

제주도 남동부해역에서 채집된 은붕장어, *Gnathophis nystromi* (뱀장어목: 붕장어과) 엽상자어의 분포특성 및 형태발달

지환성 · 최정화^{1*} · 윤상철² · 주형운

국립수산물과학원 자원관리과, ¹국립수산물과학원 남동해수산연구소, ²국립수산물과학원 독도수산연구센터

Distribution and morphological development of a *Gnathophis nystromi* (Congridae: Anguilliformes) leptocephalus collected from southeastern waters of Jeju Island

Hwan-Sung Ji, Jung Hwa CHOI^{1*}, Sang Chul YOON², Hyeong Woon JOO

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Southeast Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Tongyeong 650-943, Korea

²Dokdo Fisheries Research Center, East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Pohang 790-110, Korea

The twenty six specimens of leptocephali (15.8–32.6 mm TL) of the family Congridae, collected from southeastern waters offshore of Jeju Island during August 2014, and were identified by means of morphology and genetics. Those specimens were identified as belonging to the family Congridae based on various combinations of morphological characters. An analysis of the partial 12S rRNA sequences (886 base pairs) of mitochondrial DNA showed that our specimens must be *Gnathophis nystromi*, because their sequences were concordant with those of *G. nystromi* adult (genetic distance= 0.001), furthermore their total myomeres being consistent with those of *G. nystromi* adult. Catch rates of *G. nystromi* leptocephali were higher in the offshore regions than coastal regions of Jeju Island. The smallest leptocephali (< 20 mm TL) were collected offshore from Jeju Island. We hypothesize that one of the spawning grounds of *G. nystromi* is located offshore in the Jeju Island. In conclusion, the hatched preleptocephali of *G. nystromi* might have been transported from offshore near Jeju Island to the Korea Strait by the Kuroshio Current and Tsushima Warm Current.

Keywords: *Gnathophis nystromi*, Leptocephalus, Catch rate, morphology, Spawning ground.

서론

뱀장어목 (Anguilliformes) 붕장어과 (Congridae) 어

류에 속하는 은붕장어속 (*Gnathophis*) 어류는 전세계적으로 28종 (Eschmeyer, 2015), 우리나라에 1종 (은붕장

*Corresponding author: choi2291@korea.kr, Tel: +82-55-640-4720, Fax: +82-55-641-2036

어 *Gnathophis nystromi*)이 보고되어 있다 (Kim et al., 2005). 이들은 서태평양, 한국, 일본, 중국 등지의 열대 또는 아열대 해역의 수심 250–355 m의 깊은 곳에서 서식하며, 최대체장은 45 cm로 알려져 있다 (Mundy, 2005; Hatooka, 2002; Kim et al., 2005). 은붕장어는 측선공에 흰 반점이 없고, 척추골수는 117–124개, 입을 닫았을 때 아래턱이 전방으로 노출되는 것이 특징적이다 (Hatooka, 2002; Kim et al., 2005). 은붕장어 성어는 우리나라 서해와 남해에 분포한다고 알려져 있으나 출현량이 낮으며 (Kim et al., 2005), 은붕장어 엽상자어는 독도에서 출현 기록이 있다 (Kim et al., 2012).

자치어기 생태정보는 성어의 산란패턴과 해류에 따른 분포, 가입 등을 이해하는데 매우 중요한 정보로 이용된다 (Miller, 2009). 특히, 엽상자어의 가입은 저서성 어류인 뱀장어목 어류의 분포패턴에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 이들 엽상자어 분포 조사는 광범위한 지역에서 지속적으로 수행되고 있다 (Castonguay and McCleave, 1987; McCleave and Miller, 1994; Miller et al., 2002; Miller, 2009). 선행된 연구 중 은붕장어 엽상자어는 일본 동부 (Uematsu et al., 1992; Kimura et al., 2006), 동중국해 (Minagawa et al., 2007), 서태평양 (Takahashi et al., 2008)에서 계절별 분포가 보고되었으며, 부화직후 엽상자어 채집에 근거하여 산란장이 동중국해와 일본 동부에 형성된다고 보고된 바 있다 (Miller, 2002; Kimura et al., 2006). 현재 은붕장어 엽상자어의 분포 연구는 동중국해와 일본에 국한되어 보고되어 있으며, 우리나라로 가입하는 은붕장어 엽상자어의 분포특성에 대해서는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 여름철 우리나라 제주도 남동부해역에서 은붕장어 엽상자어 26개체가 출현하여 해류에 따른 분포특성과 산란장에 대해 고찰하고, 발생단계별 형태특징을 상세히 보고하고자 한다.

재료 및 방법

채집

2014년 8월 24일부터 8월 29일간 국립수산물과학원 시험조사선 탐구20호 (885G/T)로 제주도 남동 해역의 33개 정점에서 ORI (Ocean Research Institute) net (망구 직경 2 m, 망길이 9 m, 망목크기 500 μ m)로 수심 10 m와 30 m를 선속 약 2k't로 각각 5분씩 수평인망하여

붕장어과 엽상자어 26개체 (전장 15.8–32.6 mm)를 채집하였다 (Fig. 1). 붕장어과 엽상자어는 네트 입구에 부착한 유량계로 산출된 여과 해수량 값을 이용하여 단위부피당 개체수 (1000 m³)로 환산하였다. 채집 후 표본은 99% 에탄올에 고정하였으며, 이후 국립수산물과학원 (National Fisheries Research and Development Institute) 난자치어 분석실 (Ichthyoplankton Laboratory)에 보관하였다.

형태분석

몸의 각 부위의 계수 및 계측은 Castle (1984) 및 Tabeta and Mochioka (1988)의 방법을 따라 입체현미경 (Olympus SZX-16) 하에서 관찰하였고, vernier calipers로 0.1 mm 단위까지 측정하였다. 이빨의 배열식은 Castle (1984)를 따랐다.

DNA 추출, PCR 및 Sequencing

Genomic DNA는 Chelex resion 100 용액 (Bio-rad)을 이용하여 엽상자어의 우측 눈알을 떼어내 추출하였다. 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 영역을 12S-R (5'-TTTCATGTTTCCTTGCGGTAC-3')와 12S-L (5'-AAAGCACGGCACTGAAGATGC-3') Primer로 증폭시켰다 (Wang et al., 2003).

10X PCR buffer 5 μ l, 2.5 mM dNTP 4 μ l, 12SR primer 5 μ l, 12SL primer 5 μ l, FX Taq DNA polymerase (GnP, Korea) 0.5 μ l를 섞은 혼합물에 genomic DNA 5 μ l (100ng)를 첨가한 후, 총 50 μ l가 될 때까지 3차 증류수를 넣고 Thermal cycler (Bio-rad MJ mini PTC-1148, USA)를 이용하여 다음과 같은 조건으로 PCR을 수행하였다. Initial denaturation 94 $^{\circ}$ C에서 5분; PCR reaction 35 cycles (denaturation 94 $^{\circ}$ C에서 30초, annealing 56.5 $^{\circ}$ C에서 30초, extension 72 $^{\circ}$ C에서 1분); final extension 72 $^{\circ}$ C에서 7분. 정제는 ExoSAP-IT (United States Biochemical Corporation, USA)을 이용하였다. PCR product는 자동염기서열분석장치 (Automated DNA Sequencer; ABI 3130)에 의해 염기서열을 결정하였다.

분자변이 분석

미토콘드리아 DNA 12S rRNA 염기서열은 BioEdit version 7의 ClustalW (Thompson et al., 1994)를 이용하여

여 정렬하였다. 비교 그룹으로 NCBI (National Center for Biotechnology, Information)에 등록된 뱀장어목 어류 8종 (은붕장어 *Gnathophis nystromi*, *Gnathophis bathytopos*, 붕장어 *Conger myriaster*, 검붕장어 *Conger japonicus*, 뱀장어 *Anguilla japonica*, 바다뱀 *Ophisurus macrorhynchus*, 갯장어 *Muraenesox cinereus*, 긴꼬리장어 *Dysomma anguillare*)의 염기서열을 이용하였다. 추가적으로 당멸치목 당멸치과 (Elopidae)의 당멸치 (*Elops saurus*)를 외집단으로 설정하였다. 유전거리는 MEGA6 (Tamura et al., 2011)에서 Kimura-2-parameter 모델 (Kimura, 1980)로 계산하였으며, 계통수는 MEGA6의 근린결합법 (Neighbor joining method)을 이용하여 작성하였고, bootstrap은 10,000번 수행하였다.

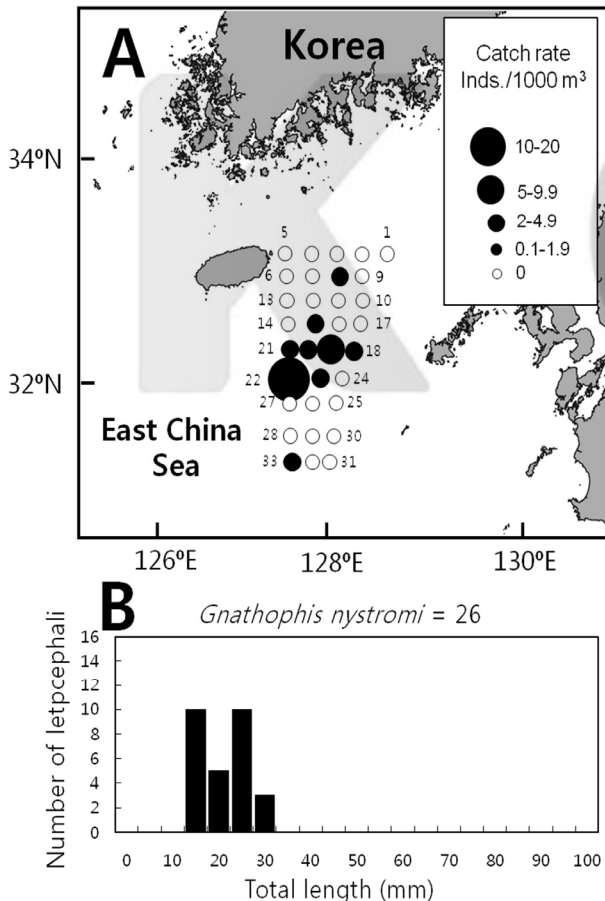


Fig. 1. Catch rates of *Gnathophis nystromi* leptocephali at each station in the around Jeju Island of Korea, August 2014. Circles represent the abundance of leptocephali expressed as catch rate value of the number of individuals per 1000 m³ of water filtered (A). Length-frequency distributions of *G. nystromi* leptocephali collected during the survey.

결 과

분포특성

2014년 8월말 제주도 남동부해역에서 ORI net로 채집된 은붕장어 엽상자어는 총 13.8개체/1000 m³이었다. 총 33개의 정점 중 9개 정점에서 채집되었으며, 제주도 남동부 최남단 근해에서부터 제주도 동부까지 분포하였다 (Fig. 1A). 정점별 출현량을 살펴보면 St. 22에서 5.6개체/1000 m³로 출현량이 가장 높았으며, 다음으로 St. 19에서 2.9개체/1000 m³, St. 33과 St. 20에서 각각 1.3개체/1000 m³가 출현하였다 (Fig. 1A). 나머지 출현량이 1.0개체/1000 m³이하 정점은 St. 8 (0.3개체/1000 m³), St. 15 (0.4개체/1000 m³), St. 18 (0.5개체/1000 m³), St. 21 (0.6개체/1000 m³)으로 나타났다.

국내 출현한 은붕장어 엽상자어의 체장 조성은 15.8-32.6 mm로 부화직후 추정 엽상자어 (전장 15.8-18.8 mm) 및 꼬리지느러미 형성기 엽상자어 (전장 20.7-32.6 mm)가 채집되었다 (Fig. 1B). 전장 20.0 mm 이하의 꼬리지느러미 형성전 엽상자어는 제주도 연안 (St. 8), 제주도 근해 (St. 19, 20, 22, 23), 제주도 최남단 (St. 33)에 분포하였다 (Fig. 1A).

형태발달

부화직후 추정 엽상자어 (전장 15.8-18.8 mm): 전체 근절수는 130개 이상, 항문앞 근절수는 86-102개 이다 (Table 1). 몸은 투명하고 측편되어 있으며, 꼬리까지 완만하다가 꼬리 끝에서 낮아진다. 양턱에는 날카로운 이빨이 나 있고, 배열식은 $\frac{1+III+5}{1+III+2-4}$ 이다. 눈은 다소 크고, 타원형으로 앞쪽에 2개의 비공이 나 있다. 양턱의 길이는 같으며, 주둥이 선단부는 매우 뾰족하다 (Fig. 2A). 항문전장은 전장의 89.3-95.0%로 몸의 말단에 위치하며, 체고는 전장의 9.4-13.6% 이다 (Table 1). 각 지느러미는 막지느러미 형태이다. 흑색소포는 나뭇가지모양으로 목덜미에 질게 분포하고, 소화관 측면을 따라 항문앞까지 1열, 꼬리말단의 등쪽과 배쪽에 질게 분포한다 (Fig. 2A).

꼬리지느러미 형성기 엽상자어 (전장 20.7-32.6 mm): 전장 25 mm 이후 엽상자어부터 전체 근절수는 125-130개로 성어와 같아지며, 항문앞 근절수는 93-102개 이다. 주둥이 선단부의 이빨은 이전보다 다소 짧아진다.

Table 1. Comparisons of measurements and counts for *Gnathophis nystromi leptocephali*

Species	<i>Gnathophis nystromi</i> (present study)	<i>Gnathophis nystromi</i> (present study)	<i>Gnathophis nystromi</i> (Kim et al., 2012)	<i>Gnathophis nystromi nystromi</i> (Tabeta and Mochioka, 1988)
Development	Caudal fin absent	Caudal fin present	Caudal fin development	
The number of specimens	8	18	2	412
Total length (mm, TL)	15.8–18.8	20.7–32.6	39.9–65.0	15.0–88.0
In % of total length				
Head length	10.6–18.8 (11.9±0.9)	8.6–12.0 (10.1±1.1)	8.4–9.0 (8.7±0.3)	
Predorsal length	–	–	74.4–76.9 (75.7±1.3)	
Preanal length	89.3–95.0 (92.0±2.3)	82.5–97.1 (91.7±3.5)	88.5–89.3 (88.9±0.4)	
Body depth	9.4–13.6 (11.6±1.6)	8.3–12.2 (10.2±1.2)	11.3–12.4 (11.9±0.6)	
In % of Head length				
Eye diameters	19.8–26.3 (21.3±2.1)	15.8–24.2 (19.9±2.1)	18.5–20.6 (20.0±1.1)	
Snout length	34.7–43.3 (40.1±3.3)	34.1–44.2 (41.5±3.1)	35.3–37.6 (36.5±1.2)	
Upper jaw length	55.3–60.7 (58.4±2.0)	52.6–62.3 (59.0±2.8)	50.0–52.4 (51.2±1.2)	
Counts				
Total myomeres	>130	125–130	121–124	118–128
Predorsal myomeres	–	–	75–82	68–80
Preanal myomeres	86–102	93–102	95–100	95–107
1st vertical blood vessel	12	12	–	–
Last vertical blood vessel	40	44–45	42–45	38–45
Number of nostrill	2	2	2	2
Dentition formular	$\frac{1+III+5}{1+III+2-4}$	$\frac{1+II-V+5-7}{1+II-IV+3-7}$	$\frac{1+IV+5-6}{1+IV+3-4}$	–

양턱의 이빨 배열식은 $\frac{1+II-V+5-7}{1+II-IV+3-7}$ 으로 이전보다 약간 증가하였다. 항문전장은 전장의 82.5–97.1%, 체고는 전장의 8.3–12.2%로 이전과 유사하였다 (Table 1). 등지느러미와 뒷지느러미는 막지느러미 형태이며, 꼬리지느러미는 작게 발달하였다. 흑색소포는 이전과 유사하였다 (Fig. 2B).

꼬리지느러미 발달기 엽상자어 (전장 39.9–65.0 mm; Kim et al., 2012): 전체 근절수는 121–124개, 등지느러미 앞 근절수는 75–82개, 항문 앞 근절수는 95–100개이다. 양턱의 이빨 배열식은 $\frac{1+IV+5-6}{1+IV+3-4}$ 으로 이전보다 증가하였다. 두장은 전장의 8.4–9.0%로 이전보다 줄어들었으며, 항문전장과 체고는 이전과 유사하였다 (Table 1). 등지느러미 앞 길이는 전장의 74.4–76.9%로 몸의 중앙보다 후방에 위치하였다. 이 시기에는 이전과 달리 모든 지느러미가 분화 중인데, 등지느러미는 95–100번째 근절 아래에서 시작하여 꼬리 끝까지 이어진

다. 가슴지느러미, 뒷지느러미와 꼬리지느러미는 잘 발달하였으며, 꼬리말단에 하미축골이 관찰된다. 흑색소포는 점모양으로 등지느러미 및 꼬리지느러미 기저에 나 있다 (Fig. 2C).

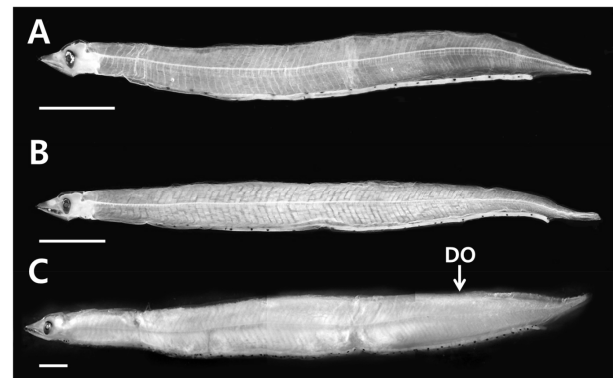


Fig. 2. Leptocephalus of *Gnathophis nystromi*, Jeju Island of Korea. Caudal fin absent leptocephalus, TL= 17.7 mm TL (A), Caudal fin present leptocephalus, TL= 26.8 mm (B). Caudal fin development leptocephalus, TL= 65.8 mm TL; Kim et al. (2012) (C). Scale bars= 3.0 mm.

분자동정

제주도산 은붕장어 엽상자어를 대상으로 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 886 base pair 염기서열을 분석한 결과, 우리나라 남해에서 채집된 은붕장어 (*G. nystromi*) 성어와 99.9% 일치하여 은붕장어 엽상자어인 것으로 확인되었으며, 동일속의 *Gnathophis bathytopos*

와는 98.9%로 가깝게 나타났다 (Table 2). 근린결합수 (Neighbor joining tree)를 통해 제주도산 은붕장어 엽상자어는 은붕장어 성어와 일직선상에 유집되었으며, 붕장어속 (*Conger*) 2종 (붕장어 *C. myriaster*, 검붕장어 *C. japonicus*)과는 멀리 유집되었다 (Fig. 3).

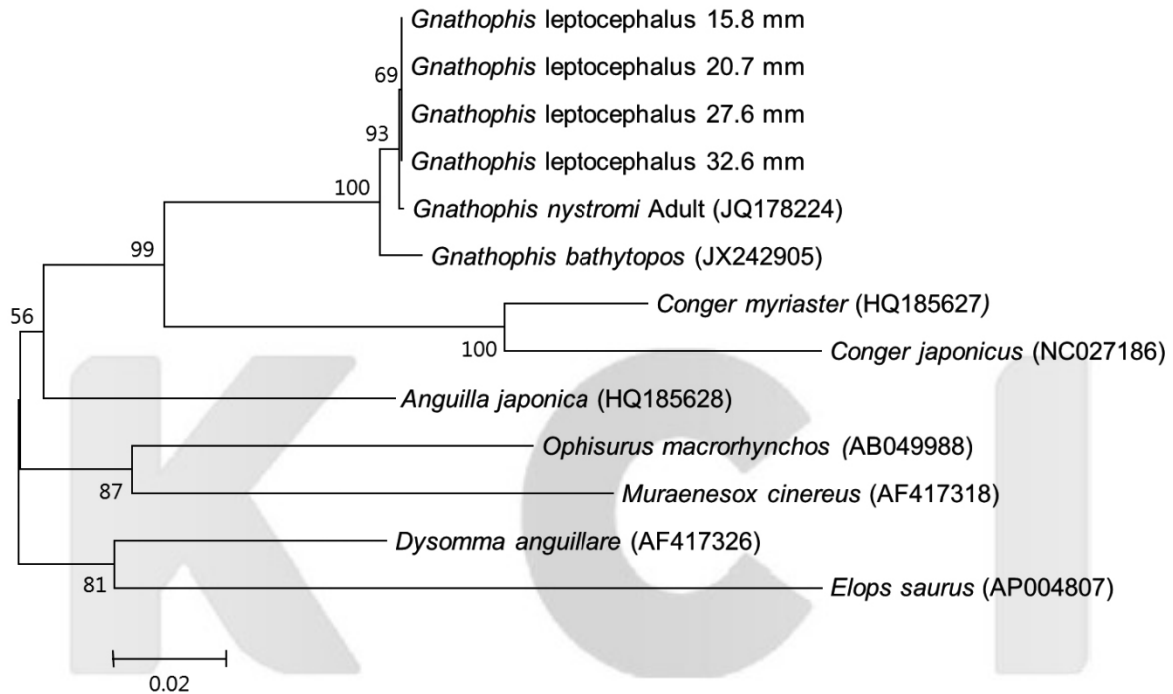


Fig. 3. Neighbor-Joining tree based on partial mt 12S rRNA nucleotide sequences showing the relationships among our *Gnathophis leptocephali* and 8 Anguilliformes species with one outgroup (*Elops saurus*). The Neighbor-Joining tree using the Kimura-2-parameter distance model. 10,000 replications of bootstrap. Bar indicates genetic distance of 0.02.

Table 2. Genetic distance among *Gnathophis leptocephali*, 8 Anguilliformes species and 1 outgroup

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Gnathophis leptocephalus</i> (1)												
<i>Gnathophis leptocephalus</i> (2)	0.000											
<i>Gnathophis leptocephalus</i> (3)	0.000	0.000										
<i>Gnathophis leptocephalus</i> (4)	0.000	0.000	0.000									
<i>Gnathophis nystromi</i> (5)	0.001	0.001	0.001	0.001								
<i>Gnathophis bathytopos</i> (6)	0.011	0.011	0.011	0.011	0.012							
<i>Conger myriaster</i> (7)	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.131						
<i>Conger japonicus</i> (8)	0.161	0.161	0.161	0.161	0.161	0.167	0.082					
<i>Ophisurus macrorhynchus</i> (9)	0.158	0.158	0.158	0.158	0.160	0.153	0.203	0.224				
<i>Dysomma anguillare</i> (10)	0.133	0.133	0.133	0.133	0.132	0.136	0.171	0.194	0.161			
<i>Muraenesox cinereus</i> (11)	0.173	0.173	0.173	0.173	0.172	0.170	0.222	0.256	0.156	0.187		
<i>Anguilla japonica</i> (12)	0.125	0.125	0.125	0.125	0.124	0.127	0.180	0.197	0.159	0.127	0.175	
<i>Elops saurus</i> (13)	0.215	0.215	0.215	0.215	0.213	0.214	0.248	0.268	0.235	0.173	0.222	0.207

고 찰

분포특성

본 조사에서 8월 부화직후 은붕장어 엽상자어 (8개체; 전장 15.8-18.8 mm)와 꼬리지느러미 발달기 엽상자어 (18개체; 전장 20.7-32.6 mm)가 제주도 남동부 근해 및 동부에서 채집되었다 (Fig. 1). 은붕장어 엽상자어의 정점별 출현량을 비교하면, 제주도 남동부 근해에 위치한 정점에서 연안 정점보다 더 많은 개체들이 출현하였다 (Fig. 1A). 이는 근해에 집중적으로 분포하는 바다뱀과(Ophichthidae) 엽상자어의 분포양상과 유사하였다 (Miller and McCleave, 2007). 부화후 뱀장어목 엽상자어들의 분포는 해류와 밀접한 연관이 있다고 보고되었는데 (Miller, 2009), 본 연구의 은붕장어 엽상자어 회유경로는 바다뱀 (*Ophisurus macrorhynchus*) 및 갯장어 (*Muraenesox cinereus*) 엽상자어와 유사한 경향을 나타내었다 (Ji et al., 2014; Ji et al., 2015). 바다뱀 엽상자어는 8월 한일중간수역과 대마도 남부에서 대마난류를 따라 제주도 주변해역으로 북상하였으며 (Ji et al., 2014), 갯장어 엽상자어는 7-8월 동중국해에서 부화하여 쿠로시오 해류를 타고 제주도를 거쳐 남해 연안까지 분포하는 것으로 보고되었다 (Ji et al., 2015). 또한, 11월 독도에서 은붕장어 꼬리지느러미 발달기 엽상자어 (2개체; 전장 39.9-65.0 mm)가 출현하여 (Kim et al., 2012), 국내 연안으로 가입하는 은붕장어 엽상자어들은 제주도 최남단에서 부화하여 대마난류를 타고 제주도, 남해 및 동해까지 북상하여 널리 분포하는 것으로 사료된다.

한편, 동중국해에서 조사된 은붕장어 엽상자어의 계절 분포양상에서, 이들은 늦가을에 늦봄보다 더 많이 출현하며, 전장 범위는 7.0-90.0 mm로 부화직후 엽상자어부터 변태직전 엽상자어까지 나타났다 (Miller et al., 2002; Minagawa et al., 2007). 이는 은붕장어의 산란기가 8월에서 12월까지 이며 부화후 성장하면서 늦가을에 가입하는 분포패턴을 보여주고 있다. 본 연구에서는 8월말 전장 30.0 mm 이하의 은붕장어 엽상자어들이 출현하여 여름철 부화된 것으로 판단된다. 은붕장어 부화직후 엽상자어의 출현으로 일본 동부와 동중국해에 산란장이 형성되는 것으로 보고되었는데 (Kimura et al., 2006; Minagawa et al., 2007), 본 조사에서 전장 20.0 mm 이하의 부화직후 추정 엽상자어가 제주도 남

동부 최남단에서 채집되어 동중국해에서 산란하는 선행연구결과와 잘 일치하였다 (Fig. 1).

형태특징 비교

은붕장어 엽상자어는 붕장어 엽상자어와 형태적으로 매우 유사하지만 주둥이 형태 (은붕장어 엽상자어는 뽀족하다 vs. 붕장어 엽상자어는 둥글다) 및 전체 근절수 (은붕장어 엽상자어는 117-124개 vs. 붕장어 엽상자어는 140-148개)에서 잘 구분된다 (Tabeta and Mochioka, 1988; Kim et al., 2012). 본 연구의 은붕장어 엽상자어는 121-124개 vs. 일본산 은붕장어 엽상자어는 118-128개, 등지느러미앞 근절수 (본 연구의 은붕장어 엽상자어는 75-82개 vs. 일본산 은붕장어 엽상자어는 68-80개), 마지막 수직혈관 위치 (본 연구의 은붕장어 엽상자어는 41-43개 vs. 일본산 은붕장어 엽상자어는 38-45개)에서 잘 일치하였다 (Table 1). 한편, Tabeta and Mochioka (1988)에 의하면, 일본산 은붕장어는 2아종 (*Gnathophis nystromi nystromi*, *Gnathophis nystromi ginanago*)으로 구분되며, 이들은 엽상자어기 등지느러미앞 근절수 (*G. nystromi nystromi* 엽상자어는 118-128개, *G. nystromi ginanago* 엽상자어는 124-130개), 마지막 수직혈관 위치 (*G. nystromi nystromi* 엽상자어는 38-45번째 근절, *G. nystromi ginanago* 엽상자어는 45-48번째 근절)에서 차이를 나타내었다. 본 연구의 은붕장어 엽상자어는 *Gnathophis nystromi nystromi*의 형태특징과 잘 일치하였다 (Table 1).

결 론

8월말 제주도 남동부해역에서 은붕장어 엽상자어 26개체 (13.8개체/1000 m³; 전장 15.8-32.6 mm)가 ORI net로 채집되었다. 총 33개의 정점 중 9개 정점에서 채집되었으며, 제주도 남동부 최남단 근해에서부터 제주도 동부까지 분포하였다. 국내 연안으로 가입하는 은붕장어 엽상자어들은 여름철 제주도 최남단에서 부화하여 쿠로시오 해류와 대마난류를 타고 제주도, 남해 및 동해까지 북상하여 널리 분포하는 것으로 사료된다. 또한, 제주도 최남단에서 부화직후 추정 은붕장어 엽상자어가 채집되어 여름철 제주도 근해에 산란장이 형성되는 것으로 여겨진다.

사 사

본 논문은 2015년도 국립수산물과학원 수산과학연구소
업 (R2015024)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지
원에 감사드립니다.

References

- Castle PHJ. 1984. Notacanthiformes and Anguilliformes: Development. Ontogeny and Systematics of Fishes (eds Moser HG, Richards WJ, Cohen DM, Fahay MP, Kendall AW and Richardson SL). Allen Press INC, Lawrence, U.S.A., pp 62-69.
- Castonguay L and McCleave JD. 1987. Distribution of leptocephali of the oceanic species *Derichthys serpentinus* and *Nessorhynchus ingolfianus* (Family Derichthyidae) in the western Sargasso Sea in relation to physical oceanography. Bull Mar Sci 41, 807-821.
- Eschmeyer WN. 2015. Catalog of fishes electronic version. available from: <http://research.calacademy.org/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.
- Hatooka K. 2002. Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species. Nakabo T, ed. Tokai University Press, Tokyo, Japan, pp 215-225.
- Ji HS, Choi JH, Choi KH, Yoon SC, Lee DW and Kim JK. 2014. First morphological description and the distribution of *Ophisurus macrorhynchus* (Anguilliformes: Ophichthidae) leptocephalus collected from southeastern waters of Jeju Island. Kor J Fish Aquat Sci 47, 888-894. (doi: 10.5657/KFAS.2014.0888)
- Ji HS, Kim JK, Oh TY, Choi KH, Choi JH, Seo YI and Lee DW. 2015. Larval distribution pattern of *Muraenesox cinereus* (Anguilliformes: Muraenesocidae) leptocephali in waters adjacent to Korea. Ocean Sci J 50, 537-545. (doi: 10.1007/s12601-015-0049-6)
- Kim JK, Ryu JH, Kim S, Lee DW, Choi KH, Oh TY, Hwang, KS, Choi JH, Kim JN, Kwun HJ, Ji HS and Oh JN. 2012. An Identification Guide for Fish Eggs, Larvae and Juveniles of Korea. Hangeul graphics, Busan, p 275.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak, Seoul, Korea, p 615.
- Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. J Mol Evol 16, 111-120. (doi: 10.1007/BF01731581)
- Kimura Y, Miller MJ, Minagawa G, Watanabe S, Shinoda A, Aoyama J, Inagaki T and Tsukamoto K. 2006. Evidence of a local spawning site of marine eels along northeastern Japan, based on distribution of small leptocephali. Fish Oceanogr 15, 183-190. (doi: 10.1111/j.1365-2419.2005.00383.x)
- McCleave JD and Miller MJ. 1994. Spawning of *Conger oceanicus* and *Conger triporiceps* (Congridae) in the Sargasso Sea and subsequent distribution of leptocephali. Environ Biol Fish 39, 339-355. (doi: 10.1007/BF00004803)
- Miller MJ. 2002. Distribution and ecology of *Ariosoma balearicum* (Congridae) leptocephali in the western North Atlantic. Environ Biol Fish 63, 235-252. (doi: 10.1023/A:1014311429809)
- Miller MJ. 2009. Ecology of Anguilliformes leptocephali: remarkable transparent fish larvae of the ocean surface layer. Acua Bio Sci Monogr 2, 1-94. (doi: 10.5047/absm.2009.00204.0001)
- Miller MJ, Otake T, Minagawa Gen, Inagaki T and Tsukamoto K. 2002. Distribution of leptocephali in the Kuroshio Current and East China Sea. Mar Ecol Prog Ser 235, 279-288. (doi: 10.3354/meps235279)
- Miller MJ and McCleave JD. 2007. Species assemblages of leptocephali in the southwestern Sargasso Sea. Mar Ecol Prog Ser 344, 197-212. (doi: 10.3354/meps06923)
- Minagawa G, Miller MJ, Kimura Y, Watanabe S, Shinoda A, Aoyama J and Tsukamoto K. 2007. Seasonal differences in catches of leptocephali in the East China Sea and Suruga Bay, Japan. Estuarine, Coastal and Shelf Science 71, 730-740. (doi: 10.1016/j.ecss.2006.06.018)
- Mundy BC. 2005. Checklist of the fishes of the Hawaiian Archipelago. Bishop Museum Bulletins in Zoology. Bishop Mus Bull Zool 6, 1-704.
- Tabeta O and Mochioka N. 1988. Family Ophichthidae. An Atlas of the Early Stage Fishes in Japan. Okiyama M, ed. Tokai University Press, Tokyo, Japan, pp 58-62.
- Takahashi M, Mochioka N, Shinagawa S, Yatsu A and Nakazono A. 2008. Distribution patterns of leptocephali in the Kuroshio-Oyashio transitional region of the western North Pacific. Fish Oceanogr 17, 165-177. (doi: 10.1111/j.1365-2419.2008.00462.x)
- Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M and Kumar S. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. Mol Bio Evol 28, 2731-2739. (doi: 10.1093/molbev/msr121)
- Thompson JD, Higgins DG and Gibson TJ. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice. Nucl Acids Res 22, 4673-4680. (doi: 10.1093/nar/22.22.4673)
- Uematsu K, Otake T, Tsukamoto Y, Sakakura Y, Kurokura H, Hasumoto H and Tsukamoto K. 1992. Distribution of leptocephali and other fish larvae around the Tanegashima Island, with special reference to the coastal migration of *Anguilla japonica*. J Fac Appl Biol Sci 31, 161-172.

Wang CH, Kuo CH, Mok HK and Lee SC. 2003. Molecular phylogeny of elopomorph fishes inferred from mitochondrial 12S ribosomal RNA sequences. *Zoologica scripta*, 32, 231-241. (doi: 10.1093/nar/22.22.4673)

2015. 09. 17 Received

2015. 11. 23 Revised

2015. 11. 23 Accepted

K C I