

이석의 미세구조를 이용한 가덕도 천해역 문치가자미 (*Limanda yokohamae*) 유어의 연령과 성장

문 형 태 · 이 태 원

충남대학교 해양학과

Age and Growth of Juvenile *Limanda yokohamae* in the Shallow Water off Gaduk-do as Indicated from Microstructure in Otoliths

Hyung Tae Moon and Tae Won Lee

Department of Oceanography, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea

Age, hatching date and growth in length of juvenile *Limanda yokohamae* were determined by analysis of microstructure in otoliths. Monthly samples were collected by a beach seine in the shallow water off Gaduk-do from January to December, 1998. The juveniles were collected between February and April. Mean total length was 22.6 ± 1.77 mm (\pm SD) in February, 23.6 ± 3.86 mm in March, and 38.2 ± 8.38 mm in April. The core of otoliths ranged from 18 to 21 μ m in diameter and the growth increments were deposited concentrically from the hatching mark. The secondary growth layer began to appear at the 48 to 56-th increment. It indicates that *L. yokohamae* larvae may be completed the metamorphosis at this time of ca. 52 d after hatching, and moved into the shallow water for demersal stage. The hatching date calculated from the number of daily increments was between late November and early January, showing a peak in December. The total length (L, mm) was related to otolith radius (R, μ m); $L=0.055 R+5.81$ ($r^2=0.88$). The growth in total length was represented by the Gompertz growth curve; $L_t=3.39e^{4.51(1-e^{-0.0067t})}$ ($r^2=0.81$). Daily growth rate was 0.35 mm/d at the age of 70 d and increased up to 0.55 mm/d at the age of 120 d.

Key words : age, growth, otoliths, *Limanda yokohamae*

서 론

문치가자미 (*Limanda yokohamae*)는 가자미목 (Pleuronectiformes) 가자미과 (Pleuronectidae)에 속하는 어류로서 우리 나라 동·남해 및 일본 북해도 이남, 동지나해 등에 분포한다(정, 1977; 김과 윤, 1994). 문치가자미는 보통 수심 100 m 이내에 침성점착란을 낳으며, 부화 직후 양안이 좌우 대칭으로 부유생활을 한다. 치어기 말

기에 왼쪽 눈이 오른쪽으로 이동하며, 이 때 천해역에 들어와 저서생활을 시작하여 일정기간 자란 후 깊은 곳으로 이동하는 것으로 알려져 있으나(Yamada *et al.*, 1986), 천해역으로 이동하는 시기와 기간은 아직 구체적으로 밝혀지지 않았다.

한국 연안 문치가자미에 대한 연구는 체장-체중 관계(김, 1972), 난과 자치어 기간의 형태변화(김 등, 1983), 생식기구 및 개체군 동태(강 등, 1985; 이 등, 1985), 연령과 성장(김 등, 1991) 등이 있고 이종에 대한 국외의

연구 결과는 연령과 성장(Solomon, 1987), 자원량 해석(박과 청, 1991)에 관한 보고가 있다. 그러나, 아직 정확한 산란기 및 초기성장 등의 초기생활사는 자세히 밝혀지지 않았다. 대부분의 어류 이석에는 부화 후부터 일륜이 형성되기 때문에 이석의 미세구조를 관찰 분석하면, 어류의 부화일, 변태시기, 일일성장률 등을 밝힐 수 있어 근래에 차어나 유어를 대상으로 많은 연구가 수행되고 있다(in Stevenson and Campana, 1992).

본 연구에서는 가덕도 근해 천해역에서 문치가자미 유어를 월별로 채집하여 천해역에 출현하는 시기 및 체장 조성을 분석하고, 이석의 미세구조와 일륜수를 이용하여 산란기, 천해역에서 성장하는 시기 및 일일성장률을 추정하였다.

재료 및 방법

재료는 경남 진해시 가덕도 북쪽 청안동에 위치한 조간대 부근 천해역에서 채집하였다(Fig. 1). 채집지역의 저질은 조간대는 모래질이었으며, 조간대하부는 썰질이었고, 잘피들이 밀생하는 곳도 있었다. 재료는 1998년 1월부터 동년 12월까지 월별로 갯후리그물(beach seine)을 사용하여 수집하였다. 채집에 이용된 그물은 10×2.5 m(길이×높이), 망목(stretched mesh size) 5 mm이다. 자료는 매월 사리 3~5일이 지난 간조 때, 5회씩 수집하였고 조사기간 중 2~4월에만 채집되었다.

채집된 재료는 냉장보관하여 실험실에서 체장과 무게를 측정하였고, 이석을 추출하였다. 채취된 이석은 알콜로 표면의 유기물을 제거한 후 fossil cell에 보관하였고, 미세성장선 관찰을 위한 표본제작 및 처리는 Lee and Lee(1989) 방법에 따랐다. 이석을 slide glass 위에 이석

의 등근면을 위로 향하게 놓고 그 위에 유리판을 세워 놓은 뒤 인공수지로 고화시킨 다음, 이석과 함께 고화된 부분이 손상이 가지 않도록 유리판을 깨어 제거시켰다. 제작된 이석 표본은 체측에 평행한 면을 사포(silicon carbide paper) 400, 800, 1000목(grit)으로 sagittal plane 까지 갈고, 연마포에서 1 μ m의 alumina powder로 광택을 내었다.

이석의 미세구조는 광학현미경(100, 200, 500 \times)으로 반사광과 투사광을 이용하여 관찰하였으며 핵부위는 1000 \times 에서 관찰하여 보완하였다. 이석의 장반경 및 핵에서 이차성장핵(secondary growth center)이 시작되는 곳까지의 길이는 광학현미경의 대안측미계(ocular micrometer)로 측정하였다.

이석은 한 평면상으로 자라지 않기 때문에 drawing tube를 이용하여 그림을 그리면서 먼저 가장자리 성장선을 계수하고 이석의 연마를 계속하며 핵까지 계수하였다. 그러나, 핵 부분의 성장선은 성장선의 폭이 좁아 박편을 만들어 판독했다. 이석의 장반경 측정은 핵으로부터 미세성장선의 성장이 빠른 쪽, 즉 이석이 전단부의 가장자리 끝까지로 하였다.

결 과

1. 체장분포

조사기간 중 문치가자미 유어는 2월, 3월, 4월에만 출현하였으며, 체장범위는 16.9~57.6 mm였다(Fig. 2). 2월에는 7마리 채집되었으며, 체장은 20.3~25.4 mm(22.6 \pm 1.77 mm; mean \pm SD)의 범위로 좁았다. 3월에는 60마리가 채집되어 가장 많이 채집되었고, 체장범위는 16.9~34.4 mm로 2월에 비해 넓었으나, 평균체장은 23.6 \pm 3.86 mm로 2월과 비슷하였다. 4월에는 체장범위가 29.2~57.6 mm(38.2 \pm 8.38 mm, n=10)로 넓었으며, 평균체장은 2~3월에 비하여 큰 개체들이 채집되었다.

2. 이석의 미세구조

문치가자미 이석의 핵 직경은 18~21 μ m로 그 주위에 부화정지선으로 보이는 성장정지선이 관찰되었다(Fig. 3). 이 이후부터는 폭이 좁은 동심원상의 성장선(<0.5 μ m)이 관찰되었고, 그 폭이 넓어져 이차성장핵 부근에서는 성장선의 폭이 약 2.5 μ m 정도로 증가하였다. 부화정지선 이후부터 이차성장핵이 나타나는 곳까지의 성장선 수는 48~56개(52 \pm 1.4)였다(Fig. 3). 이차성장핵을 중심으로 부채꼴모양으로, 전단부는 뾰족하게 후단부는 둥글게 자라며 성장속도가 달라져 이석의 전단부가 후단부보다 상대적으로 성장속도가 빨랐다.

Fig. 1. Map of the sampling site off Gaduk-do.

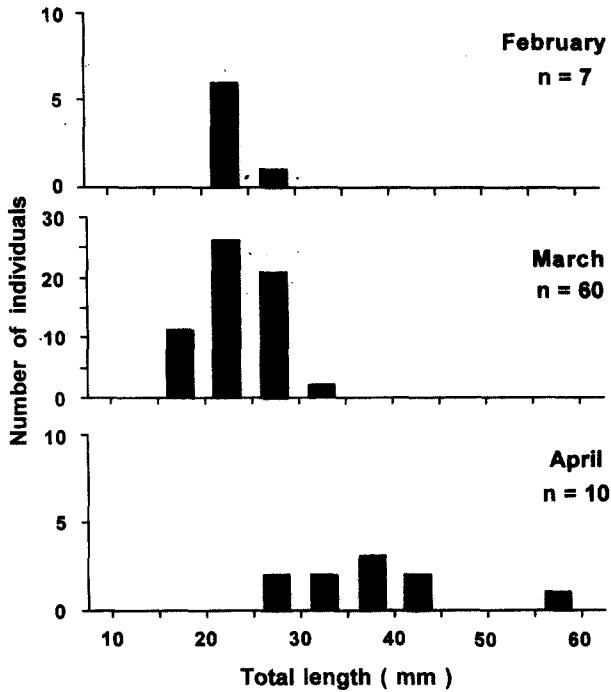


Fig. 2. Length frequency distribution of *Limanda yokohamae* collected from the shallow water off Gaduk-do from February to April 1998.

3. 이석의 장반경과 체장과의 관계

이석의 장반경은 148~776 μm 범위를 보였으며, 이석의 장반경(R; μm)과 체장(L; mm)은 유의한 양의 상관관계를 보였고

$$L = 0.055 R + 5.81 \quad (r^2 = 0.88, n = 63)$$

로 회귀되었다(Fig. 4). 체장성장은 이석성장에 비례하며 이는 이석의 성장으로부터 체장의 성장을 추정할 수 있음을 의미한다.

4. 일륜수와 체장과의 관계

2월 이석의 미세성장선수는 73~80 (77 ± 3)개의 범위였다. 3월에는 64~104 (84 ± 8)개, 4월에는 121~130 (125 ± 4)개의 범위를 보였다.

체장(L_t)은 미세성장선수(t)에 대하여 Gompertz 성장식에 유의하게 회귀되었다(Fig. 5).

$$L_t = 3.39e^{4.51(1 - e^{-0.0067t})} \quad (r^2 = 0.81, n = 63)$$

위 성장식으로부터 추정된 부화 때의 체장(L_0)은 3.39 mm였다. 미세성장선을 일륜으로 보고 Gompertz 성장식으로부터 추정된 70~120일 사이의 문치가자미 유어의 순간성장률은 부화 후 70일 때는 순간성장률이

Fig. 3. Microphotographs of thin sectioned otoliths of *Limanda yokohamae*.

(upper) High magnification of core and surrounding region. The core (white arrow) measured ca. 20 μm in diameter. The growth increments were concentrically deposited from the core. The incremental widths were narrow ($< 0.5 \mu\text{m}$), and increased attained up to 2.5 μm at the 50-th increment (scale bar: 50 μm).

(lower) Accessory primordia (white arrow) began to appear at around the 52-th increment. The accessory primordia induced the otolith to grow fast, which gave the otoliths a fan-like morphology in the secondary growth layer. Its appearance is known to correspond to the time of metamorphosis from larvae to juvenile (scale bar: 50 μm).

0.35 mm/d, 120일 때는 0.55 mm/d로 부화 후 시간이 경과함에 따라 성장률도 계속 증가하였다.

5. 부화일 추정

미세성장선이 부화 이후부터 하루 주기로 생성된 것으로 보고 추정한 부화일은 11월 하순에서 1월 초까지의 범위였고 주로 12월에 부화되었다(Fig. 6). 2월에 채집된 유어는 12월초에서 중순 사이 부화되었으며, 3월의 유어는 11월 말에서 1월 초까지로 부화시기가 다소 길

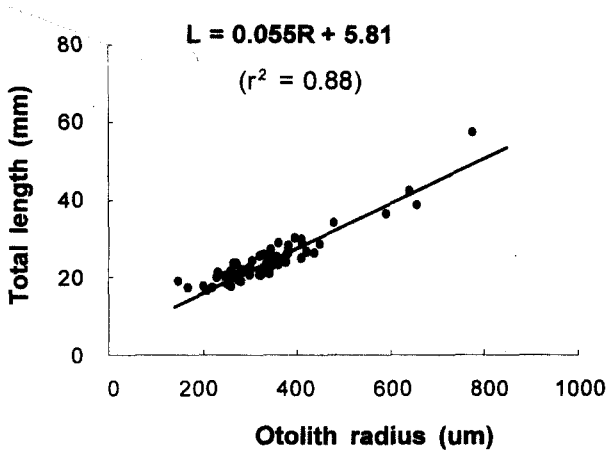


Fig. 4. Relationship between total length (L) and otolith radius (R) of *Limanda yokohamae*.

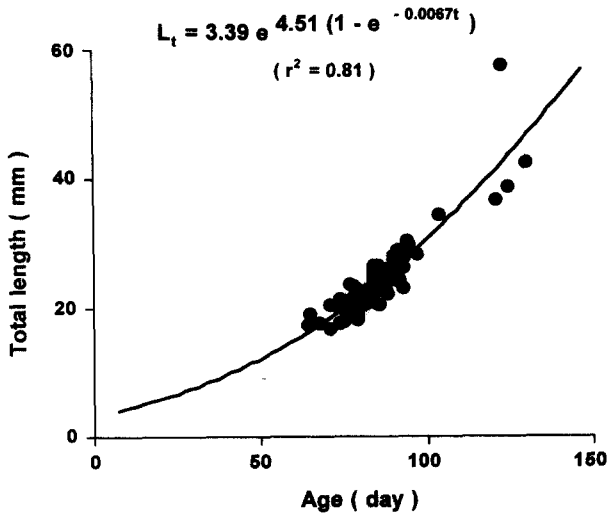


Fig. 5. Scattered diagram between age total length for *Limanda yokohamae*. The curve represents a least square fit to the Gompertz model.

었고, 4월의 유어는 12월 말과 1월 초 사이였다.

고 찰

문치가자미 이석 일륜의 형성 시기는 아직 밝혀지지 않았지만, 대부분의 어류에서 일륜은 부화 이후부터 형성된다. 가자미목 어류 가운데에는 강도다리 (*Platichthys stellatus*), 겨울가자미인 *Pseudopleuronectes americanus* 이석의 미세성장선이 하루주기로 형성됨이 증명되었다 (Campana and Neilson, 1982; Radtke and Scherer, 1982). 본 연구의 문치가자미 이석의 미세성장선이 부화 후부터 하루주기로 형성된 일륜으로 보았을 때 나이 오

Fig. 6. Hatching date of *Limanda yokohamae* calculated from the number of growth increments in otoliths.

차는 크지 않을 것으로 보인다.

문치가자미는 대부분 부화 후 52일 정도 지나면 이차성장핵 (secondary growth center)이 형성되며, 이 이후에는 부위별로 성장속도가 달라지고 성장선 폭도 넓어진다. 이와 같이 부화 후 이차성장핵이 형성되는 기간이 48~56일로 변이가 크지 않는 것은 본 연구지역이 반폐쇄성 해역으로 대부분의 개체가 유사한 환경 조건하에서 성장하였기 때문인 것으로 판단된다. 가자미류인 *Pleuronectes americanus*나 *Microstomus pacificus*의 경우에도 이석의 이차성장핵이 관찰되는데 이 연구에서는 이차성장핵이 치어가 변태를 마치고 바닥으로 정착하면서 생긴다고 보고되었다 (Christopher *et al.*, 1993; Ambrose *et al.*, 1993). 이차성장핵이 관찰되는 다른 어류의 이석에서도 이차성장핵은 변태 이후 형성되는 것이 보고되어 (Nishimura and Yamada, 1984; Lee and Byun, 1996), 이차성장핵까지의 일륜수는 변태까지의 기간을 나타내는 지표로 이용될 수 있다 (Campana, 1984). 어류의 치어기에는 지느러미 등의 다른 골격 형성에 주로 집중되었던 탄산칼슘 성분이 변태를 마친 후 여분의 성분이 체장과 이석 성장으로 전이되며, 이 시기에 체형과 행동양식이 변화됨에 따라 이석에 이차성장핵이 생성되

고, 바닥 정착 후 환경과 먹이섭식에 적응하여 이석 성장이 빨라지고 일일성장선 폭도 넓어지는 것으로 판단된다.

조사시간 동안 문치가자미 유어는 2월에 채집되기 시작하여 4월까지 출현하였다. 2월에 채집된 유어는 부화 후 평균 77 ± 3 일 되어, 변태기를 마친 것으로 보이는 2차 성장핵이 생긴 때의 52 ± 1.4 일에 비하여 15일 정도가 지났다. 본 연구에서는 한 달 간격으로 채집하여 1월의 채집시기와 2월 채집시기 사이에 변태직후 유어들이 조사해역에 가입되었으나 채집되지 않았을 가능성이 있다. 3월의 미세성장선수는 84 ± 8 개로, 2월에 비하여 평균 7개가 많았다. 2월의 성장선수의 최소값은 73개, 3월에는 64개로, 계속 가입되는 것을 알 수 있다 4월에는 평균 125 ± 4 개로, 3월에 비하여 41개가 많아, 조사해역에는 2월에서 3월 사이 유어들이 천해역으로 들어오는 것으로 판단된다. 채집된 유어의 최대성장선수는 130개, 최대전장은 57.6 mm로, 문치 가자미 유어는 조사해역에 2개월 정도 자란 후 깊은 곳으로 이동하는 것으로 판단된다.

천해역이나 조간대 지역은 수온, 염분의 변화 폭이 매우 심하고 파도와 조석작용 및 부유물질의 농도가 높아 어류가 서식하기에는 많은 에너지가 요구되는 단점이 있지만(Allen, 1982; Lasiak, 1984), 상대적으로 먹이가 풍부하고 햇빛으로부터 열을 쉽게 얻어 신진대사가 활발히 일어날 수 있고 포식자로부터 보호되는 장점이 있어 유어들이 보육장으로 이용한다(Ayvazian and Hyndes, 1995). 특히, 본 연구지역은 군데군데 잘피가 자라고 있는데, 잘피는 저질을 안정시키고, 파랑의 힘을 약화시키고, 포식자로부터의 은신처의 역할을 하며 먹이생물이 많은 곳으로(Klumpp *et al.*, 1992; 팍, 1997) 문치가자미가 유어기를 보내기에 적합한 곳으로 보인다.

Gompertz 성장식으로 추정된 부화시의 체장(L_0)은 3.39 mm로서 김 등(1983)의 연구에서의 2.72 mm 보다 다소 크게 추정되었다. 부화시기는 11월말에서 1월초까지로 대부분 12월에 부화되었다. 문치가자미는 수온 $7.2 \sim 9.2^\circ\text{C}$ 에서 부화기간이 약 15일 정도 소요(Yusa, 1960)된 것을 고려하면, 주 산란기는 11월 중순과 하순이다. 체장의 성장률은 부화 후 70일 때는 성장률이 0.35 mm/d, 120일 때는 0.55 mm/d로 이 기간동안 계속 증가하였다. 문치가자미가 천해역에서 자라는 시기는 수온이 상승하고 먹이도 많아지는 계절로, 성장률도 계속 증가하는 것으로 판단된다.

적 요

가덕도 조간대 천해역에서 1998년 1월부터 12월까지 매월 갯후리그물(망목: 5 mm)로 채집한 문치가자미(*Limanda yokohamae*) 유어의 이석에 나타나는 미세구조와 일륜수를 관찰하여 연령 및 초기성장을 분석하였다.

문치가자미의 유어는 2월에서 4월까지 출현하였고 평균체장은 2월에 22.6 ± 1.77 mm (\pm SD), 3월에는 23.6 ± 3.86 mm, 4월에는 38.2 ± 8.38 mm였다.

이석의 핵 직경은 $18 \sim 21 \mu\text{m}$ 이었으며 부화정지선 이후부터는 좁은 동심원상의 성장선이 생성되고, 부화 후 48~56일이 지나면 이차성장핵이 형성되었다. 이 시기에 치어가 변태를 마치고 저서생활을 시작하여 천해역으로 이동하는 것으로 추정되었다. 이후부터는 성장속도가 빨라지고, 특히 전단부와 후단부의 성장이 빨라졌다.

일륜수로부터 역추산한 부화일은 11월 말에서 1월 초까지로 주로 12월에 부화되었다.

체장(L)은 이석의 장반경(R)에 대하여

$$L = 0.055 R + 5.81 \quad (r^2 = 0.88)$$

로 회귀되었으며, 체장과 일륜수를 이용한 Gompertz 성장식은

$$L_t = 3.39 e^{4.51(1 - e^{-0.0067t})} \quad (r^2 = 0.81)$$

로 추정되었다. 체장의 성장률은 부화 후 70일 때는 0.35 mm/d에서 120일 때는 0.55 mm/d로 자라면서 계속 성장률이 증가 추세를 보였다.

인 용 문 헌

- Allen, L.G. 1982. Seasonal abundance, composition and productivity of the littoral fish assemblage in upper Newport Bay, California. *Fish. Bull.*, 80 : 769~790.
- Ambrose, J.Jr., L.S. Sherry and F.D. Melinda. 1993. Early growth, behavior, and otolith development of the winter flounder *Pleuronectes americanus*. *Fish. Bull.*, 91 : 65~75.
- Ayvazian, S.G. and G.A. Hyndes. 1995. Surf zone fish assemblages in south-western Australia: do adjacent nearshore habitats and the warm Leeuwin current influence the characteristics of the fish fauna?. *Mar. Biol.*, 122 : 527~536.
- Campana, S.E. 1984. Lunar cycles of otolith growth in the juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. *Mar.*

- Biol., 80 : 239~246.
- Campana, S.E. and J.D. Neilson. 1982. Daily growth increments in otoliths of Starry flounder (*Platichthys stellatus*) and the influence of some environmental variables in their production. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39 : 937~942.
- Christopher, L.T., F.M. Douglas and M.H. Phillip. 1993. Relationships between otolith microstructure microchemistry and early life history events in Dover sole, *Microstomus pacificus*. Fish. Bull., 91 : 732~753.
- Klumpp, D.W., Salita-Espinosa, J.S. and M.D. Fortes. 1992. The role of epiphytic periphyton and macroinvertebrate grazers in the trophic flux of a tropical seagrass community. Aquat. Bot., 43 : 327~349.
- Lasiak, T.A. 1984. Structural aspects of the surf-zone fish assemblage at King's Beach, Algoa, South Africa: Long-term fluctuations. Estuarine, Coastal and Shelf Sci., 18 : 161~168.
- Lee, T.W. and J.S. Byun. 1996. Microstructural growth in otoliths of conger eel (*Conger myriaster*) leptocephali during the metamorphic stage. Mar. Biol., 125 : 259~268.
- Lee, T.W. and K.S. Lee. 1989. Daily growth increment and lunar pattern in otolith of the eel, *Anguilla japonica*, in the fresh water. Bull. Korean Fish. Soc., 22 : 36~40.
- Nishimura, A. and J. Yamada. 1984. Age and growth of larval and juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), as determined by otolith daily growth increments. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 82 : 191~205.
- Radtke, R.L. and M.D. Scherer. 1982. Daily growth of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) larvae in the Plymouth Harbor Estuary. In: 5th Annual Larval Fish Conference. La. Cop. Fish. Res. Unit, 1~5.
- Solomon, G.M. Sano, M. Shimizu and Y. Nose. 1987. Age and growth of the pleuronectid flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi, 53(5) : 711~716.
- Stevenson, D.K. and S.E. Campana. 1992. Otolith Microstructure Examination and Analysis. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 117, 126 pp.
- Yamada, U., M. Tagawa, S. Kishida and K. Honjo. 1986. Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea. Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 501 pp.
- Yusa, T. 1960. Difference of structures of eggs and larvae between *Limanda yokohamae* Gunther and *Limanda schrencki* Schmidt. Bull. Mar. Biol. Station Ashamushi, 10(2) : 127~131.
- 강용주 · 이택열 · 이병돈. 1985. 문치가자미, *Limanda yokohamae*의 생식기구 및 개체군 동태. 2. 개체군 동태. 한국수산학회지, 18(3) : 261~265.
- 곽석남. 1997. 광양만 대도주변 잘피밭의 생물상과 어류의 섭식생태. 부경대학교 박사학위논문, 411 pp.
- 김용억. 1972. 가자미아과 어류의 체장과 체중의 관계. 부산수대연보, 14(1) : 68~71.
- 김영혜 · 강용주 · 배인주. 1991. 문치가자미, *Limanda yokohamae*의 연령과 성장. 한국어류학회지, 3(2) : 130~139.
- 김용억 · 명정주 · 박지상. 1983. 문치가자미의 난발생과 부화자어. 한국수산학회지, 16(4) : 389~394.
- 김익수 · 윤창호. 1994. 한국산 가자미아과 어류의 분류학적 연구. 한국어류학회지, 6(2) : 99~131.
- 박종수 · 청수성. 1991. 동경만산 문치가자미 *Limanda yokohamae*의 자원량 변동의 해석. 한국수산학회지, 24(1) : 1~8.
- 이택열 · 강용주 · 이병돈. 1985. 문치가자미, *Limanda yokohamae*의 생식기구 및 개체군 동태. 1. 생식기구. 한국수산학회지, 18(3) : 253~261.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울. 727pp.

Received March 20, 1999

Accepted May 4, 1999