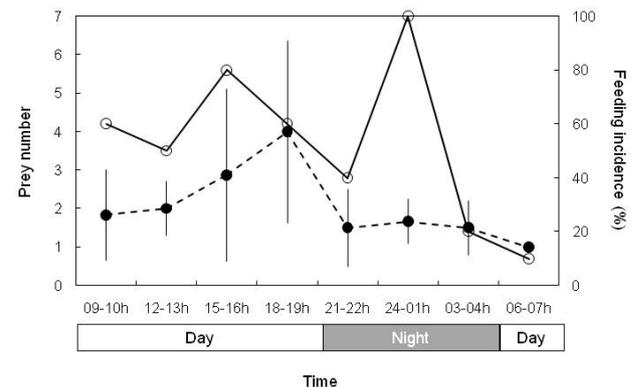


Fig. 7. Diel changes in the number of prey per larva (●) with standard deviation (vertical bar) and feeding incidence (○) of *Konosirus punctatus* in the Nakdong River estuary.

고 찰

본 연구에서 전어 자치어는 섭식률이 49.7%로 낮았고, 섭식 초기인 척색장 5 mm 미만 개체의 섭식률은 35.3%로 섭식률이 매우 낮았다. 광양만에서 채집된 전어 후기자어는 섭식 초기에 38.7%의 낮은 섭식률을 보였으며, 연구기간 동안 62.2%의 비교적 낮은 섭식률을 보였다(Park et al., 1996). 같은 청어목에 속하는 멸치 후기자어는 섭식 초기에 48.6%의 낮은 섭식률을 보였으며, 전체 섭식률은 61.9%의 비교적 낮은 섭식률을 보였다(Park and Cha, 1995). 또한 본 연구와 동일한 해역에서 수행된 청어 자치어 연구에서 섭식 초기에 29.2%의 매우 낮은 섭식률을 보였고, 멸치와 웅어의 자치어 역시 각각 43.9%와 21.8%로 초기 섭식률이 낮았다(Choi, 2014). 이와 같이 전어를 비롯한 청어목 자치어들이 낮은 섭식률을 보이는 것은 섭식을 하지 않아서 이기 보다는 소화가 이루어졌거나(Ellertsen et al., 1981; Jenkins, 1987), 채집과 고정 과정 중에 직선형의 장을 가진 이종들이 먹이생물을 배설하였거나 토하였기 때문으로 판단된다(Hay, 1981; Yamashita, 1990).

반면 광양만에서 채집된 보구치(Cha and Park, 2001a)와 주동치(Cha and Park, 2001b) 자치어는 각각 88.8%와 100%의 섭식률을 보였으며, 망둑어과(Park, 1999)의 자치어 역시 91.0%의 높은 섭식률을 보였다. 이들 농어목 어류의 자치어들은 곡선형으로 꼬인 장의 형태를 가지고 있어 외력에 의한 배설이나 구토 때문에 발생하는 먹이생물 탈출 빈도가 적어 비교적 높은 섭식률을 보이는 것으로 생각된다.

먹이생물 중에서 윤충류가 상대중요성지수비 81.8%로 가장 중요한 먹이생물로 나타났다. 국내 어류의 초기섭식 연구에서 윤충류를 주로 섭식하였다는 연구보고는 거의 없다. 그러나 청어와 여름철에 출현하는 망둑어과 자치어의 최초 섭식 체장에서 윤충류가 가장 중요한 먹이생물이었다(Choi, 2014). 또한 낙동강 하류에 서식하는 학공치(*Hemiramphus sajori*), 밀어(*Acanthorodeus macropterus*), 큰납지리(*Opsariichthys bidens*)가 치어시기에 윤충류를 많이 섭식했다는 보고가 있다(Chang et al., 2001).

본 연구의 전어 자치어는 담수 영향을 많이 받을 것으로 생각되는 낙동강 하구역의 안쪽 정점에서 주로 채집되었으며, 섭식 초기 단계에 윤충류를 주로 섭식한 청어와 여름 출현 망둑어과 자치어도 하구역의 안쪽에서 주로 채집되었다(Choi, 2014). 이로 인해 담수산 플랑크톤인 윤충류를 섭식할 기회가 많았던 것으로 생각된다. 다만 이들 종과 달리 지속적으로 윤충류를 섭식한 것은 출현한 자치어의 척색장의 범위가 3.9-8.4 mm로 두 종에 비해 좁았으며, 입크기 역시 작았기 때문으로 생각된다.

대부분의 자치어 섭식에 있어서 먹이선택의 중요한 결정 요인 중 하나는 먹이생물의 크기이다(Schmitt, 1986; Theilacker, 1987). 섭식되는 먹이생물의 크기는 자치어의 입크기에 의해 결정되는 경향이 있기 때문이다(Last, 1980). 이와 같이 자치

어가 성장하면서 더 큰 먹이생물을 섭식하거나 먹이의 조성 및 개수가 변하는 것은 일반적인 현상으로 자치어가 성장함에 따라 필요한 에너지를 충족하기 위한 기작으로 생각되며(Hunter, 1981), 다양한 자치어 종에서 나타났다(Lee and Huh, 1989; Young and Davis, 1990; Park et al., 1996; Park, 1999; Cha and Park, 2001a, b; Fernández and González-Quirós, 2006; Gning et al., 2008). 본 연구에서도 전어 자치어는 섭식 초기에 소형 담수산 원생동물인 근족충류와 유글레나류를 주로 섭식하다가 성장함에 따라 윤충류로 먹이전환을 하였고, 먹이생물의 크기는 통계적으로 유의하지는 않았으나 점차 증가하여 먹이전환이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

한편 광양만에 출현한 전어 후기자어의 주먹이생물은 요각류 노플리우스 유생과 유충섬모충류였으며, 본 연구에서 주요 먹이생물이었던 윤충류는 전혀 섭식하지 않았다(Park et al., 1996). 이는 대형 하천을 끼고 있는 본 연구 해역과의 환경차이에 따른 환경생물 종류의 차이에 의한 것으로 생각된다. 또한 성장에 따라 섭식되는 먹이의 종류가 달라지는 결과를 보였는데, 섭식 초기에는 요각류 노플리우스 유생과 유영능력이 없는 요각류 난을 주로 섭식하다가 척색장이 증가함에 따라 노플리우스 유생과 유충섬모충류를 많이 섭식하였다. Park et al. (1996)에 의하면, 유충섬모충류의 유영속도가 요각류 노플리우스 유생보다 더 빠르기 때문에(Buskey et al., 1993), 먹이생물을 포획 할 수 있는 능력이 발달한 더 큰 개체에서 주로 섭식된 것으로 보인다.

일주기(diel cycle) 변동을 포함한 시간에 따른 어류 식성의 변화는 흔히 관찰된다(Huusko and Sutela, 1998; Amundsen et al., 1999). 본 연구에서 전어 자치어는 24-01 h에 최고 섭식률을 보였으나, 3개체만 채집되어 가장 활발히 섭식한다고 말하기 어려웠다. 대신 15-16 h에 80%의 섭식률을 보여 활발히 섭식하였고, 18-19 h에 가장 많은 평균 먹이생물 개체수를 보여 오전과 밤 보다는 오후에 가장 활발한 섭식활동을 하였다.

한편 많은 어종이 자치어 시기에 시각에 의존하여 먹이를 섭식하는 것을 고려하여 볼 때, 일몰 이후 이루어진 자치어의 섭식은 흔하지 않은 현상이다(Hunter, 1981; Blaxter, 1986). 본 연구와 동일한 해역에서 채집된 멸치와 웅어 자치어도 야간에 전혀 섭식하지 않아 시각에 의존하여 먹이활동을 하는 것으로 생각된다(Choi, 2014). 그러나 빛이 전혀 없는 환경에서도 먹이를 섭식한다는 결과 보고가 다수 존재하며(Amundsen et al., 1999; Rao, 2003; Reiss et al., 2005), 낙동강에 출현하는 많은 자치어가 야간에도 먹이생물을 섭식하였다(Choi, 2014).

Striped bass 자어의 일주기 섭식생태에 관한 연구는 비교적 많이 수행되었으며, 극히 미량의 빛 내지는 완전한 어둠에서도 먹이를 섭식한다고 보고되었다(McHugh and Heidinger, 1977; Eldridge et al., 1981; Chesney, 1989). 그러나 야간에 채집된 개체의 장내용물은 일몰 이전에 섭식된 먹이가 완전히 소화되지 못한 결과일수도 있다(Watson and Davis, 1989). 이런 효과는

Vendace 자어를 이용한 실험 결과에서 잘 나타나 있다(Huusko and Sutela, 1998). 따라서 야간 섭식은 먹이생물의 소화정도 및 자어의 장배출율(gut evacuation rate)를 고려하여 종합적으로 판단할 필요가 있다고 생각된다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2015053)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 논문이 나오기까지 여러 제언을 해주신 맥쿼리대학교 박주면 박사님, 부경대학교 김하원 박사님과 여러 심사위원님께도 감사의 말씀을 전합니다.

References

- Amundsen PA, Bergersen R, Huru H and Heggberget TG. 1999. Diel feeding rhythms and daily food consumption of juvenile Atlantic salmon in the river Alta, northern Norway. *J Fish Biol* 54, 58-71. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb00612.x>
- Blaxter JHS. 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 EJ, Coulter C and Strom S. 1993. Locomotory patterns of microzooplankton: potential effects on food selectivity of larval fish. *Bull Mar Sci* 53, 29-43.
- Cha SS and Park KJ. 2001a. Feeding selectivity of postlarvae of white croaker *Argyrosomus argentatus* in Kwangyang Bay, Korea. *J Kor Fish Soc* 34, 27-31.
- Cha SS and Park KJ. 2001b. Food organisms and feeding selectivity of postlarvae of slimy *Leiognathus nuchalis* in Kwangyang Bay, Korea. *J Kor Fish Soc* 34, 666-671.
- Chang KH, Hwang SJ, Jang MH, Kim HW, Jeong KS and Joo GJ. 2001. Effect of juvenile fish predation on the zooplankton community in the large regulated Nakdong River, South Korea. *Kor J Limnol* 34, 310-318.
- Chesney Jr EJ. 1989. Estimating the food requirements of striped bass larvae *Morone saxatilis*: effects of light, turbidity and turbulence. *Mar Ecol Prog Ser* 53, 191-200.
- Cho KS. 1993. Illustration of the freshwater zooplankton Korea. Academy Publish Company, Seoul, Korea, 387.
- Choi HC. 2014. Species composition of the ichthyoplankton and feeding ecology of early stage in the Nakdong River estuary, Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Eldridge MB, Whipple JA, Eng D, Bowers MJ and Jarvis BM. 1981. Effects of food and feeding factors on laboratory-reared striped bass larvae. *Trans Am Fish Soc* 110, 111-120. [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659\(1981\)110<111:EOFAFF>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659(1981)110<111:EOFAFF>2.0.CO;2)
- Fernandez IM and Gonzalez-Quiros R. 2006. Analysis of feeding of *Sardina pichardus* (Walbaum, 1972) larval stages in the central Cantabrian Sea. *Sci Mar* 70, 131-139. <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.2006.70s1131>
- Gibson RN and Ezzi IA. 1987. Feeding relationships of a demersal fish assemblage on the west coast of Scotland. *J Fish Biol* 31, 55-69. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1987.tb05214.x>
- Gning N, Vidy G and Thiaw OT. 2008. Feeding ecology and ontogenetic diet shifts of juvenile fish species in an invasive estuary: The Sine-Saloum, Senegal. *Estuar Coast Shelf Sci* 76, 395-403. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2007.07.018>
- Hay DE. 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 SH, Kwak SN and Kim HW. 2008. Feeding habits of *Pseudoblennius percooides* (Pisces; Cottidae) in an eelgrass (*Zostera marina*) bed of Dongdae bay. *Korean J Ichthyol* 20, 45-53.
- Hunter JR. 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: *Marine Fish Larvae: morphology, ecology, and relation to fisheries*. Lasker R, ed. Washington University Press, Seattle, U.S.A., 34-77
- Huusko A and Sutela T. 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0633.1998.tb00173.x>
- Jenkins GP. 1987. Comparative diets, prey selection, and predatory impact of co-occurring larvae of two flounder species. *J Exp Mar Biol Ecol* 110, 147-170. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90025-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(87)90025-6)
- Kim HB and Lee TY. 1984. Reproductive biology of a shad, *Konosirus punctatus*. *Bull Korean Fish Soc* 17, 206-218.
- Kim KS, Han KH, Lee JH, Lee SH, Kim CC, Ko HJ and Jeong KS. 2007. Egg development and morphology of larva and juvenile of the konoshiro gizzard shad, *Konosirus punctatus*. *Dev Reprod* 11, 127-135.
- Lasker R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish Bull US* 73, 453-462.
- Last JM. 1980. The food of twenty species of fish larvae in the west-central North Sea. *Fish Res Tech Rep Minist Agric Fish. Fd, Directorate Fish Res, Lowestoft, Suffolk* 60, 1-44.
- Lee TW and Huh SH. 1989. Early life history of the marine animals. 2. Age, growth and food of *Chaenogobius laevis* (Steindachner) larvae and juveniles. *J Kor Fish Soc* 22, 332-341.
- Matsuura Y. 1974. Morphological studies of two pristigasteriae larvae from southern Braxil, in the early life history. Blaxter JHS, ed. Springer-Variag, Ber-Lin, Germany, 685-701.
- May RC. 1974. Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In: *The Early Life History of Fish*. Blaxter

- JHS, ed. Springer Berlin Heidelberg, New York, U.S., 3-20
- McHugh JJ and Heidinger RC. 1977. Effects of light on feeding and egestion time of striped bass fry. *Prog Fish Culturist* 39, 33-34. [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)39\[33:EOLOFA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659(1977)39[33:EOLOFA]2.0.CO;2).
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2004. Commercial Fishes of the Coastal & Offshore Waters in Korea. Hangul Graphics Busan, Korea, 333.
- Park KD, Kang YJ, Huh SH, Kwak SN, Kim HW and Lee HW. 2007. Feeding ecology of *Sebastes schlegeli* in the Tongyeong marine ranching area. *J Kor Fish Soc* 40, 308-314.
- Park KJ. 1999. Species composition of the ichthyoplankton and feeding ecology of early stage in Kwangyang Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Chonnam National University, Kwangju, Korea.
- Park KJ and Cha SS. 1995. Food organisms of postlarvae of Japanese anchovy *Engraulis japonica* in Kwangyang Bay. *J Kor Fish Soc* 28, 247-252.
- Park KJ, Cha SS and Huh SH. 1996. Food organisms of post-larval shad *Konosirus punctatus* in Kwangyang Bay. *J Kor Fish Soc* 29, 450-455.
- Pinkas L, Loiphant MS and Iverson ILK. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Calif Dep Fish Game Fish Bull* 152, 1-105.
- Rao TR. 2003. Ecological and ethological perspectives in larval fish feeding. *J Appl Aquacult* 13, 145-178. http://dx.doi.org/10.1300/J028v13n01_06.
- Reiss C, McLaren I, Avendaño P and Taggart C. 2005. Feeding ecology of silver hake larvae on the Western Bank, Scotian Shelf, and comparison with Atlantic Cod. *J Fish Biol* 66, 703-720. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00631.x>.
- Schmitt PD. 1986. Feeding by larvae of *Hypoatherina tropicalis* (Pisces: Atherinidae) and its relation to prey availability in One Three lagoon, Great Barrier Reef, Australia. *Envir Biol Fish* 16, 79-94.
- Shepherd JG and Cushing DH. 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. <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/39.2.160>.
- Theilacker GH. 1987. Feeding ecology and growth energetics of larval northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish Bull US* 85, 213-228.
- Watson W and Davis RL. 1989. Larval fish diets in shallow waters off San Onofre, California. *Fish Bull US* 87, 569-591.
- Yamaji I. 1984. Illustrations of the Marine Plankton of Japan. Hoikusha Publication, Tokyo, Japan, 538.
- Yamashita Y. 1990. Defecation of larval Japanese anchovy *Engraulis japonica* during net sampling. *Bull Tohoku Nat'l Fish Res Inst* 52, 29-32.
- Yoo KI. 1995. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 35 Marine Zooplankton. Ministry of Education, Korea, 415.
- Young JW and Davis TLO. 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. <http://dx.doi.org/10.3354/meps061017>.