

동해 강원도 연안 임연수어, *Pleurogrammus azonus*의 연령과 성장

양재형* · 윤병선 · 김종빈 · 최영민¹ · 박정호² · 이재봉² · 박기영³ · 이동진⁴

국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과, ¹고래연구센터, ²국립수산과학원 연근해자원과, ³강릉원주대학교, ⁴통계청

Age and growth of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea

Jae-Hyeong YANG*, Byoung-Sun YOON, Jong-Bin KIM, Young-Min CHOI¹, Jeong-Ho PARK²,
Jae-Bong LEE², Kie-Young PARK³ and Dong-Jin LEE⁴

Fisheries Resources and environment Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea

¹Cetacean Fisheries Institute, National Institute of Fisheries Science, Ulsan 44780, Korea

²Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

³Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University, Gangwon-Do 25457, Korea

⁴Gangneung District Offices of Statistics, Dongbuk Regional Offices of Statistics, Korea Statistics, Gangwon-Do 25502, Korea

The age and growth of *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea were determined, from monthly samples of commercial catches, caught by the gill net and set net fishery from January to December in 2008. Gonadosomatic index (GSI) began to increase in September, and reached the maximum between November and December. After spawning GSI began to decrease from January. The annuli of *P. azonus* are formed once a year, with the boundary between opaque and translucent zones forming from December to January. The relationships between fork length (FL) and body weight (BW) were $BW = 0.005 FL^{3.240}$ ($R^2 = 0.963$) for females and $BW = 0.006 FL^{3.238}$ ($R^2 = 0.946$) for males. The FLs at annuli formation in otoliths were back-calculated from the otolith-length relationship and were adjusted to von Bertalanffy growth curves to $FL_t = 70.54 (1 - \exp^{-0.099(t+1.188)})$ for females and $FL_t = 51.87 (1 - \exp^{-0.135(t+1.697)})$ for males. Until the age of 3 years, males grew faster than females; however, from the age of 4 years, females grew faster than males. In the future, we want to study the relationship between early growth and water temperature changes in the East Sea

Keywords : *Pleurogrammus azonus*, Okhotsk atka mackerel, Age, Growth, the East Sea

서론

임연수어(*Pleurogrammus azonus*)는 썸뱅이목

(Scorpaeniformes) 쥐노래미과 (Hexagrammidae) 에 속

하는 어종으로 우리나라 동해 중부 이북, 일본 쓰시마섬

*Corresponding author: yangjh159@korea.kr, Tel: +82-33-660-8522, Fax: +82-33-661-8513

이북, 사할린과 오희츠크해 주변의 수심 20~200 m의 암초지역에 무리를 지어 서식하는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2005). 임연수어는 저서성 어류로서 산란기는 10~1월이며(Lee et al., 2009), 산란시기가 되면 연안으로 이동하여 수심 6~30 m의 암초지대에 알을 낳아 덩어리를 형성하고 수컷이 알을 보호한다(Munehara and Markevich, 2003; NFRDI, 2004). 또한 봄철에 남하하는 임연수어는 주로 난바다곤쟁이류를 섭식하는 것으로 알려져 있다(Chae et al., 2008).

임연수어는 우리나라 동해안에서 자망, 정치망어업 등을 통해 주로 어획되며, 어획량은 1980-1990년대에 3.5천톤 이상이 어획 보였고, 점차 감소하여 2000년대 이후에는 약 1천톤이 어획되었다(Lee et al., 2009). 최근 어획량은 2011년에 100톤 미만의 어획량을 보였고, 2016년에는 3.5천톤으로 최고 어획량을 보여 어획량 변화가 크게 나타났다. 임연수어는 동해안에서 겨울철과 봄철에 어획량이 높은 어종으로, 크기에 따라 “가르쟁이, 세치”라는 방언으로 불리어지고 있으며, 어획량이 감소하면서 러시아를 통해 같은 속에 속하는 단기임연수어(*Pleurogrammus monopterygius*)를 수입하면서 현재에는 두 어종이 동일한 이름으로 불리고 있는 실정이다(NFRDI, 2004). 임연수어 어족자원이 감소함에 따라 단기임연수어의 수입이 증가하고 있으며, 이에 따라 임연수어의 지속적인 자원이용을 위한 효율적인 자원관리가 필요하다.

최근까지의 임연수어에 대한 국외의 연구동향을 보면, 일본 북부해역(Takashima et al., 2013; 2016)과 러시아 연안(Novikov et al., 2002; Fadeev, 2005)에서의 성숙과 산란에 관한 연구와 일본 북부해역에서의 산란행동(Munehara and Markevich, 2003), 식성(Takemura and Yamane, 1953; Chae et al., 2008), 수온에 변화에 따른 성장연구(Morita et al., 2015), 과학어탐을 이용한 자원량 연구(Takashima, 2006) 등이 수행되었다. 국내에서는 성숙과 산란(Lee et al., 2009)에 대한 연구만 수행되어 임연수어 자원의 지속적인 이용과 자원관리를 위해서는 더욱 많은 자원생태 기초연구가 필요한 실정이다. 감소된 임연수어 자원의 지속적이고 합리적으로 관리하기 위해서는 과학적인 자원평가를 통해 자원관리 방안이 모색되어야 하는데, 이를 위해서는 임연수어의 연령과 성장, 성숙과 산란, 식성 등 생태학적 특성이 구명되어야 한다.

본 연구는 우리나라 동해안에서 어획되는 임연수어의 이석을 연령형질로 사용하여 연령 및 성장 패턴을 파악, 임연수어의 자원을 효율적으로 이용·관리할 수 있는 방안을 모색하고자 자원생태학적 특성치 자료를 제공하는 것에 목적을 두고 있다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용한 임연수어 시료는 2008년 1~12월까지 한국 동해안의 강원도 양양군과 강릉시 주문진 연안에서 자망과 정치망에 의해 어획된 것을 매월 30~100개체씩 총 612개체를 채집하였다(Fig. 1). 채집한 시료는 실험실로 운반 후 암·수를 구분하여 가랑이체장(Fork length, FL) 0.1 cm, 체중(Body weight, BW) 0.1 g, 그리고 생식소중량(Gonad weight, GW) 0.01 g을 측정하였다.

임연수어의 산란기를 간접적으로 추정하기 위하여 생식소중량지수(GSI)를 조사하였으며, 다음 식 (1)과 같다.

$$\text{생식소중량지수 (GSI)} = \frac{\text{생식소중량 (GW, g)}}{\text{체중 (BW, g)}} \times 10^3 \quad (1)$$

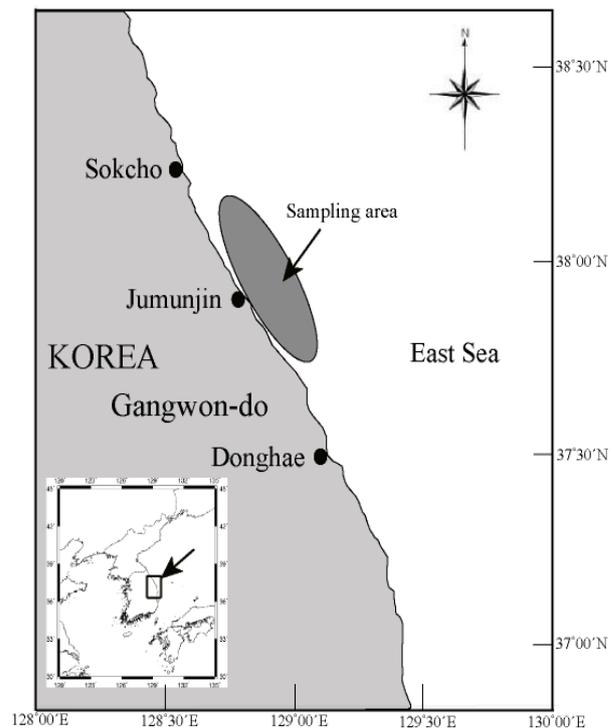


Fig. 1. Sampling area of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* caught by gill net and set net in the coastal of Gangwon-do, East Sea.

임연수어의 연령분석을 위하여 연령형질인 이석을 이용하였고, 이석은 두개골을 절개하여 좌우 한 쌍을 추출하였다. 추출한 이석은 표면의 유기물을 제거하고, 50% 알코올에 세척하여 보존하였으며, 연령사정이 용이하도록 sandpaper(사포)로 핵 주변까지 연마하여 관찰하였다. 이석은 투명대와 불투명대가 교대로 나타나는데 투명대에서 불투명대로 이행하는 경계가 판독하는데 있어 오차가 없고 명확히 나타나 윤문으로 간주하였고, 이석반경(R)과 각 윤문까지의 거리는 실체현미경(Zeiss, 2000C)과 영상분석시스템(iSolution Lite)을 이용하여 측정하였다.

이석반경(R)은 이석중심으로부터 후단부 상단에 두 번째 모서리를 기준으로 하여 모두 동일하게 직선거리로 측정하였고, 윤경(r_n)은 이석중심(Focus)으로부터 각 윤문까지의 직선거리로 μm 단위까지 측정하였다(Fig. 2).

임연수어 이석의 윤문형성시기와 그 계절적 주기성에 의한 연간 윤문형성횟수를 알아보기 위해 연변부연역지수(Marginal index, MI)를 월별로 분석하여 윤문이 형성되는 시점을 검토하였고, 계산식은 다음과 같다.

$$\text{연변부연역지수 (MI)} = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (2)$$

여기서, R은 이석반경, r_n 은 윤경으로 이석중심으로부터 n번째 윤문까지의 거리이다.

윤문대응성을 검토한 후 임연수어 이석에 나타나는

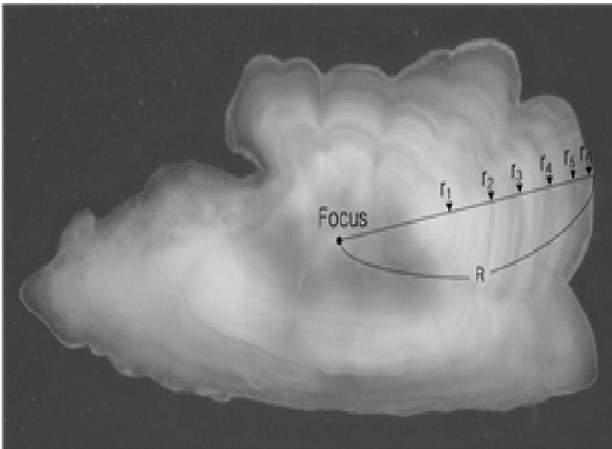


Fig. 2. Photograph of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* otolith. Count of annual mark.

윤문을 연륜으로 인정하여 가랑이체장과 윤경의 관계식을 구하였고, 관계식을 이용하여 각각의 연령별 역계산 체장(L)을 구하였다. 그리고 연륜과 역계산된 가랑이체장의 평균은 다음 식으로 가중치를 주어 계산하였다.

$$\bar{x}_{weighted} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

임연수어의 성장은 역계산된 연령별 평균가랑이체장을 사용하여 von Bertalanffy(1938) 성장식으로 구하였고, 성장식의 파라미터는 Walford 정착도법(Walford and Lionel, 1946)으로 추정된 추정치를 초기값으로 EXCEL(Microsoft, Redmond, Wa, USA)의 Solver를 사용하여 비선형회귀분석방법 (Nonlinear regression)에 의해 추정하였다.

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (4)$$

여기서, L_t 는 연령 t시의 체장, L_{∞} 는 이론적 최대체장, K는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다.

임연수어의 암수간 전장과 체중의 상대성장 비교는 공분산분석(ANCOVA)을 이용하였으며, 각 연령에 따른 성장차이와 암·수간의 연령별 성장차이는 paired t-test, 표준 체장과 체중의 차이는 t-test를 통해 차이 유무를 검정하였고, SPSS 12.0 통계패키지를 이용하여 분석하였다.

결 과

임연수어의 체장조성

연구기간 동안 채집된 임연수어는 총 612개체로 그 중 암컷은 310개체(50.7%), 수컷은 302개체(49.3%)로 암컷과 수컷의 비율에 유의한 차이를 보이지 않았다 (T-test, $P>0.05$). 임연수어의 평균 가랑이체장은 암컷 30.6 cm(19.3~47.1 cm), 수컷 29.1 cm (17.5~42.0 cm)로 유의한 차이가 없었지만 산란기인 9~12월이 되면 암컷이 평균 36.0 cm, 수컷이 평균 33.1 cm로 암컷의 가랑이체장이 더 크게 나타났다(Fig. 3, T-test, $P=0.001$).

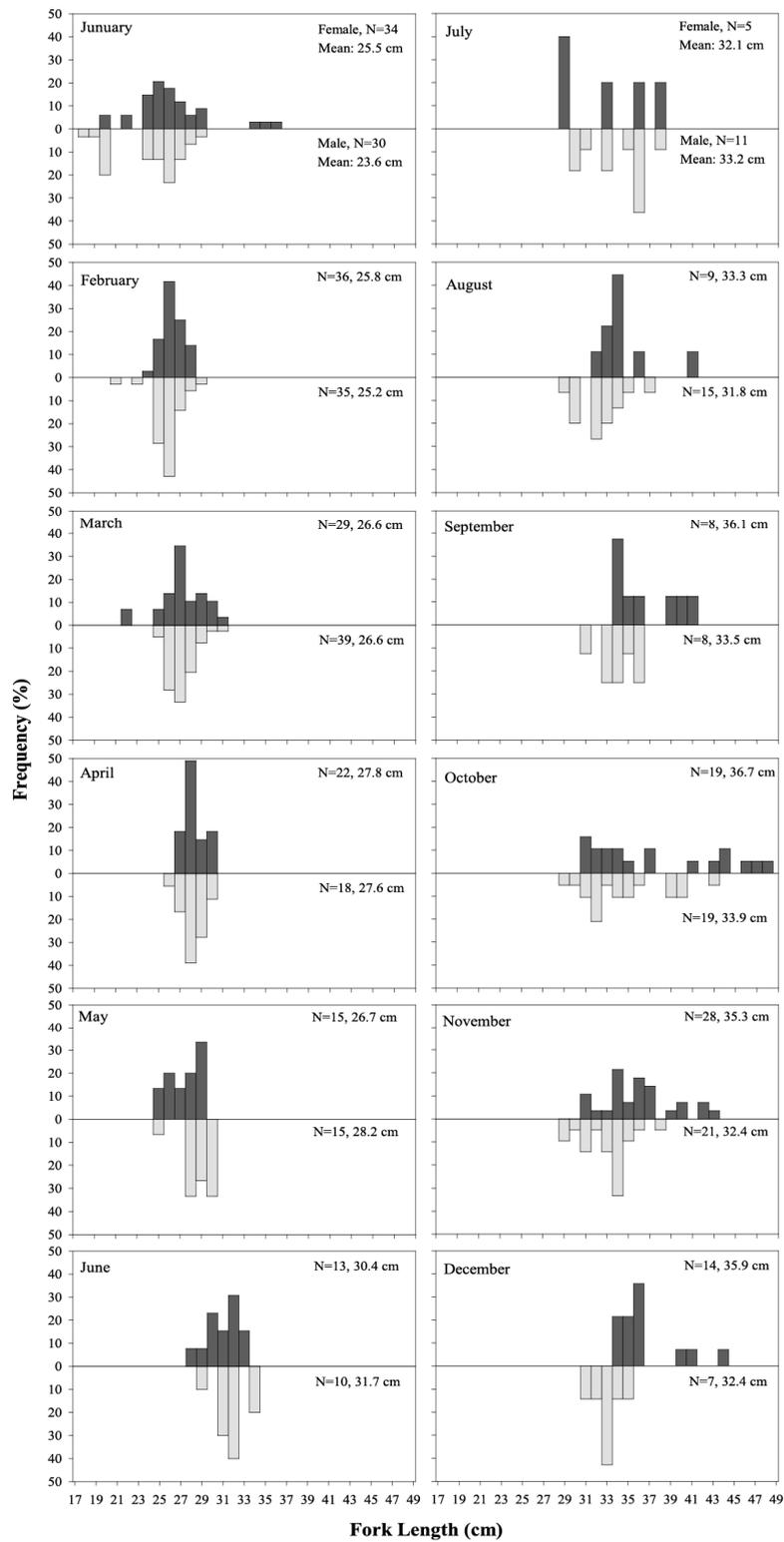


Fig. 3. Length frequency distribution of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea, East Sea from January to December 2008.

임연수어의 생식소속도지수 (GSI)

임연수어의 산란기 추정을 위해 생식소속도지수의 월 변화를 조사한 결과(Fig. 4), 암컷은 9월 이후 급격하게 증가하여 11월에 최댓값을 보인 후 감소하여 2월에 최저값을 나타내었다. 수컷은 1~5월에는 낮은 값을 보이다가 5월부터 상승하기 시작하였으며, 9월이 되면서 급

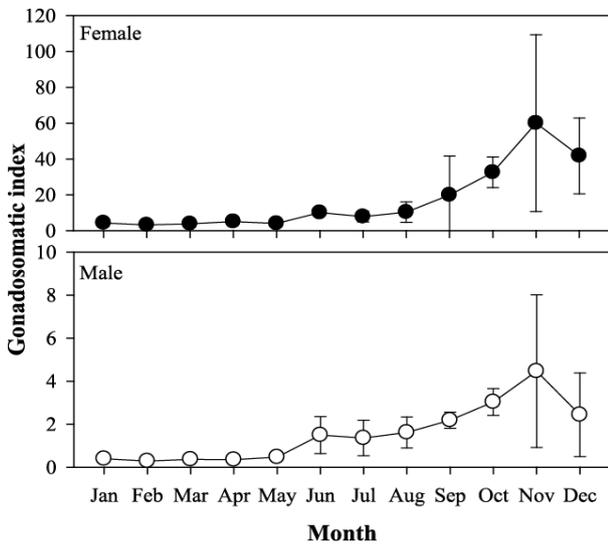


Fig. 4. Monthly change in gonadosomatic index (GSI) of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea (Circles and vertical bars denote mean and standard deviation range, respectively).

격히 상승하여 11월에 최댓값, 2월에 최솟값을 나타내었다. 따라서 생식소속도지수를 월변화를 통해서 추정된 임연수어의 주산란기는 11~12월로 추정되었다.

임연수어의 연령분석

임연수어의 오른쪽 이석을 사용하여 이석반경(R)을 이석중심으로부터 후단부 상단에 두 번째 모서리를 기준으로 측정하였다. 총 612개의 이석 중 윤문군의 윤문 대응성에서 크게 벗어난 것과 연마과정 중 파손된 것 및 불투명대와 투명대의 경계가 불분명한 것을 제외하고, 암컷 214개와 수컷 210개로 총 424개의 이석을 판독하여 결과로 제시하였다.

이석에 형성된 윤문의 판독 정확도와 위류, 이상형성륜의 판별을 위해 이석경과 각 윤문군별 대응성을 검토한 결과(Fig. 5), 각 윤문은 일정한 폭을 두고 구분되어 인접한 윤문과 중복됨이 없이 분리가 잘 되었으며, 이석반경과 윤경간에는 이석반경이 커질수록 윤경이 커지는 직선관계를 이루었다. 따라서 이석이 임연수어의 연령형질로서 이용가능하며, 이석의 윤문을 연륜으로 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

윤문의 형성시기 및 연간 형성횟수를 파악하기 위해 월별 연변부연역지수의 변화를 분석한 결과(Fig. 6), 암컷은 11월에 최댓값을 보였고, 1월에 가장 낮은 값을

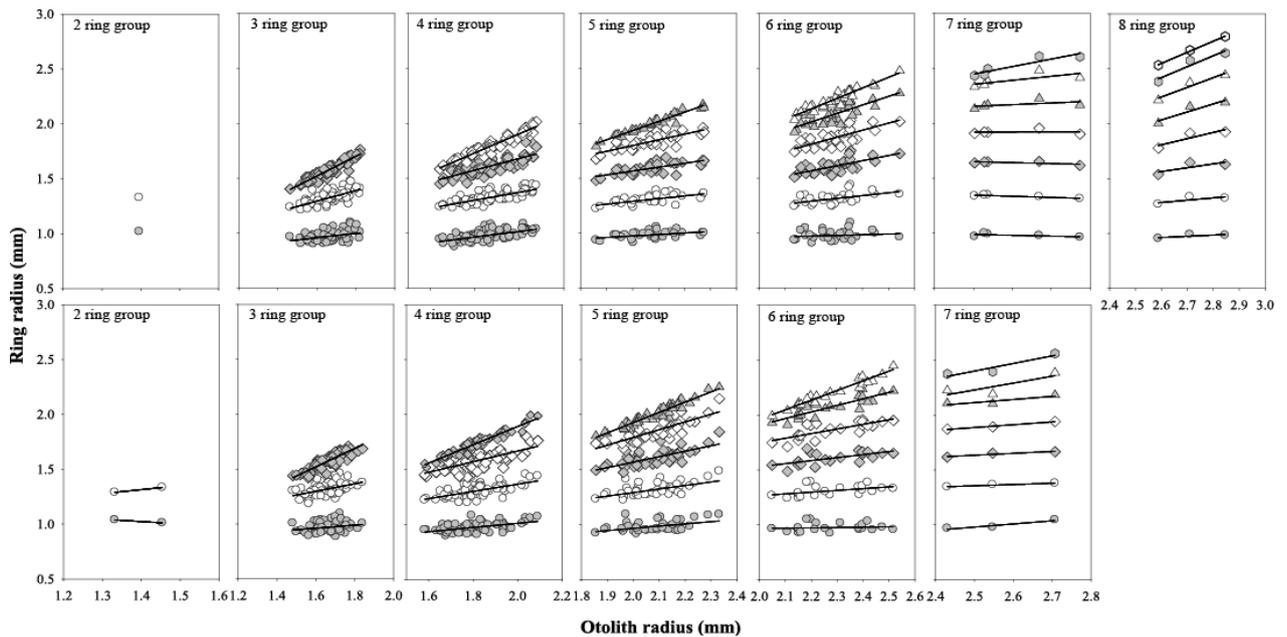


Fig. 5. Relationship between otolith radius of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea.

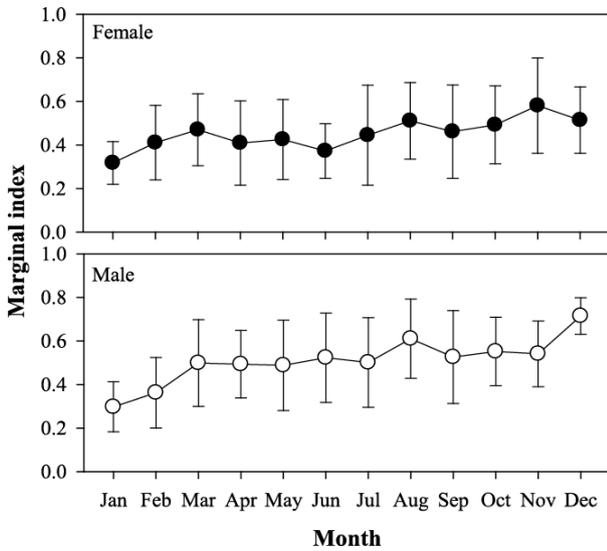


Fig. 6. Monthly change in otolith marginal index (MI) of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea (Circles and vertical bars denote mean and standard deviation range, respectively).

나타났다. 수컷은 12월에 최댓값을 보이다가, 1월에 가장 낮은 값을 나타내어 임연수어의 윤문형성 시기는 12월에서 1월 사이에 1회 형성되는 것으로 추정된다.

임연수어의 연륜은 연 1회 주기성을 가지고 형성되며, 이석중심부터 각 윤문까지의 평균윤경은 Table 1과

같다. 암컷의 윤문별 평균윤경은 $r_1=0.979\pm 0.044$ mm에서 $r_8=2.632\pm 0.087$ mm이었고, 수컷은 $r_1=0.975\pm 0.043$ mm에서 $r_7=2.376\pm 0.160$ mm로 나타났다. 그리고 윤문형성시의 전장을 역계산하기 위해 이석반경(R)과 가랑이체장(FL)간의 관계식을 추정된 결과, 암컷은 $FL=17.420R-3.574(R^2=0.859)$, 수컷은 $FL=14.411R+1.691(R^2=0.796)$ 로 나타났다 (Fig. 7).

임연수어의 가랑이체장에 대한 중량증가의 경향을 보기 위해 전장과 중량간의 상대성장식을 나타내어 보았다. 암컷의 상대성장식은 $BW=0.005FL^{3.240}(R^2=0.963)$ 으로 나타났고, 수컷의 상대성장식은 $BW=0.006FL^{3.238}(R^2=0.946)$ 으로 나타났다(Fig. 8). 암컷과 수컷의 성장식을 비교한 결과 성별에 따른 성장의 차이는 없는 것으로 나타났다(ANCOVA, $p>0.05$).

윤문형성시의 평균윤경을 사용하여 이석반경과 전장간의 관계식으로부터 역계산된 평균전장은 암컷의 경우 $L_{1.08}=13.46\pm 0.76$ cm에서 $L_{8.08}=42.28\pm 1.51$ cm로 나타났고, 수컷은 $L_{1.08}=15.73\pm 0.62$ cm에서 $L_{7.08}=35.93\pm 2.30$ cm로 나타났다(Table 2). 역계산된 평균중량은 암컷의 경우 $W_{1.08}=22.8\pm 4.3$ g에서 $W_{8.08}=969.8\pm 166.6$ g로 나타났고, 수컷은 $W_{1.08}=44.9\pm 5.9$ g에서 $W_{7.08}=648.0\pm 141.1$ g로 나타났다(Table 3).

Table 1. Mean ring radius on the otolith of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea

		(A) Female									
Estimated age	No. of samples	Mean otolith ring radius (mm)									
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	
2	1	1.396	1.018	1.328							
3	66	1.666	0.971	1.323	1.579						
4	75	1.864	0.982	1.324	1.609	1.787					
5	33	2.079	0.985	1.314	1.601	1.847	2.003				
6	31	2.292	0.978	1.314	1.610	1.868	2.083	2.218			
7	5	2.602	0.980	1.336	1.642	1.921	2.170	2.392	2.457		
8	3	2.715	0.976	1.307	1.605	1.873	2.118	2.344	2.480	2.632	
Total	214	Weighted mean	0.979	1.321	1.599	1.824	2.054	2.250	2.466	2.632	
		Weighted S.D.	0.044	0.054	0.076	0.102	0.110	0.111	0.073	0.087	
		(B) Male									
Estimated age	No. of samples	Mean otolith ring radius (mm)									
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	
2	2	1.393	1.026	1.312							
3	65	1.661	0.971	1.320	1.573						
4	65	1.814	0.974	1.305	1.577	1.736					
5	43	2.083	0.981	1.317	1.608	1.850	2.004				
6	19	2.283	0.975	1.311	1.607	1.866	2.077	2.209			
7	3	2.461	0.984	1.299	1.578	1.835	2.064	2.250	2.376		
Mean	197	Weighted mean	0.975	1.313	1.585	1.795	2.028	2.215	2.376		
		Weighted S.D.	0.043	0.056	0.073	0.108	0.103	0.119	0.160		

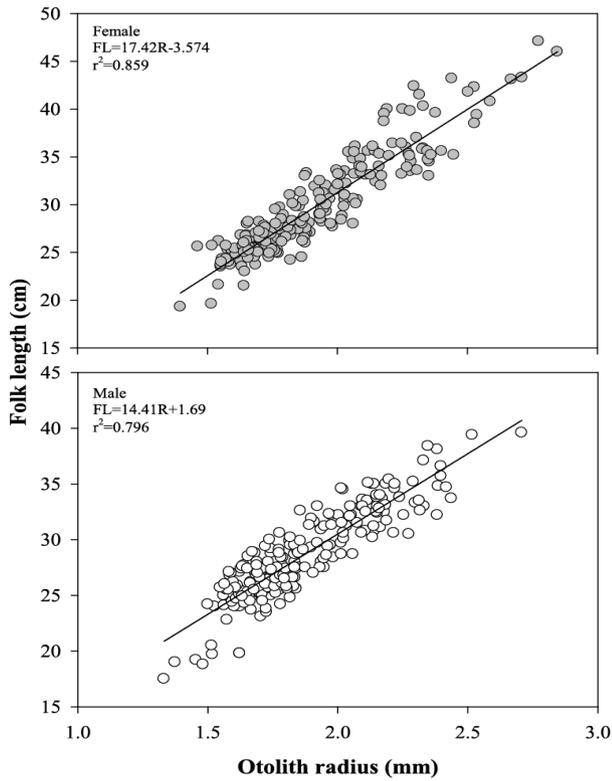


Fig. 7. Relationship between otolith radius and fork length of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea.

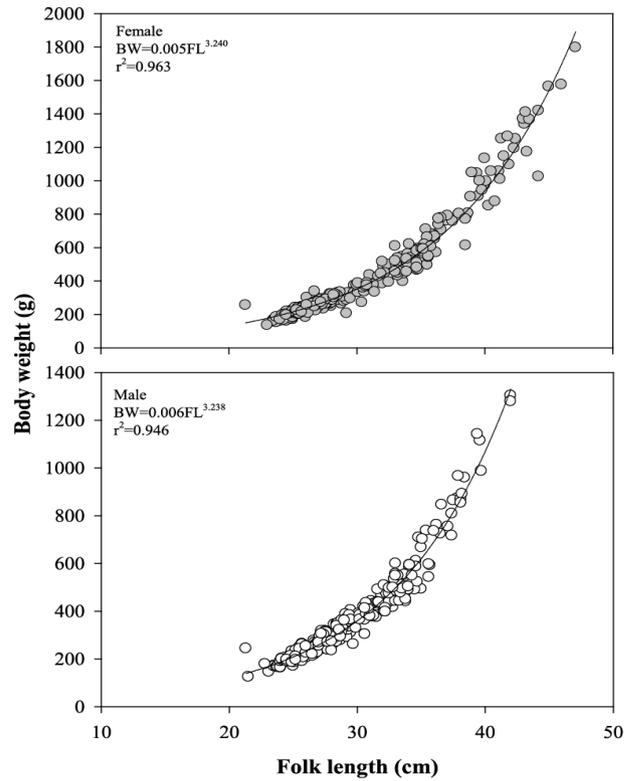


Fig. 8. Relationship between total length and total weight of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea.

Table 2. Back-calculated fork length at the formation of annuli in otolith of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea

		(A) Female							
		Mean fork length (cm)							
Ring group		L _{1.08}	L _{2.08}	L _{3.08}	L _{4.08}	L _{5.08}	L _{6.08}	L _{7.08}	L _{8.08}
Fork length (FL, cm)	2	14.16	19.56						
	3	13.34	19.47	23.93					
	4	13.52	19.49	24.45	27.56				
	5	13.59	19.31	24.32	28.60	31.32			
	6	13.46	19.32	24.46	28.97	32.71	35.07		
	7	13.49	19.69	25.02	29.88	34.23	37.82	39.23	
	8	13.43	19.19	24.38	29.05	33.32	37.03	39.62	42.28
	Weighted mean	13.46	19.44	24.26	28.23	32.19	35.57	39.38	42.28
Weighted S.D.	0.76	0.93	1.32	1.79	1.91	1.83	1.27	1.51	
		(B) Male							
		Mean fork length (cm)							
Ring group		L _{1.08}	L _{2.08}	L _{3.08}	L _{4.08}	L _{5.08}	L _{6.08}	L _{7.08}	L _{8.08}
Fork length (FL, cm)	2	16.47	20.60						
	3	15.68	20.71	24.35					
	4	15.73	20.49	24.42	26.70				
	5	15.82	20.66	24.86	28.35	30.57			
	6	15.74	20.58	24.85	28.57	31.63	33.52		
	7	15.87	20.41	24.43	28.13	31.43	34.11	35.93	
	Weighted mean	15.73	20.62	24.56	27.57	30.93	33.58	35.93	
Weighted S.D.	0.62	0.81	1.05	1.56	1.49	1.71	2.30		

Table 3. Back-calculated body weight at the formation of annuli in otolith of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea

		(A) Female							
		Body weight (g)							
	Ring group	W1.08	W2.08	W3.08	W4.08	W5.08	W6.08	W7.08	W8.08
Body weight (BW, g)	2	26.8	76.4						
	3	22.1	75.3	146.8					
	4	23.1	75.4	157.4	232.1				
	5	23.5	73.3	154.7	261.6	351.2			
	6	22.8	73.3	157.7	272.6	404.1	506.5		
	7	22.9	78.1	169.7	301.5	468.3	662.4	793.5	
	8	22.6	71.8	155.9	275.1	429.1	616.5	811.9	969.8
		Weighted mean	22.8	74.8	154.0	250.5	385.4	534.9	800.4
	Weighted S.D.	4.3	12.0	28.4	53.8	75.1	95.6	108.0	166.6
		(B) Male							
		Body weight (g)							
	Ring group	W1.08	W2.08	W3.08	W4.08	W5.08	W6.08	W7.08	W8.08
Body weight (BW, g)	2	51.9	107.1						
	3	44.3	109.0	184.1					
	4	44.8	105.3	185.8	248.0				
	5	45.6	108.2	196.9	301.2	384.3			
	6	44.8	106.8	196.6	308.8	428.8	517.5		
	7	46.0	104.0	185.9	293.7	420.2	547.9	648.0	
		Weighted mean	44.9	107.3	188.7	275.6	398.9	521.7	648.0
	Weighted S.D.	5.9	14.1	26.8	51.5	63.4	87.8	141.1	

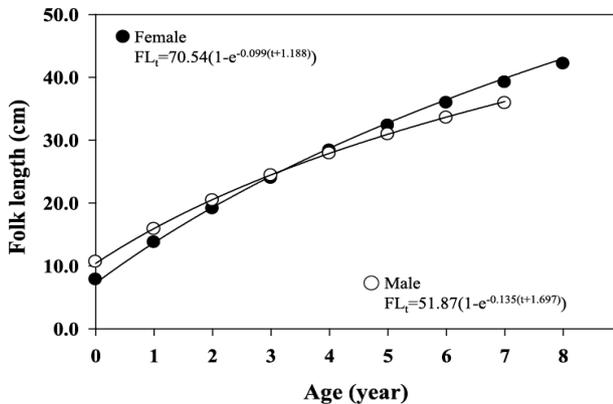


Fig. 9. The von Bertalanffy growth curves in folk length and body weight estimated by a non-linear regression method of the Okhotsk atka mackerel, *Pleurogrammus azonus* in the coastal of Gangwon-do, East Sea.

역계산된 연령별 가랑이체장으로부터 Walford정차도 법으로 구한 성장 매개변수를 입력값으로 하였고, 비선형회귀분석을 사용하여 추정된 임연수어의 암·수 각각에 대한 von Bertalanffy 성장식은 Fig. 9와 같다. 따라서 임연수어의 성장 매개변수는 암컷의 경우 이론적 최대 가랑이체장(L_{∞})은 70.54 cm, 성장계수(K)는 0.099/년, 가랑이체장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0)은 -1.188세로 추정되었고, 수컷은 이론적 최대가랑이체장(L_{∞})이

51.87 cm, 성장계수(K)는 0.135/년, 가랑이체장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 -1.697세로 추정되었다.

고찰

강원도연안에서 어획된 임연수어의 평균 가랑이체장은 암컷 30.6 cm(19.3~47.1 cm), 수컷 29.1 cm(17.5~42.0 cm)로 1~6월에 어획된 개체들은 크기가 작았던 반면 7~12월에 어획되는 개체들의 크기는 큰 것으로 나타났다. 동해연안 임연수어의 50% 균성숙체장(Lee et al., 2009)은 26.9 cm로 본 연구에 사용된 개체의 40.8%가 미성숙 개체였으며, 미성숙 개체의 비율은 산란기가 끝나는 1~5월 동안 높은 비중을 보였다. 산란시기가 되면 성어의 비율이 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 수컷에 비해 암컷 개체들의 가랑이체장이 큰 것으로 나타났다. 따라서 임연수어의 자원관리를 위해서는 비산란시기인 1~5월 동안 미성숙 개체의 어획 자제를 위한 방안이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

동해중부 연안 임연수어의 월별 생식소속도지수를 분석한 결과, 주산기는 11~12월로 나타났는데, 쥐노래미과 어류들은 일조시간이 짧아지는 9월 이후부터 생식소가 발달하기 시작하여 연중 일조시간이 가장 짧은 10~12월 사이에 산란하는 특성과 유사하게 나타났다

(Chung and Kim, 1994; Kang et al., 2004). 또한 임연수어의 생식소숙도지수의 변화에는 수온의 변화가 영향을 미치는 것으로 생각되어지는데, 과거 일본 북해도의 연구(Fadeev, 2005)에서는 8~11월로 보고하였지만 최근 2007~2009년의 연구 결과(Takashima et al., 2016)에서는 주산란기가 11~12월로 늦어진 것으로 보고하였다. 또한 동해안의 임연수어 산란특성에 대한 Lee et al.(2009)의 연구에서도 수온이 낮았던 2006년에는 10월 하순부터 완숙개체가 출현하였지만 수온이 높아지기 시작한 2008년에는 11월부터 출현한다고 보고하여 수온변화는 동해연안 임연수어의 산란특성에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 수온의 변화는 임연수어의 산란시기뿐만 아니라 성장에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는데, Marannu et al.(2017)에 따르면 임연수어의 경우 수온이 상승하면 초기 발생과 성장이 빠르게 진행된다고 하였다. Morita et al.(2015)의 연구에서는 미성어 개체들은 수온이 높아지면 수온이 낮았던 시기에 비해 초기 생장이 빠르게 진행되지만, 성어개체들은 수온이 낮은 환경에서 생장이 좋은 것으로 나타나 동해연안의 수온 변동이 임연수어의 산란시기, 초기 발생과 성장에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

수산생물의 이석은 체장의 성장과 함께 성장하여 재흡수 되지 않고 존재하며, 일반적으로 수온, 먹이생물 등 다양한 외부요인(Pannella, 1980)에 의해서 성장의 정도에 따라 불투명대와 투명대로 구분되어지는 변화(Rhoads et al., 1980)를 보여 일생 동안의 기록을 추정할 수 있는 장점이 있어 연령형질로 널리 이용된다(Neilson and Geen, 1985; Solomon et al., 1987; Secor et al., 1995; Kooka et al., 2000; Campana, 2014). 본 연구에서는 임연수어의 시상단을 연마하여 연령사정을 수행하였는데, 본 종의 이석을 횡단절단한 결과, 핵을 중심으로 정확한 절단이 어려웠고, 절단한 단면에 나타나는 윤문은 투명대와 불투명대의 구분이 용이하지 않아 절단방법을 통한 분석에 어려움이 있었다. 반면 표면연마법으로 관찰한 이석의 표면은 비교적 윤문의 투명대와 불투명대의 구분이 용이하였고, 소요되는 시간도 적어 임연수어의 이석의 관찰은 표면연마법을 사용하는 것이 윤문의 관찰에 가장 용이한 방법이라 생각된다.

윤문의 월별 변화를 관찰한 결과 평균 연변부연역지

수(Marginal index)는 7월 이후 증가하기 시작하여 12월에 가장 높은 값을 보이다가 1월에 가장 낮은 값을 보여 윤문은 12~1월에 1회 형성되는 것으로 판단된다. 일반적으로 윤문 형성시기는 산란기와 밀접한 관계를 가지고 있는데, 임연수어의 경우 주산란기인 11~12월이 지나고 12~1월에 윤문이 형성되는 특징을 보여 제 1윤문은 약 1.08년에 형성되는 것으로 추정되었다. 이석에 형성된 윤문을 분석한 결과, 임연수어의 최대연령은 암컷은 8세, 수컷은 7세로 나타났으며, 암·수의 성장차이는 크지 않았지만 3세 이하의 개체에서는 수컷의 성장이 빠르고 4세 이상의 고연령이 되면서 암컷의 가랑이체장과 체중이 빠르게 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 같은 쥐노래미과 어류인 쥐노래미(Hexagrammos otakii, Kang et al., 2004)와 유사한 경향을 보였는데, 쥐노래미 암컷은 2세 이상이 되면 같은 연령의 수컷에 비해 암컷의 성장이 빠른 것으로 나타났다.

임연수어의 von Bertalanffy 성장계수 추정을 위해서는 역계산된 연령별 평균 윤경값과 연령별 가랑이체장 자료를 이용하는데 최근까지 선행연구의 대부분은 평균 윤경을 산술평균을 이용하여 분석하였지만(Park et al., 1990; Kim et al., 2000; Hong et al., 2014; Kim et al., 2015), 본 연구에서는 연륜그룹별 평균 윤경 값을 계산할 때 시료 수의 차이를 반영한 가중평균을 이용하여 연령별 역계산 가랑이체장을 추정하였다. 역계산된 연령별 가랑이체장으로부터 추정한 성장 매개변수값을 이용한 임연수어의 이론적 최대가랑이체장은 암컷 70.54 cm, 수컷은 51.87 cm로 나타났고, 이는 고연령에서의 임연수어의 빠른 성장과 더불어 분석에 사용된 임연수어 암컷 개체가 더 고연령의 개체였기 때문으로 판단된다. 일반적으로 성장식 모델은 채집된 개체 중에서도 암수간에 최대 가랑이체장과 연령에 차이가 생기면 이론적 최대체장도 크게 추정되고(Kim et al., 2015), 체장이 커질수록 이형적인 이석의 출현빈도가 높아 정확한 윤문을 확인하기 어렵기 때문에 정확한 연령사정을 위해서는 표본어 채집 시 체장이 큰 표본어를 많이 확보하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 나아가, 임연수어의 수온변화에 따른 초기성장을 규명하고, 본질적인 수산자원 연구를 위해 섭식, 산란, 회유 등의 생태적 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 강원도 동해 연안에서 자망과 정치망에 주로 어획되는 임연수어의 연령과 성장특성을 규명하기 위하여 2008년 1월부터 12월까지 매월 시료를 채집하여 조사를 수행하였다. 산란특성을 규명하기 위하여 생식소속도지수의 변화를 관찰한 결과, 9월부터 점차 증가하기 시작하여 11~12월에 가장 높은 값을 보였으며, 1월이 되면서 가장 낮은 값을 나타내어 주산란기는 11~12월로 추정된다. 윤문의 형성시기 및 연간 형성횟수를 파악하기 위해 월별 연변부연역지수의 변화를 분석한 결과, 윤문은 12~1월 사이에 일년에 한번 형성되는 것으로 나타났다. 임연수어의 가랑이체장에 대한 중량증가의 경향을 보기 위해 전장과 중량간의 상대대성장식을 분석한 결과, 암컷은 $BW=0.005FL^{3.240}(R^2=0.963)$, 수컷은 $BW=0.006FL^{3.238}(R^2=0.946)$ 로 나타났다. 이석반경과 가랑이체장간의 관계식으로부터 역계산된 연령별 가랑이체장을 이용하여 성장 매개변수값을 분석하고, 이를 바탕으로 임연수어의 von Bertalanffy 성장식을 추정된 결과 암컷은 $FL_t=70.54(1-\exp(-0.099(t+1.188)))$, 수컷은 $FL_t=51.87(1-\exp(-0.135(t+1.697)))$ 였다. 성장식을 바탕으로 임연수어의 성장특성을 분석한 결과, 임연수어는 3세 이하의 개체에서는 수컷의 성장이 빠르고, 4세 이상의 고연령이 되면서 암컷의 성장이 빠른 것으로 나타났다. 앞으로 임연수어의 자원관리를 위해서는 수온변화에 따른 초기생활사 연구와 섭식, 산란, 회유 등의 생태적 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 2018년도 국립수산물품질관리원 수산과학연구소(동해 연안어업 및 환경생태조사, R2018028)의 연구 지원에 의해 수행된 연구이며, 논문을 세심하게 검토하여 주신 심사위원님께 감사드립니다.

References

Bertalanffy L von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II). *Hum Biol* 10, 181-213.

Campana SE. 2014. Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species : A technical manual. *Studies Rev* 94, 32-34.

Chae JH, Han CH, Lee JH and Hong JS. 2008. A short note on a euphausiid, *Euphausia pacifica*, an important food source to demersal fishes in Uljin area, the eastern coast of Korea. *J Environ Bio* 29, 471-474. (<http://hdl.handle.net/2115/21985>)

Chung EY and Kim SY. 1994. On the maturity and spawning of greenling, *Hexagrammos agrammus*. *Kor J Ichthyol* 6, 222-236.

Fadeev NS. 2005. Guide to biology and fishes of the North Pacific Ocean. Vladivostok, Tinro-Center, 366.

Hong JM, Yoon JS and Lee TW. 2014. Age and growth of flathead grey mullet *Mugil cephalus* collected by a two-side fyke net in the coastal water off Taean, Korea. *Kor J Ichthyol* 26, 194-201. (<http://uci.or.kr/G704-001000.2014.26.3.011>)

Kang HW, Chung EY and Kim JH. 2004. Sexual maturation and spawning characteristics in greenling, *Hexagrammos otakii* of the West coast in Korea. *J Aquat* 17, 30-38.

Kim HY, Huh SJ, Kim ST and Seo YI. 2015. Age and growth of Marbled flounder, *Pleuronectes yokohamae* (Günther) in the southern waters of Korea. *J Kor Soc Fish Technol* 51, 35-41. <http://dx.doi.org/10.3796/KFAS.2015.51.1.035>.

Kim YH, Kang YJ and Ryu DK. 2000. Growth of *Ammodytes personatus* in the South sea, Korea. *Kor J Ichthyol* 12, 166-172.

Kooka K, Takatsu T, Naga T, Hayakawa Y, Kamiharako T and Takahashi T. 2000. Age and Growth of Marbled flounder (*Pleuronectes yokohamae*) in the coastal waters of western Aomori Prefecture, Japan. *Bull Fac Fish Hokkaido Univ* 51, 121-126.

Lee SI, Yang JH, Yoon SC, Chun YY, Kim JB, Cha HK, Chang DS and Kim JW. 2009. Maturity and Spawning of the Atka Mackerel, *Pleurogrammus azonus* (Jordan and Metz) in the East Sea. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 633-641. (DOI: 10.5657/kfas.2009.42.6.633)

Marannu S, Nakaya M, Takatsu T, Takabatake S, Joh M and Suzuki Y. 2017. Otolith microstructure of arabesque greenling *Pleurogrammus azonus*: A species with a long embryonic period. *Fish Res* 194, 129-134.

Morita SH, Morita K, Hamatsu T, Chimura M, Yamashit Y, Sasaki K and Sato T. 2015. Differential effects of the environment on the growth of arabesque greenling (*Pleurogrammus azonus*): does rising temperature benefit

- young but not old fish?. *Environ Biol Fish* 98, 801-809. (DOI:10.1007/s10641-014-0316-x)
- Morita SH, Morita K, Hamatsu T, Chimura M, Yamashita Y, Sasaki K and Sato T. 2015. Differential effects of the environment on the growth of arabesque greenling (*Pleurogrammus azonus*): does rising temperature benefit young but not old fish?. *Environ Biol Fish* 98, 801-809.
- Munehara H and Markevich A. 2003. Spawning behavior of Japan Sea Greenling, *Pleurogrammus azonus*, off the Bol'shoi Pelis Island, Peter the Great Bay, Russia. *Bull Fish Sci Hokkaido Univ* 54, 67-72. (<http://hdl.handle.net/2115/21985>)
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2004. Commercial fishes of the coastal & offshore waters in Korea (2nd ed.). Hanguel graphics Busan, 258.
- Neilson JD and Geen GH. 1985. Otolith of chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*): Daily growth increment and factors influencing their production. *Can J Fish Aquat Sci* 39, 1340-1347.
- Novikov NP, Sokolovsky AS, Sokolovskaya TG and Yakoclev Ym. 2002. The fishes of Primorye. Far Eastern State Tech Univ, Vladivostok, Russia, 552.
- Pannella G. 1980. Growth patterns in fish sagittae. 519-559.
- Park JS and Simizu M. 1990. Age and growth of the Marbled flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo bay, Japan. *Bull. Korean Fish Tech Soc* 26, 309-316.
- Rhoads DC, Dean JM and Campana SE. 1995. Skeletal growth of aquatic organisms: Biological records of environmental change. Plenum Press, New York, 519-560.
- Secor DH, Dean JM and Campana SE. 1995. Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press, USA, 735.
- Solomon G, Sano M, Simizu M and Nose Y. 1987. Age and growth of the Pleuronectid flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53, 711-716.
- Takashima T, Hoshino N, Itaya K, Maeda K and Miyashita K. 2013. Age validation using sectioned otoliths and age-size relationship for the Northern Hokkaido stock of the Arabesque greenling *Pleurogrammus azonus*. *Nip Sui Gak* 79, 383-393. (DOI:10.2331/suisan.79.383)
- Takashima T, Okada N, Asami H, Hoshino N, Shida O and Miyashita K. 2016. Maturation process and reproductive biology of female Arabesque greenling *Pleurogrammus azonus* in the Sea of Japan, off the west coast of Hokkaido. *Fish Sci* 82, 225-240. (DOI:10.1007/s12562-015-0951-y)
- Takashima T. 2006. Target strength of live arabesque greenling *Pleurogrammus azonus* suspended in the sea. *Sci Rep Hokkaido Fish Exp Stn* 70, 73-80.
- Takemura Y and Yamane T. 1953. Note on the food of *Pleurogrammus azonus* taken from the western coast of Hokkaido. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 19, 11-117.
- Walford LA. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Bio Bull*, 141-147.
-
2017. 10. 31 Received
2018. 02. 01 Revised
2018. 02. 01 Accepted