

이석 윤문 및 채집시기를 이용해 분석된 남해 멸치 (*Engraulis japonicus*)의 연령과 성장특성

이해원 · 황선도¹ · 김희용^{2,*}

국립수산과학원 수산자원연구센터, ¹국립해양생물자원관, ²국립수산과학원 남해수산연구소

Age and Growth Characteristic of Pacific Anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Southern Waters of Korea Based on the Year Ring of Otolith and Collection Date by Hae Won Lee, Sun Do Hwang¹ and Heeyong Kim^{2,*}
(Fisheries Resources Research Center, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53064, Republic of Korea; ¹National Marine Biodiversity Institute of Korea, Seocheon 33662, Republic of Korea; ²South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea)

ABSTRACT In order to understand the age and growth characteristics of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, the 506 otoliths of individuals collected in the southern waters of Korea in 2004 were analyzed. Monthly age of anchovies was estimated based on the age determined through the year rings and their collection date. The growth parameters obtained using the monthly fork lengths were a theoretical maximum body length of 132.9 mm, a growth coefficient of 0.1079/month and a theoretical age of 0.0262 month when the fork length is zero. The growth equation of von Bertalanffy presented by the growth parameters was $L_t = 132.9(1 - e^{-0.1079(t-1.0262)})$. The estimation of growth parameters based on the monthly age established through year ring and collection date was deemed appropriate for understanding the growth characteristics of anchovies.

Key words: *Engraulis japonicus*, otolith, collection date, monthly age, age and growth

서 론

멸치의 연령과 성장에 관한 연구는 일일 성장특성을 이용한 연구가 대부분을 차지하고 있으며(Nihira and Tominaga, 1999; Yukami *et al.*, 2008; Cerna and Plaza, 2016), 우리나라에서도 Cha (1990)에 의해 일륜을 이용한 멸치 치어의 초기성장에 관한 연구가 수행되었다. 일일 성장특성을 이용한 경우와는 달리, 연 1회 형성되는 비늘의 윤을 이용하여 멸치의 연령이 추정되거나(Hayashi and Kondo, 1957), 월별 채집된 개체들의 체장빈도분포를 이용하여 월별 평균체장을 구하고 월령에 따른 성장 매개변수를 추정하는 경우도 있다(Ohshimo, 2009). 하지만, 우리나라에서는 아직까지 일륜이나 연륜을 이용하여 멸치 성어의 연령과 성장특성이 정리된 바가 없다.

일본의 멸치는 봄과 가을에 산란되는 계군으로 나누어 연령을 추정하며, 두 발생군 모두 수명은 약 1.5년으로, 최대 체장은 13~14 cm 전후로 나타났으며, 태평양 북부 멸치는 수명이 3세로, 태평양 중부와 남부에 비해 성장이 느리다고 보고되어(Yamada *et al.*, 2007) 발생군별, 해역별 개체성장이 다를 수 있다는 것을 시사한다. 산란장이 전 연안에 분포하고(Lim *et al.*, 1970; Lim and Ok, 1977), 산란기간이 봄부터 늦여름까지 이어지는(Kim and Kang, 1992; Cha *et al.*, 2008; Ko *et al.*, 2010) 우리나라 멸치도 산란기간을 고려한 연령추정 방법과 해역에 따라 성장특성을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 우선, 남해 연안에서 채집된 멸치를 대상으로 이석의 윤문 및 개체별 채집시기를 기준으로 멸치 연령을 추정하는 방법을 제시하고, 이러한 방법을 통해 짧은 기간에 성장하는 멸치의 연령과 성장 매개변수를 도출하여 멸치의 성장특성을 정리하고자 하였다.

저자 직위: 이해원(해양수산연구소), 황선도(관장), 김희용(해양수산연구소)
*Corresponding author: Heeyong Kim Tel: 82-61-690-8941,
Fax: 82-61-686-1588, E-mail: heeyongkim@korea.kr

재료 및 방법

멸치는 어업별, 시기별 어획대상이 되는 개체크기가 다르기 때문에 2004년에 남해 연안에서(Fig. 1) 조업하는 자망, 정치망, 권현망어업 등 다양한 어업에 의해 채집된 멸치를 이용하여 분석하였다(Table 1). 채집된 멸치 중 이석분석에 이용된 개체는 총 506개체이며 윤문판독의 통일성을 위해 우측 이석만을 이용하였다.

멸치 이석은 자체가 충분히 얇고 현미경상에서 윤문구조의 판독이 가능하여 고정 없이 실체현미경을 이용하여 판독하였다. 이석 중심부의 초점에서 후두부 쪽(posterior) 연변까지 최장축을 측정 기준선으로 하여 이석경(R)을 읽었으며, 실체현미

경(SZ×16, SZ-PT)과 영상분석시스템(Image analyzer, Image-Pro Plus 2.0)을 이용하여 이석경과 각 윤문까지의 거리(r_n)를 측정하였다(Fig. 2). 윤경판독 시에는 양방향의 윤의 개수가 동일한지 확인하면서 위륜의 여부를 판단하였고, 투명대에서 불투명대로 이행되는 경계는 비교적 명확하여 윤문판독의 오차를 줄일 수가 있어, 이 경계를 윤문으로 판독하였다. 윤문이 형성되는 시기와 그 계절적인 주기성을 파악하기 위해 이석 연역지수(Marginal Index (MI) = $(R - r_n) / (r_n - r_{n-1})$)의 월 변화를 검토하였으며, 이를 생식소숙도지수(Gonadosomatic Index (GSI) = $GW/BW \times 10^3$) 및 속도의 월 변화와 비교하여 윤문 형성시기를 추정하였다.

채집된 멸치의 연령은 대부분 2세 이하로 연령별 가량이 채장

Table 1. Number of individuals and size range of *E. japonicus* collected monthly by a fishery and an ocean area in 2004. Only the individuals used in otolith analysis are presented

Year	Month	Num. of ind.	Range of FL (mm)	Fishery (Region)
2004	2	33	65.8~86.5	Drag net (Busan)
2004	4	31	81.9~106.3	Set net (Yeosu)
2004	5	97	60.2~135.7	Gill net (Busan), Set net (Yeosu, Tongyeong)
2004	6	109	90.2~124.7	Set net (Yeosu, Tongyeong)
2004	7	42	89.3~107.2	Drag net (Tongyeong)
2004	8	48	35.7~108.7	Drag net, Set net (Tongyeong)
2004	9	31	98.7~114.0	Drag net (Tongyeong)
2004	10	56	38.9~122.0	Drag net, Set net (Tongyeong)
2004	11	32	73.2~115.9	Drag net, Set net (Tongyeong)
2004	12	27	102.1~116.4	Drag net (Yeosu)
Total num. & size range		506	38.9~135.7	

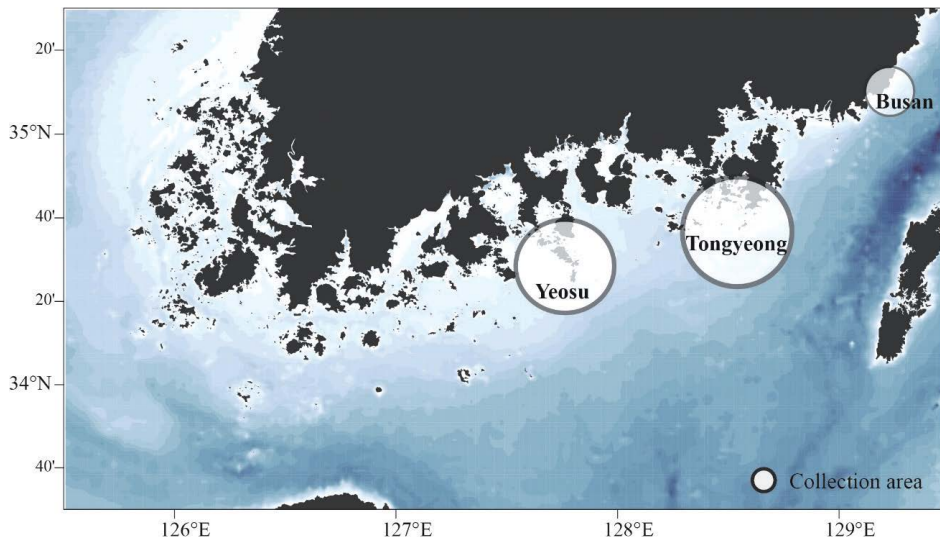


Fig. 1. Collection areas of *Engraulis japonicus* by gill net (Busan), set net (Yeosu, Tongyeong) and drag nets (Busan, Yeosu, Tongyeong) in the southern waters of Korea in 2004.

(Fork Length, FL)을 이용해 개체의 성장 매개변수를 추정하기 위한 정보의 수가 1개뿐이므로 성장 매개변수 추정이 불가능하다. 게다가 성장이 빠른 멸치의 생물학적 특성을 고려할 때, 개체별 월령을 기준으로 성장 매개변수를 추정하는 방법을 고려할 필요가 있다. 멸치의 월령을 추정하기 위해 본 연구에서는 우선, 이석의 윤문 관찰로 연령 형성시기와 연령을 결정하고, 윤문의 형성시기를 기준으로 채집시기까지의 기간을 합산하여 월령을 추정하였다(Fig. 3). 만약, 윤문의 형성시기가 3월이며, 1세의 개체가 8월에 채집된 경우, 그 개체의 월령은 17개월(12개월(1세)+5개월(4~8월))로 추정할 수가 있다. 다음으로 추정된 월령과 이석 윤경과의 관계식을 이용하여 월령별 윤경을 계산하였고, 끝으로 관찰된 윤경과 가량이 체장과의 관계식에 앞서 산출된 월령별 윤경을 대입하여 월령별 체장을 산출하였다. 최종적으로 산출된 월령별 체장을 이용하여 추정된 각각의 매개변수 값들에 의해 von Bertalanffy 성장식 ($L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$)을 도출하였다.

결과 및 고찰

멸치 이석 연역지수의 월 변화를 보면(Fig. 4a), 동계인 2월에 최소값을 보인 후 하계인 8월까지 최대로 증가하였다가 다시 감소하여 멸치 이석에서 투명대가 연 1회 형성된다고 판단된다.

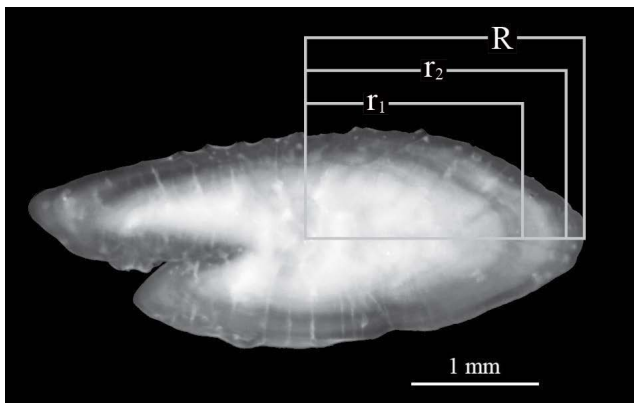


Fig. 2. The transverse section of otolith of *E. japonicus* (FL 132 mm) collected by a set net around Yeosu. R and r_n indicate otolith radius and ring radii, respectively.

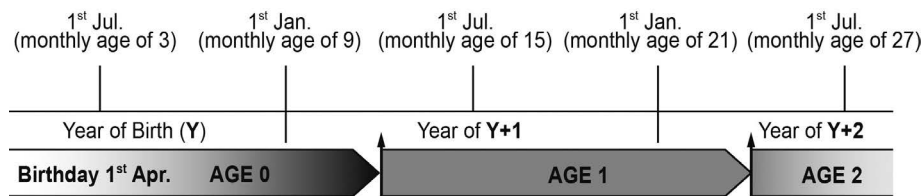


Fig. 3. Synoptic representation of the age (year and monthly) allocation according to the conventional birth date at 1st April.

생식소속도지수는(Fig. 4b), 2월에 모두 미숙개체로 생식소 무게 측정이 안 되어 3월부터 증가하기 시작한 것으로 판단되며 4월에 최고값을 보이다가 8월부터 감소하기 시작하여 10월에 최소값을 보였다. 또한, 멸치 암컷 생식소 속도는(Fig. 4c), 5월부터 약 9.6%의 성숙개체가 출현해 산란기가 시작되며, 6월부터 방중개체가 나타나기 시작하여 9월까지 이어져 9월에 산란을 마치는 것으로 나타났다. 연역지수, GSI 및 성숙도의 월 변화를 통해 연역지수가 가장 낮게 측정된 2월보다 GSI가 급격히 증가하기 전, 즉 생리적 변화가 뚜렷하지 않은 3월까지 투명대의 형성이 진행되어 끝나는 것으로 판단된다. 결국, 3월에 연륜이 형성되고 GSI가 급격히 증가한 4월에 불투명대가 형성되기 시작하여 4월 1일을 새로운 불투명대가 형성되는 시점(conventional birthday)으로 추정하였다.

멸치 개체별 월령과 윤경과의 관계는 월령의 증가에 따라 평균윤경이 선형적으로 증가하여 멸치의 성장에 따라 이석 윤경이 증가한다는 것이 확인되어(Fig. 5a) 그 관계식을 이용하여 월령별 표준윤경을 계산하였다. 또한, 이석경(OR)과 가량이 체장사이의 비례관계식에(Fig. 5b) 월령별 표준윤경을 대입하여 개체별 월령에 따른 가량이 체장을 역추산하였다. 역계산에 의해 추정된 월령별 가량이 체장 값을 사용하여, Walford 정착도법으로 구한 성장 매개변수로부터 von Bertalanffy의 체장성장식을 나타내면, $L_t = 132.9 (1 - e^{-0.1079(t-1.0262)})$ 였다(Fig. 6). 여기서 L_t 는 월령 t 에서의 멸치의 체장이며, 이론적 최대 체장은 132.9 mm, 성장계수는 0.1079/month, 체장이 0일 때 이론적 연령은 1.0262월이었다.

멸치 자·치어기의 미세윤문을 분석한 결과(Nihira and Tomimaga, 1999; Hwang *et al.*, 2006), 춘계 발생군과 추계 발생군 간 성장의 차이가 발생하여 두 발생군 간 동일한 성장특성을 적용하기가 어렵다. 게다가 이석의 연변부 길이를 측정하고 미세윤문에 의한 연령사정을 수행한 결과(Mitani, 1988; Yukami, 2008; Yasumi, 2014), 성장기간보다 적은 미세윤문 개수가 형성되어 멸치 성어의 연령형질로서 유효성을 확보하지 못했다. 또한 Namiki *et al.* (2010)에 따르면, 수온이 13°C 이하로 낮아질 경우, 일일 성장선의 형성이 제한되기 때문에 낮은 수온기를 경험한 개체는 연령에 맞는 일륜 추정이 어려울 수도 있다. 따라서 동계에 형성되는 연륜을 기준으로 1세가 되는 시점을 판단할 때, 동일한 연령의 개체라도 발생군에 따른 성장기간이 차이가 클

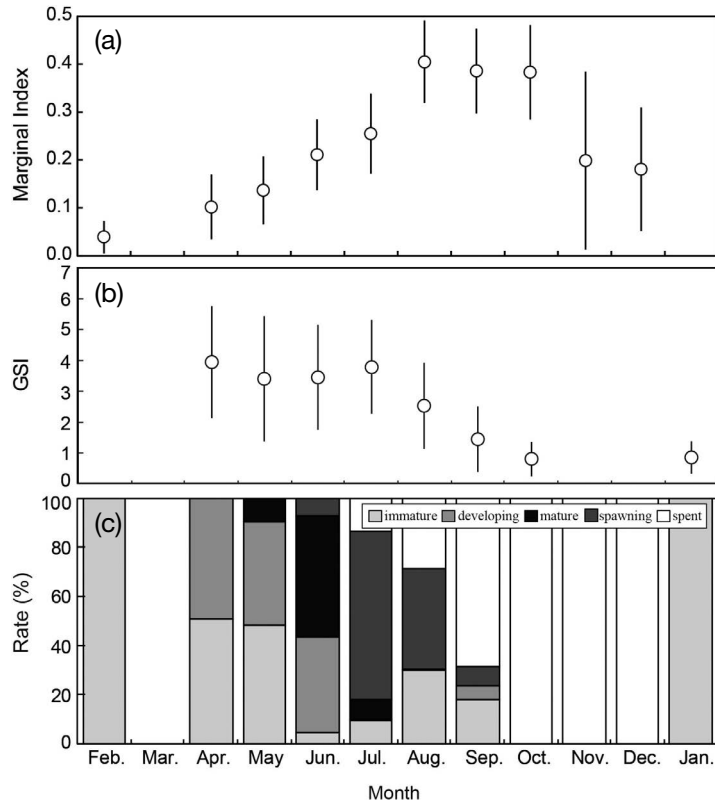


Fig. 4. Monthly variation of marginal indices of *E. japonicus*'s otolith (a), the gonadosomatic indices (b) and the maturing stage (c) of female *E. japonicus*.

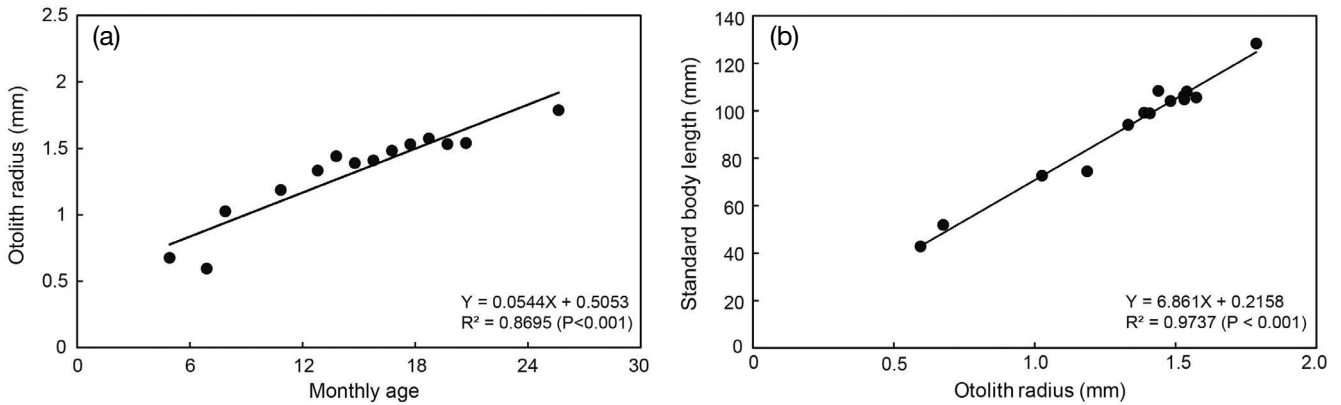


Fig. 5. Monthly change of mean otolith radius (mm) by a monthly age (a) and the relationship between mean otolith radius and fork length (FL) of *E. japonicus* (b).

수 있으므로 멸치의 연령사정은 산란에 의한 발생시기를 고려하여 판단해야 한다. 우리나라 멸치의 경우, 산란기가 다른 어종에 비해 길지만 아직까지는 계절적 발생군의 구분이 없어 하나의 발생군으로 성장특성을 분석할 수가 있다. 하지만, 우리나라를 제외한 대부분의 해역에서 연중 산란을 하는 멸치의 생물학적 특성에 따라 우리나라에서도 계절적인 발생군의 존재가 확인

된다면, 발생시기를 고려하여 성장특성을 분석해야 할 것이다.

일본의 멸치보다는 짧은 산란기를 가지는 우리나라 멸치의 경우에도(Kim and Kang, 1992; Kim and Lo, 2001; Cha *et al.*, 2008; Ko *et al.*, 2010) 초봄과 늦여름에 산란된 개체 간 성장기간의 차이로 인해 연륜 형성까지의 기간이 다를 수 있다. 또한, 채집된 멸치의 대부분이 2세 이하로 성장 매개변수의 추정이 어

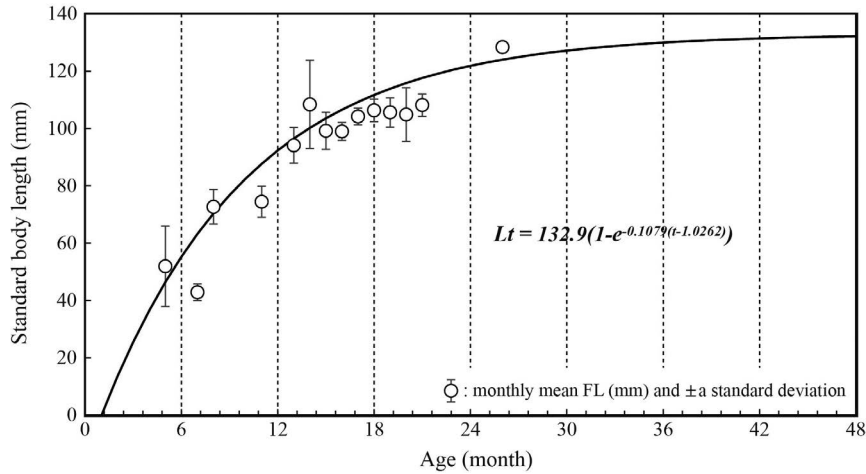


Fig. 6. Monthly change of mean fork length (mm) of *E. japonicus* and von Bertalanffy growth curves for the fork length. Vertical bar indicates the standard deviation of fork lengths by a monthly age.

렵다. 그러므로 멸치 성장특성 연구에 연륜에 의한 연령사정보다는 월별 개체들의 평균체장을 이용하여 성장매개변수를 추정하는 방법도 이용되고 있다(Ohshimo, 2009). 하지만, 월별 평균체장을 특정하기 위해서는 많은 표본개체가 필요하며, 매달 넓은 범위의 체장이 분포하고 여러 월령군이 섞여있는 멸치의 경우 월별 평균체장을 구분하여 선택하기가 어렵다. 그러므로 짧은 기간에 성장하는 멸치의 생물학적 특징을 고려하며, 월별 체장빈도에서 평균체장을 구하기보다 이석분석을 통해 결정된 연령과 채집시기를 고려한 월령의 추정방법은 멸치의 성장특성을 밝히는 데 유효한 방법으로 적용될 수 있다.

본 연구는 2004년에 채집된 멸치를 대상으로 분석된 결과로 현재 멸치자원의 연령 및 성장특성과의 비교 또는 자원변화에 대한 이전 근거를 제공할 필요가 있기 때문에 수행되었다. 추가적으로 우리나라 주변해역에서 수행되었던 멸치 난자치어 조사 결과(Kim, 1992; Lee et al., 1996; Yoo et al., 1999), 해역에 따라 차이는 있지만 늦가을이나 겨울철에도 자·치어가 출현한다고 보고되어 산란기의 재검토 및 계절별 발생군에 따른 연령과 성장특성 연구가 고려되어야 한다.

요 약

멸치의 연령 및 성장특성을 분석하기 위해 2004년에 남해 연안에서 채집된 개체들의 이석 506개를 분석하였으며, 운문에 의해 결정된 연령과 채집시기를 기준으로 멸치의 월령을 추정하였다. 월령별 가량이 체장을 이용하여 구한 성장 매개변수인 이론적 최대 체장은 132.9 mm, 성장계수는 0.1079/month였으며 체장이 0일 때의 이론적 연령은 1.0262월이었다. 이들 매개변수로 von Bertalanffy 체장성장식을 나타내면, $L_t = 132.9$

$(1 - e^{-0.1079(t-1.0262)})$ 였다. 연륜과 채집시기를 통해 설정한 월령 기준의 성장 매개변수 추정은 우리나라 멸치의 성장특성을 파악하기에 적절한 것으로 판단되었다.

사 사

이 논문은 2021년도 국립수산물학원 수산과학연구사업(R2021027)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

Cerna, F. and G. Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Mar. Freshwater Res.*, 67: 899-912. <https://doi.org/10.1071/MF15032>.

Cha, B.Y., W.S. Yang, J.I. Kim, E.K. Chu and J.S. Park. 2008. Spawning density and recruitment of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the southern sea of Korea in 2007. *Korean J. Ichthyol.*, 29: 190-197.

Cha, S.S. 1990. Age and growth of anchovy (*Engraulis japonica*) juvenile in the coastal waters of Chonnam, Korea. *Bull. Korea Fish. Soc.*, 23: 385-393.

Funakoshi, S. 1990. Studies on the reproduction mechanisms of Japanese anchovy *Engraulis japonica* (Houttuyn) in Enshu nada, Ise and Mikawa Bays. *Spec. Rep. Aichi Pref. Fish. Exp. Stn.*, 10: 1-208.

Hayashi, S. and K. Kondo. 1957. Growth of the Japanese anchovy - IV. Age determination with the use of scales. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 17: 31-64.

Hwang, S.D., M.H. Song, T.W. Lee, G.A. McFarlane and J.R. King. 2006. Growth of larval Pacific anchovy *Engraulis japonicus*

- in the Yellow Sea as indicated by otolith microstructure analysis. *J. Fish Biol.*, 69: 1756-1769. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01244.x>.
- Kim, J.Y. 1992. Relationship between anchovy, *Engraulis japonica*, egg and larval density and environmental factors in the eastern waters of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25: 495-500.
- Kim, J.Y. and Y.J. Kang. 1992. Spawning ecology of anchovy *Engraulis japonica* in the southern waters of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25: 331-340.
- Kim, J. and N.C.H. Lo. 2001. Temporal variation of seasonality of egg production and the spawning biomass of Pacific anchovy, *Engraulis japonicus*, in the southern water of Korea in 1983-1994. *Fish. Oceanogr.*, 10, 297-310.
- Ko, J.C., Y.I. Seo, H.Y. Kim, S.K. Lee, H.K. Cha and J.I. Kim. 2010. Distribution characteristics of eggs and larvae of the anchovy *Engraulis japonica* in the Yeosu and Tongyeong coastal waters of Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 22: 256-266.
- Lee, E.K., J.M. Yoo, S. Kim and Y.C. Lee. 1996. Vertical distribution of anchovy, *Engraulis japonicus* larvae in the Korea Strait. *Korean J. Ichthyol.*, 8: 47-56.
- Lim, J.Y. and I.S. Ok. 1977. Studies on the occurrence and distribution of eggs and larvae of anchovy in the Korean waters. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 16: 73-86.
- Lim, J.Y., M.K. Jo and M.J. Lee. 1970. The occurrence and distribution of the fish eggs and larvae in the Korean adjacent sea. *Rep. Fish. Res.*, 8: 7-29.
- Mitani, I. 1988. Characteristics of daily age composition of larvae of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the fishing ground in Sagami Bay. *Nippon Suisan Gakk.*, 54: 209-214. <https://doi.org/10.2331/suisan.54.209>.
- Namiki, S., H. Tanaka, S. Katayama, O. Funaki, I. Aoki and Y. Oozeki. 2010. Validation of daily increment formation in otoliths of immature and adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus*. *Fish. Sci.*, 76: 951-959. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0292-9>.
- Nihira, A. and A. Tominaga. 1999. Daily growth of Japanese anchovy larvae in the Kuroshio-Oyashio transition region. *Sci. Rep. Ibaraki Pref. Fish. Exp. Stn.*, 37: 55-59.
- Ohshimo, S. 2009. Biological characteristics of Japanese anchovy in the waters off northern and western Kyushu in Japan. *Cont. Fish. Res. Jpn. Sea Block*, 44: 51-60.
- Yamada, U., M. Okimura, H. Horikawa and T. Nakabo. 2007. Fishes and fisheries of the East China and Yellow Sea. Tokai Univ. Press, Kanagawa, Japan, p. 229.
- Yasumi, N. 2014. Validation of daily increments in the otolith microstructure of Japanese anchovy-adult on age determination. *Sci. Rep. Ibaraki Pref. Fish. Exp. Stn.*, 43: 9-15.
- Yoo, J.M., E.K. Lee and S. Kim. 1999. Distribution of ichthyoplankton in the adjacent waters of Yeosu. *J. Korean Fish. Soc.*, 32: 295-302.
- Yukami, R., I. Aoki and I. Mitani. 2008. Daily age of adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus* off eastern Honshu, Japan by otolith daily increment. *Fish. Sci.*, 74: 1348-1350. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2008.01665.x>.