J. Kor. Fish. Soc. 40(2), 79-83 한수지, 40(2), 79-83, 2007

한국 순천만 갯벌지역 말뚝망둥어 (*Periophthalmus modestus*)의 성숙과 산란

김재원·윤양호[1]·신현출[1]·임경훈[1]·Toru Takita[2]·박세창[3]·백근욱[4*]
강릉도립대학교 자원개발학과, [1]전남대학교 해양기술학부, [2]나가사키대학교 수산학부,
[3]서울대학교 수의학과, [4]부경대학교 해양과학공동연구소

Maturation and Spawning of Shuttles Hoppfish *Periophthalmus modestus* in the Mud Flat of Suncheon Bay, Korea

Jae Won KIM, Yang Ho YOON[1], Hyun Chool SHIN[1], Kyeong Hun LIM[1], Toru Takita[2], Se Chang PARK[3] and Gun Wook BAECK[4*]
Department of Marine Bio-resources, Kangwon Provincial University, Kangnung 210-804, Korea
[1]Fauclty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea
[2]Faculty of Fisheries, Nagasaki University, Bunkyo, Nagasaki 852, Japan
[3]College of Veterinary Medicine, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
[4]Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The maturation and spawning of Shuttles hoppfish *Periophthalmus modestus* were studied from April to October, 2005 in the mud flat of Suncheon Bay, Korea. The specimens ranged in body length (BL) from 1.5 to 8.4 cm. The gonadosomatic index (GSI) of females was highest in May and decreased until September. The hepatosomatic index (HSI) and fatness index of females were high in April and then decreased to a nadir in July. The data indicate that the spawning season was from April to September. There was no significant difference in the ratio of females to males (χ^2-test, $p>0.01$). Over 50% of the females over 5 cm in BL were sexually mature. Fecundity ranged from 1,664 to 13,428. The relationship between fecundity (F) and body length (BL) of the fish was expressed as $F=0.026BL^{2.8638}$ ($R^2=0.79$). The first spawning length was 4.5 cm BL.

Key words: *Periophthalmus modestus*, Shuttles hoppfish, Maturation, Spawning, Suncheon Bay

서 론

말뚝망둥어 *Periophthalmus modestus*는 우리나라에 서식하는 58종의 망둑어과 (Family Gobiidae)에 속하는 어종 (Yoon, 2002)으로 한국 서·남해연안을 비롯하여, 일본, 중국, 오스트레일리아, 인도, 홍해의 연안 등 갯벌이 발달한 곳에 주로 서식하는 연안 정착성 어류이다 (Chyung, 1977; Kim et al., 1986).

우리나라에 서식하는 말뚝망둥어는 1년 중 온도가 낮아지는 11월부터 이듬해 3월까지 동면을 하는 특성을 가지고 있으며, 간조시 갯벌에서 소형 동물플랑크톤, 게 유생, 곤충 등의 먹이를 섭이하고, 번식을 위한 특이한 구애행동을 한다 (Chyung, 1977; Ryu and Lee, 1979). 또한 산란, 습도유지, 월동, 천적으로부터의 보호 등을 위하여 갯벌에 서식공을 만들어 생활하며 난을 굴에 부착하여 산란하는 등의 특성을 가지고 있다 (Chyung, 1977; Ryu and Lee, 1979). 이러한 특이한 서식 및 생식 생태적 특이성을 보이는 말뚝망둥어는 갯벌 생물 종다양성 측면에서 중요한 가치를 지닌 어종임에도 불구하고 전 세계적으로 생태학적인 연구가 거의 없다. (Kobayashi et al., 1971). 지금까지의 연구를 살펴보면, Kimura (1958)에 의해 초기생활사에 관한 연구와 Murdy (1989)에 의한 분류학적 연구, Kobayashi et al. (1971)과 Ikebe and Oishi (1996, 1997)에 의한 행동학적인 연구 등이 있으며, 우리나라에서는 Ryu and Lee (1979)에 의한 말뚝망둥어의 서식에 관한 연구, Kim et al. (1986)에 의한 분류에 관한 연구가 있을 뿐이다.

어류자원의 성숙과 산란에 관한 연구는 자원보존과 관리에 중요한 자료를 제공한다. 특히 말뚝망둥어와 같이 특이한 산란생태를 가진 어류에 대한 성숙과 산란에 대한 연구는 생태적으로도 중요하다.

본 연구는 순천만에 서식하는 말뚝망둥어의 체장분포, 생식소중량지수 (GSI), 간중량지수 (HSI) 및 비만도지수 (fatness index)의 월변화, 성비 및 군성숙도 그리고 포란수 등 성숙과 산란에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 말뚝망둥어 시료는 2005년 4월에서 10월까지 매월 전라남도 순천시 율촌면 상봉리에 위치한 순천만에서 낚시와 체를 이용한 훌치기 방법에 의해 채집된 것을 이용하였다 (Fig. 1). 채집된 시료는 냉장보관한 후, 실험실로 운반하여 각 개체의 체장 (0.1 cm)과 체중 (0.1 g)을 측정한 뒤, 각

*Corresponding author: 1233625@hanmail.net

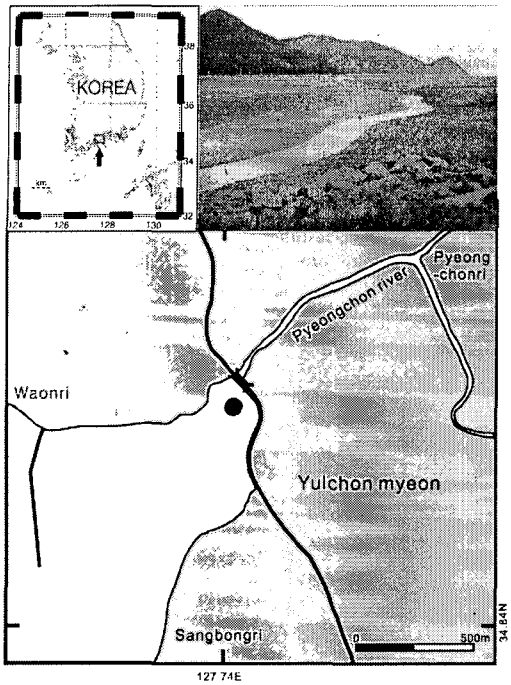

Fig. 1. Location of the study area.

개체에서 간, 생식소를 분리하여 각각의 중량을 0.01 g 단위까지 측정하였다.

말뚝망둥어의 각 개체는 생식소 추출과정에서 암, 수를 구별하였고, 월별 생식소중량지수 (gonadosomatic index, GSI), 간중량지수 (hepatosomatic index, HSI)와 비만도 지수 (fatness index)를 다음과 같이 구하였다.

$$GSI(\%)=GW(g)/BW(g)\times10^2$$

$$HSI(\%)=LW(g)/BW(g)\times10^2$$

$$\text{Fatness index}=BW(g)/BL(cm)^3\times10^3$$

여기서 GW (gonad weight)는 생식소 중량이고 BW (body weight)는 체중, LW (liver weight)는 간 중량, BL (body length)은 체장이다.

포란수는 난의 무게를 이용한 중량법 (gravimetric method)을 사용하여 산정하였으며, 군성숙도는 (group maturity)는 체장 1 cm 간격으로 산정하였는데, 군성숙에 도달하는 체장은 같은 크기에 속하는 개체 가운데 난경 400 μm이상을 나타내는 개체의 빈도가 50% 이상인 최소 크기로 정하였다.

결과 및 고찰

체장 분포

조사기간 동안 채집된 말뚝망둥어의 총 개체수는 404개체였으며, 체장은 1.5-8.4 cm 범위였다 (Fig. 2).

월별 체장 분포를 보면, 4월에 체장은 2-7 cm 범위였으며, 5월 이후 작은개체의 수가 줄어 7월에는 4-8 cm 범위의 개체가 채집되었다. 8월에는 4 cm 이하의 작은 개체가 채집되기 시작하여 5 cm 이상의 큰 무리와 구별되었다. 9월 이후에는 두 무리가 합쳐지고, 10월에는 3-8 cm 범위의 개체들이 채집되었다. 8월부터는 체장 1 cm 범위의 개체가 출현하였는데 이것은 난에서 부화한 말뚝망둥어 유어가 출현하기 시작하였기 때문이다.

본 조사에서 채집된 말뚝망둥어의 최대 체장은 8.4 cm 였는데, 이는 다른 갯벌에 서식하는 망둑어과 어류들에 비해 비교적 작은 크기이다. 우리나라에서 연구된 짱둥어 *Boleophthalmus pectinirostris*와 남방짱둥어 *Scartelaos gigas*의 성어는 체장 18 cm 전후로 성장하며 (Jeong et al., 2004; Kim et al., 2005), 호주 북부해역에서 연구된 *Boleophthalmus caeruleomaculatus*와 *B. birdsongi*는 각각 체장 16.2 cm와 11.5 cm (Murdy, 1989), 인도네이시아 수마트라섬에서 연구된 *Periophthalmus spilotus*는 체장 5.1 cm (Muddy and Takita, 1999) 전후로 *Periophthalmus spilotus*를 제외한 많은 갯벌에 서식하는 망둑어과 어종들이 말뚝망둥어보다 크다.

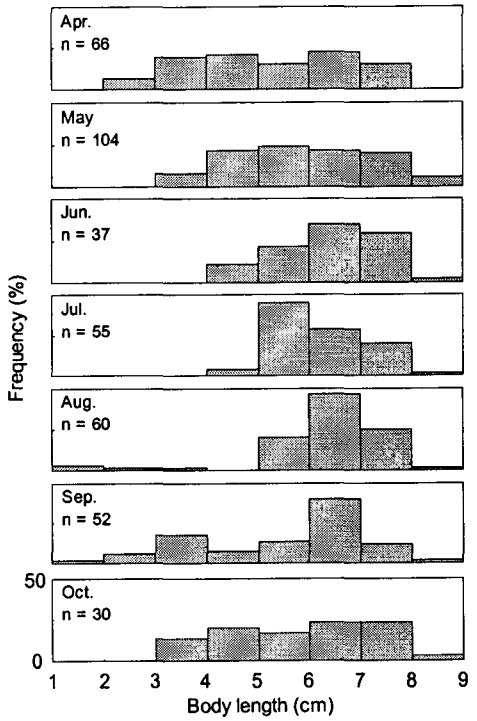

Fig. 2. Monthly variation in body length-frequency distribution of *Periophthalmus modetus* collected from April to October, 2005.

생식중량지수 (GSI), 간중량지수 (HSI) 및 비만도지수의 월변화

암컷의 생식소중량지수는 4월에 평균 1.15였던 것이 그 이후 급격히 증가하여 5월에는 가장 높은 8.76을 보였다. 그 이후 점진적으로 감소하여 9월에 0.99를 보였으며 10월에는 1년 중 가장 낮은 0.69를 보였다. 이와 같은 생식소중량지수의 월변동 양상을 보아 말뚝망둥어의 산란기는 4월부터 9월까지이며, 산란 성기는 5월에서 8월 경으로 판단된다 (Fig. 3).

말뚝망둥어 암컷의 월별 간중량지수 (HSI)와 비만도지수는 4월부터 감소하여 모두 7월에 가장 낮은 평균값을 보였으며 (간중량지수; 1.8, 비만도지수; 14.3), 8월 이후 증가하여 10월에 가장 높은 평균값 (간중량지수; 3.9, 비만도지수; 17.3)을 보였다 (Fig. 3).

본 연구에서 말뚝망둥어 암컷의 월별 생식소중량지수(GSI), 간중량지수 (HSI), 비만도지수를 살펴본 결과, 생식소중량지수는 5월, 간중량지수와 비만도지수는 모두 10월에 최대값을 보였다. 일반적으로 어류의 산란 유형을 춘계 산란형, 춘·하계 산란형, 하계 산란형, 춘·추계 산란형, 추계 산란형, 동계 산란형의 6가지로 나누어지지만(Aida, 1991), 본 연구에서 말뚝망둥어의 산란기는 4-9월로 나타나 1년 중 월동기간인 동계를 제외한 모든 계절에 산란을 하는 춘·하·추계 산란형임을 알 수가 있었다.

수온과 빛 (일조량) 등의 환경요인은 간조시 갯벌에 서식하는 시간이 많은 말뚝망둥어의 산란활동과 많은 연관성을 가지고 있다 (Chung et al., 1991). 말뚝망둥어는 간조시 공기중에 노출되어 있는 시간이 많기 때문에 수온이 급상승하여 일조시간이 길어지는 5월부터 성숙되어 산란활동을 활발히 하며, 수온이 하강하며 일조시간이 짧아지는 9월부터 산란활동이 감소하는 것으로 추정된다.

말뚝망둥어와 유사한 갯벌 환경에 서식하는 망둑어과 어류인 짱둥어 *Boleophthalmus pectinirostris*의 산란기는 봄에서 여름까지로 알려져 있다 (Chung et al., 1991; Washio et al., 1993). 갯벌에 서식하는 망둑어과 어류들은 연중 생산성이 가장 높은 봄에서 여름까지 산란함으로써, 부화한 어린 개체들이 풍부한 먹이를 이용하여 초기성장을 빠르게 하는 산란전략을 가진다고 볼 수 있다.

어류의 간중량지수는 체내 영양물 축적과 소비, 난황전구물질인 vitellogenim의 합성 등과 관련이 있으며, 비만도지수는 섭이율과 관련이 있다 (Aida et al., 1973; Miller, 1989). 산란을 시작하기 전에 높은 간중량지수와 비만도지수를 보이는 것은 산란을 위해 높은 영양상태를 유지하다가 산란이 시작되면 산란에 많은 영양분을 소비하기 때문에 그 값들이 감소하는 것으로 추정된다 (Baeck et al., 2004). 말뚝망둥어는 월동기간을 가지는 특성이 있어 그 기간 동안에는 영양분을 섭취하지 않기 때문에 월동을 하기 전에 필요한 영양분을 체내에 축적해야만 한다. 따라서 월동 직전인 10월에 간중량지수와 비만도지수 값이 가장 높은 것으로 생각된다. 또한 동면이 끝난 4월에는 월동기간 동안에 소비된 에너지의 회복과 산란에 필요한 에너지를 축적하기 위하여 평상시 보다 왕성한 섭이활동을 하여 간중량지수와 비만도지수 값이 비교적 높은 것으로 추정된다.

성비 및 군성숙도

체장 5 cm 이상에서는 50% 이상의 군성숙율을 보였으며, 암컷과 수컷의 성비는 1:0.92로 1:1과 유의한 차이를 보이지 않았다 (χ^2-test, p>0.01) (Table 1, 2).

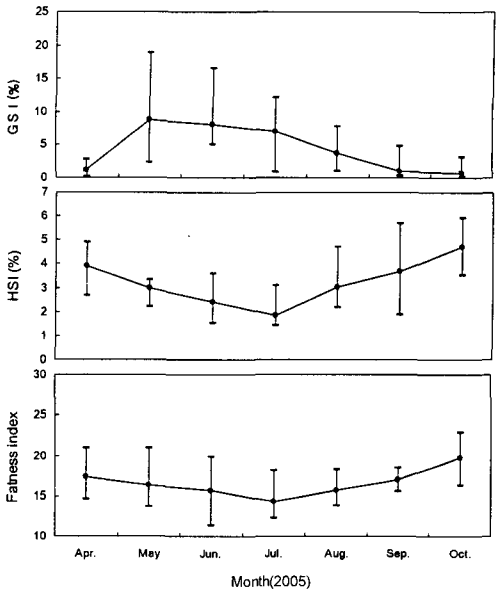

Fig. 3. Monthly change of gonadoaomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI) and fatness index of female *Periophthalmus modestus*.

말뚝망둥어 암컷의 경우 체장 4 cm 이하에서는 성숙한 개체가 출현하지 않았으며, 체장 4 cm부터 성숙한 개체가 출현하고 군성숙은 체장 5 cm 이상부터 이루어짐을 알 수가 있었다. 그리고 체장 8 cm 이상부터는 모든 개체가 성숙한 것으로 나타났다.

우리나라 연안에 출현하는 어류 중에서 말뚝망둥어와 같이 암, 수간 성비에서 유의한 차이를 보이지 않았던 (χ^2-test, P>0.01) 어류에는 불볼락 *Sebastes thompsoni* (1:0.9) (Lee et al., 1998), 개서대 *Cynoglossus robustus* (1:1.17) (Baeck and Kim, 2004), 별망둑 Chasmichthys gulosus (1:1.04) (Kim et al., 2004), 실양태 *Repomucenus valenciennei* (1:0.99) (Baeck and Huh, 2004) 등이 있었다. 이와 같이 암·수간 성비에서 유의한 차이를 보이지 않는 것은 부화한 개체에서 암컷과 수컷의 비율이 유사하며, 성장하면서 암컷과 수컷의 사망률이 유사하기 때문인 것으로 추정된다 (Sturm and Salter, 1989). 말뚝망둥어의 최소 성숙체장은 4.5 cm 였는데, 유사한 갯벌환경에 서식하는 망둥어과 어류인 짱둥어의 9 cm (Washio, et al., 1993) 보다 훨씬 작았다.

포란수

말뚝망둥어의 개체당 포란수는 1,664-13,428개의 범위를 보였으며, 평균 포란수는 7,413개 였다 (Fig. 4).

체장별 포란수를 보면 체장 4-5 cm 크기군에서는 평균 2,446개, 체장 5-6 cm 크기군에서는 2,608개, 체장 6-7 cm 크기군에서는 6,802개, 체장 7-8 cm 크기군에서는 8,887개, 8 cm 이상에서는 평균 10,292개의 난을 포란하여 체장이 증가함에 따라 포란수가 증가하는 경향을 보였다. 산란기간 동안 말뚝망둥어의 체장과 포란수의 관계식은 $F=0.026BL^{2.8638}$ ($R^2=0.79$) 로 나타났다.

Table 1. Monthly variation in sex ratio of *Periophthalmus modestus*

Month	Female (n)	Male (n)	Total (n)	Sex ratio (F/M)
Apr.	35	31	66	1.13
May	54	50	104	1.08
Jun.	19	18	37	1.06
Jul.	31	24	55	1.29
Aug.	30	30	60	1.00
Sep.	27	25	52	1.08
Oct.	15	15	30	1.00
Total	211	193	404	1.09

Table 2. Percentage of immature and mature females of *Periophthalmus modestus* by body length during spawning season

Body length (cm)	Female		
	n	Immature (%)	Mature (%)
1.5-1.9	1	100.00	-
2.0-2.9	2	100.00	-
3.0-3.9	9	100.00	-
4.0-4.9	15	60.00	40.00
5.0-5.9	29	31.03	68.97
6.0-6.9	38	21.05	78.95
7.0-7.9	57	10.52	89.48
8.0-8.4	11	-	100.00
Total	162		

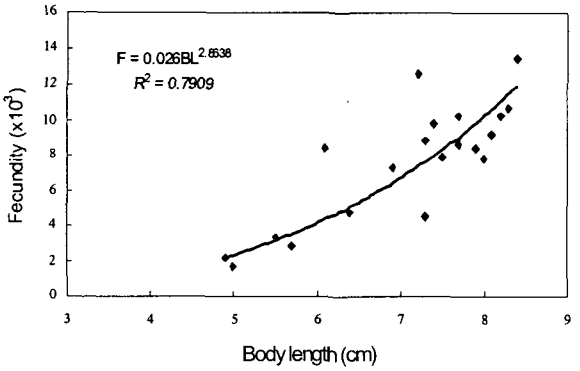

Fig. 4. Relationship between the body length and fecundity of *Periophthalmus modestus*.

서식환경이 유사하며 말뚝망둥어 보다 최대 체장이 큰 짱둥어는 5,000-20,000개의 포란수를 보였는데 (Ryu et al., 1995), 일반적인 어류의 포란수 결과에서 나타난 체장이 커질수록 포란수가 많아지는 경향과 동일하였다.

사 사

이 논문은 2005년도 정부재원 (교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었습니다 (KRF-2005F00003).

참 고 문 헌

Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleosts. Bull. Inst. Zool. Acad. Sinica, Monogr., 16, 173-187.

Aida, K.P., V. Nagama and T. Hibiya. 1973. Physiological studies on the gonadal maturation of fish. I. Sexual difference in composition of plasma protein of ayu in relation to gonadal maturation. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 39, 1091-1106.

Baeck, G.W and J.W. Kim. 2004. Maturation and spawning of robust tonguefish *Cynoglossus robustus* (Soleidae; Teleostei). J. Fish. Sci. Technol., 7, 136-140.

Baeck, G.W and S.H. Huh. 2004. Maturation and spawning of *Repomucenus valenciennei* collected in Gwangyang Bay, Korea. Kor. J. Ichthyol., 16, 87-93.

Baeck, G.W., J.W. Kim and S.H. Suh. 2004. Maturation and spawning of striped goby (*Acentrogobius pflaumi*) (Teleostei; Gobiidae) collected in the Gwangyang Bay, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 37, 226-231.

Chung, E.Y., C.M. An and T.Y. Lee. 1991. Sexual maturation of the bluespotted mud hopper, *Boleophthalmus pectinirostris* (Linnaeus). Bull. Kor. Fish. Soc., 24, 167-176.

Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Ilji-sa, Seoul, pp. 1-727.

Ikebe, Y. and T. Oishi. 1996. Correlation between environmental parameters and behaviour during high tides in *Periophthalmus modestus*. J. Fish Biol., 49, 139-147.

Ikebe, Y. and T. Oishi. 1997. Relationships between environmental factors and diel and annual changes of the behaviors during low tides in *Periophthalmus modestus*. Zool. Sci., 14, 49-55.

Jeong, S.J., K.H. Han, J.K. Kim and D.S. Sim. 2004. Age and growth of the blue spot mudskipper (*Boleophthalmus pectinirostris*) in the mud flat of Southwestern Korea. J. Kor. Fish. Soc., 37, 44-50.

Kim, I.S., C. Youn, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyo-hak Publication Co., Seoul, 1-615.

Kim, I.S., Y.J. Lee and Y.U. Kim. 1986. Synopsis of the family Gobiidae (Pisces, Perciformes) from Korea. Bull. Kor. Fish. Soc., 19, 387-408.

Kim, S.Y., C.B. Park, J.W. Kang, Y.C. Choi, S. Rho, H.J. Bawk, H.B. Kim and Y.D. Lee. 2004. Gonadal development and reproductive cycle of gluttonous goby *Chasmichthys gulosus* (Guichenot). Kor. J. Ichthyol., 16, 261-270.

Kimura, M. 1958. Early development of the mudskipper *Periopthalmus cantonensis*. Nippon Suisan Gakkaishi, 23, 754-757.

Kobayashi, T., Y. Dotsu and Y. Takita. 1971. Nest and nesting behavior of the mudskipper, *Periophthalmus cantonensis* in Ariake sound. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., 32, 28-39.

Lee, J.S., C.M. An and S.H. Huh. 1998. Reproductive cycle of the goldeye rockfish, *Sebastes thompsoni* (Teleostei: Scorpaenidae). J. Kor. Fish. Soc., 31, 8-16.

Miller, P.J. 1989. The Ecology of Gobioid Fishes, Academic Press. New York, 1-482.

Muddy, E.O. and T. Takita. 1999. *Periophthalmus spilotus*, a new species of mudskipper from Sumatra (Gobiidae: Oxudercinae). Ichthyol. Res., 46, 367-370.

Murdy, E.O. 1989. A taxonomic revision and cladistic analysis of the Oxudercine gobies (Gobiidae: Oxudercinae). Rec. Aust. Mus., Suppl., 11, 1-93.

Ryu, B.S. and J.H. Lee. 1979. The life form of *Periophthalmus cantonensis* in the Gum River in Summer. Bull. Kor. Fish. Soc., 12, 71-77.

Ryu, B.S., I.S. Kim and Y. Choi. 1995. Ecology and life history of *Boleophthalmus pectinirostris* in Korea. J. Kor. Fish. Soc., 28, 316-324.

Sturm, M.G. de L and P. Salter. 1989. Age, growth, and reproduction of the king mackerel *Scomberomorus cavalla* (Cuvier) in Trinidad waters. Fish. Bull., 88, 361-370.

Washio, M. S.I. Komiya and T. Takita. 1993. Maturation of the mudskipper *Boleophthalmus pectinirostris* distributed in the mud flats of the Midori River, Kumamoto Prefecture. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 575-580.

Yoon, C.H. 2002. Fishes of Korea with Pictorial Key and Systematic List. Academy Publication Co., Seoul, 1-747.

2007년 1월 30일 접수
2007년 4월 23일 수리