

한국 연근해 고등어(*Scomber japonicus*) 알의 비중과 수직분포

정경미 · 강수경* · 차형기¹ · 최광호 · Mari S. Myksovoll²

국립수산과학원 자원관리과, ¹국립수산과학원 아열대수산연구센터, ²노르웨이 해양연구소

Buoyancy and Vertical Distribution of Mackerel *Scomber japonicus* Eggs in Korean Waters

Kyung-Mi Jung, Sukyung Kang*, Hyung Kee Cha¹, Kwang Ho Choi and Mari S. Myksovoll²

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

¹Subtropical Fisheries Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Jeju 690-192, Korea

²Oceanography, Institute of Marine Research, Bergen N-5817, Norway

This study simulated the egg vertical distribution of mackerel *Scomber japonicus* in Korean waters using general numerical models. All eggs were spawned naturally by raising broodfishes (May-June 2013), and the egg specific gravity was measured by a density-gradient column. CTD surveys provided environmental data (e.g., temperature and salinity) in May near Jeju Island, Korea. The egg specific gravity during the early stages ranged from 1.0203-1.0211. In general, the fertilized eggs showed a gradual decline in egg specific gravity until full development of the main organs, with a sudden increase just before hatching. Modeled egg vertical distributions were influenced more by wind speed than by egg buoyancy and vertical structure of the sea water. During calm and normal wind speeds, the eggs were distributed from the surface to 25-m depths. Under strong wind conditions (three times higher than the normal speed), the egg concentration on the surface decreased, and the egg distributional depth was deeper (~50 m).

Key words: Mackerel, Egg specific gravity, Vertical distribution, Wind speed, *Scomber japonicus*

서론

고등어(*Scomber japonicus*)는 멸치, 오징어, 갈치와 함께 국내 연근해어업 생산량에서 차지하는 비율이 가장 높은 종일 뿐 아니라 대중성이 커서 경제적 가치 또한 높은 어종이다. 국내 고등어의 연간 어획량은 1970년대부터 1980년대 중반까지 10만 톤 내외였으나 이 이후부터 증가추세를 보여 1996년에는 약 42만 톤까지 어획되었다. 하지만 1997년부터 15만 톤 수준으로 다시 감소추세에 있어 2000년부터는 TAC (Total Allowable Catch) 대상어종으로 지정되어 고등어의 자원회복에 대한 관심이 높아져 있는 상황이다.

제주도와 대마도 주변해역은 고등어의 산란장이며, 산란기간은 3-6월, 주 산란기는 4-5월이다(Cha et al., 2002). 산란을 마친 고등어는 7-11월 동안 서해와 동해에서 섭이활동을 하다가 12월부터 다음해 2월까지 월동을 위해 제주도를 포함한 남해로 회유한다(Choi et al., 2003). 고등어는 부화 후 1년이면 성숙체장 28.6 cm (NFRDI, 2010)에 이를 정도로 초기성장률이 매우

빠르므로 환경변화에 취약한 초기생활사 시기의 생존율은 다음해 고등어 가입에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. Kim et al. (1999)의 연구에 따르면, 먹이생물인 동물플랑크톤의 현존량은 1-2년 이후의 고등어 가입과 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 지금까지 국내 고등어 초기생활사 연구는 난발생과 자치어의 형태 발달(Kim et al., 2008; Park et al., 2008)과 난발생과 자어에 미치는 수온 및 염분의 영향(Hwang et al., 2008) 등이 있다. 따라서 고등어 생활사와 생태학적 특징을 바탕으로 한 가입량 예측을 통해 효과적으로 자원을 관리하기 위하여 초기생활사 연구가 절실히 요구된다.

알의 수직분포에 대한 정보는 알의 산란장에서의 분포, 보육장으로의 운송, 초기생존율 등과 같은 생태학적 특징을 이해하는데 중요하게 쓰인다. 이러한 수직분포를 결정짓는 생물학적 요인 중의 하나가 알 비중(Sundby, 1991)이며, 여러 연구에서 알 비중과 관련된 산란전략이 나타난다. 예를 들면, 뱅겔라 북부 용승지역에 출현하는 케이프 민대구(*Merluccius capensis*)는 산란수심, 알 비중, 중규모의 와류가 서로 상호작용을 하여

Article history:

Received 18 October 2013; Revised 27 November 2013; Accepted 28 November 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2287 Fax: +82. 51. 720. 2337

E-mail address: sukyungkang@korea.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(6) 957-965, December 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0957>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

Table 1. Egg characteristics at early developmental stages from continuous measurements and time-point measurements. The egg specific gravity was also expressed as equivalent salinity units of egg neutral buoyancy. Age means egg stages shown as hours after fertilization (haf). Values are mean±one standard deviation

Month	Sample	Type	n ¹	Eggs at the column temperature of 20°C			
				Age (haf)	Specific gravity (g cm ⁻³)	Equivalent salinity (psu)	Diameter (mm)
May	S1	Continuous	20	8	1.0211±0.0002	30.2±0.2	1.20±0.03
May	S2	Time-point	32	9	1.0209±0.0003	30.1±0.4	1.17±0.02
June	S3	Continuous	46	15	1.0207±0.0008	30.1±1.1	1.16±0.02
June	S4	Continuous	46	9	1.0203±0.0003	29.3±0.4	1.14±0.03
June	S5	Continuous	52	8	1.0206±0.0007	29.6±0.9	1.14±0.03
June	S6	Time-point	43	9	1.0207±0.0007	29.8±1.0	1.17±0.05
June	S7	Time-point	48	7	1.0207±0.0005	29.8±0.7	1.16±0.05
Mean					1.0207±0.0002	29.8±0.3	1.16±0.02

¹n, number of eggs used in each measurement.

Table 2. Changes in egg specific gravity during development of S1, S4 and S5 continuous measurements. Initial, Min and Hatch indicate the mean egg specific gravity at the time of initial stage of experiments, minimum specific gravity, hatching, respectively

Sample	Initial	Min	Hatch	The amount of changes in egg specific gravity	
				Decrease (Initial-Min)	Increase (Hatch-Min)
S1	1.0211	1.0202	1.0212	0.0009	0.0010
S4	1.0203	1.0188	1.0203	0.0015	0.0015
S5	1.0206	1.0191	1.0216	0.0014	0.0025

민대구 알이 외해로 손실되지 않고 연안으로 수송되어 먹이생물이 풍부한 곳에서 부화하도록 적응되어 있다(Sundby et al., 2001). 발트해 대구(*Gadus morhua*) 알은 인접해역의 대서양 대구 알보다 크기가 크고 비중이 낮으므로 발트해 표층의 저염분과 저층의 저산소를 피하여 대구 알이 중층의 염분양층 부근에 뜰 수 있도록 하여 알의 생존율을 높인다(Nissling, 2004). 최근에는 개체기반 모델(Individual-based model; IBM)의 발달로 초기생활사의 운송(transport)과 정체(retention), 가입기작 등(Parada et al., 2003; Mykxsvoll et al., 2011, 2013; Ospina-Álvarez et al., 2012)을 연구하기 위해 알 비중을 포함한 생물학적 정보에 대한 관심이 증대되어져 있다.

본 연구에서는 실험을 통해 얻은 고등어 알의 비중을 모델에 반영시켜 물리적 환경변화에 따른 알의 수직적 분포특성을 이해함으로써 고등어의 자원회복과 관련된 초기생활사, 가입기작, 자원량 추정 등을 밝히는 연구에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

고등어 알 채집

본 실험은 국립수산물연구원 미래양식연구센터에서 2013년 5월(22일-26일)에 2회(S1, S2)와 6월(10일-14일)에 5회(S3-S7)에 걸쳐 수행되었다(Table 1). 자연 산란된 고등어 알을 얻기 위해 약 300개체의 고등어를 한 개의 실내수조로 옮겨 사육하였다. 실험기간 동안 사육조 수온은 17.5-20.1°C, 염분은 33.0-34.8 psu 범위로 변동하였다. 모든 개체는 성숙체장인 28.6 cm 이상이었다. 자정 무렵에 산란된 고등어 알은 새벽 6시경 수조의 배수관에 연결된 채집망을 통해 수거되었다. 알은 즉시 실험실로 옮겨져 실험현미경(Zeiss stemi DV4)을 이용하여 발생단계와 난질의 상태가 파악되었다. 알의 발생단계는 수정 이후 경과 시간(hours after fertilization, haf)으로 표시되었고, 난경은

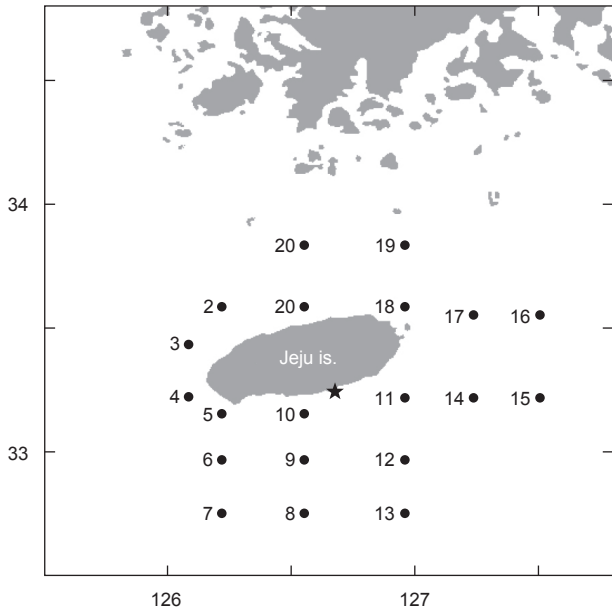


Fig. 1. Map showing 20 CTD stations (filled dot) and Jigwido (filled star) around Jeju Island, Korea.

만능투영기(Nikon profile projector V-10)를 이용하여 0.001 mm까지 측정되었다.

고등어 알 비중측정

고등어 알의 비중실험은 연속측정법(continuous measurements; S1, S3-S5)과 순간측정법(time-point measurements; S2, S6-S7)의 두 가지 방법으로 수행되었다. 연속측정법은 수정 후 약 8시간(포배기, 8 haf)부터 부화할 때까지 알의 비중변화를 2시간 간격으로 연속적으로 관찰하는 방법이며, 순간측정법은 특정 발생단계에서만 비중을 관찰하는 방법이다. 초기 발생 단계는 7-9 haf로 일치시켰으나, S3의 경우는 15 haf로 하였다.

실험은 비중측정기(density-gradient column)를 이용하였고, 모든 실험기기의 설치, 사용, 보정은 Coombs (1981)의 논문을 참고하였다. 여과 해수(~34 psu)와 천일염을 이용하여 저염분(~20 psu)과 고염분(~48 psu)의 용액을 만든 후, 기기를 작동시켜 80 cm 높이의 유리관을 조밀한 염분층으로 만들었다. 유리관의 위쪽은 가장 염분이 낮은 약 20 psu였고 아래쪽으로 내려가면서 점차적으로 높아져 유리관 바닥은 약 43 psu였다. 유리관의 수온은 냉각기를 이용하여 20℃로 유지하였다. 비중을 알고 있는 유리구슬 5개를 유리관에 투입하여 1시간 이후에 유리구슬의 위치를 읽었다. 처음 유리구슬의 비중이 결정될 때의 수온은 23℃로 유리관 수온인 20℃와 차이가 있어 유리구슬의 비중은 열팽창이론에 근거하여 보정되었다. 즉 (유리구슬의 밀도) + (수온 차이) × (유리구슬의 밀도) × 0.000028. 비중이 서로 다

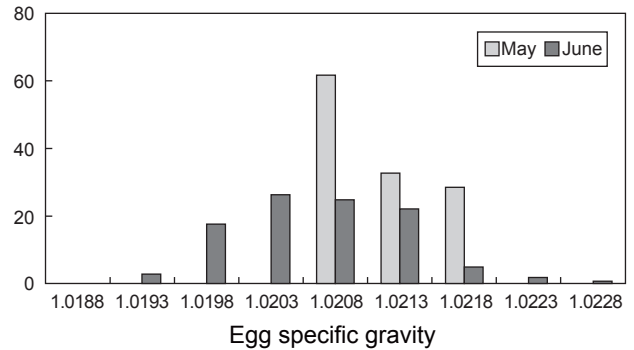


Fig. 2. Percent frequency of egg specific gravity at early developmental stages from May (S1-S2) and June (S3-S7) measurements.

른 유리구슬은 유리관 안에서 고유의 비중 위치에서 정지하였고 유리관 높이(독립변수)와 유리구슬 비중(종속변수)간의 회귀분석을 통하여 관계식이 만들어졌다: 비중=a×높이+b. 피펫을 이용하여 약 20-50개의 알을 유리관에 투입한 후 1시간 이후에 알의 위치를 읽었다. 알의 비중은 위에서 구한 회귀분석식에 알의 정지한 높이를 대입하여 계산되었다.

해양환경자료

국립수산과학원 아열대수산연구센터는 2013년 봄에 제주도 인접해역 20개 정점에서 총 2회의 CTD 조사를 수행하였다. 1차 조사는 5월 1일부터 4일까지, 2차 조사는 약 한달 뒤인 5월 29일부터 6월 1일까지 동일한 정점에서 해수의 수온, 염분, 밀도를 관측하였다(Fig. 1). 바람의 세기는 기상청 해양기상월보에 기록된 2013년 4-6월 동안 지귀도(위도 33° 13', 경도 126° 39')의 일일 평균풍속을 이용하였다(KMA, 2013).

알의 수직분포

고등어 알의 수직분포는 대표정점 3곳(중국대륙연안수의 영향을 받는 정점 3, 대마난류수의 영향을 받는 정점 15, 제주연안수의 영향을 받는 정점 17)에서 Sundby (1983)의 안정상태분포 이론을 바탕으로 개발된 수치모델(Ådlandsvik, 2000)을 이용하여 예측하였다. 모델에 이용된 정보는 본 실험을 통해서 얻은 알의 비중과 크기, CTD 조사에서 관측된 수온과 염분, 기상청에서 기록한 지귀도의 일일평균바람의 세기였다.

통계분석

연구결과의 통계적 유의성 검정은 R version 2.10.0 (2010)을 이용하여 Student's t-test와 공분산분석[Analysis of covariance (ANCOVA)]을 실시하여 유의수준 5% 이내(P<0.05)로 분석하였다.

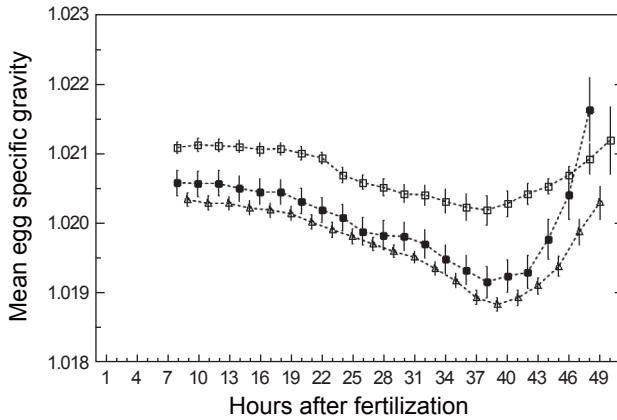


Fig. 3. Ontogenetic changes in egg specific gravity from 8-9 haf until hatching represented by the continuous measurements of S1 (□), S4 (△), and S5 (●). The continuous measurement of S3 is not shown because the initial stage of the experiment was 15 haf. Bars refer to the 95% confidence interval for the mean egg specific gravity.

결 과

고등어 알의 비중변화

초기 발생단계에서 알의 특성을 채집시기별로 비교하였을 때 (Table 1), 월별 평균 비중은 5월에 1.0210, 6월에 1.0206이었으며, 5월의 평균 비중이 다소 높았다(t-test, $P < 0.001$). 알의 평균 직경은 5월에 1.19 mm, 6월에 1.15 mm로 나타나면서 5월에 0.04 mm 큰 알이 채집된 것을 알 수 있었다(t-test, $P < 0.001$). 5월과 6월의 전체 조사기간 동안 채집된 고등어 알의 평균 비중이 1.0207, 표준편차가 0.0002인 정규분포곡선을 따르는 것으로 나타났다(Fig. 2).

발생과정 동안 일어나는 알의 비중변화를 관찰하기 위하여 수정 후 약 8시간(포배기)부터 부화(수정 후 48-50시간)까지 2시간 간격으로 비중을 연속측정하였다. 모든 연속측정에서 비중은 일정한 패턴으로 변화하였다(Fig. 3). 수정 후 8시간부터 비중은 꾸준히 감소하다가 약 38시간(배체의 기관이 대부분 형성됨)이 되면 최소로 낮아졌으며, 부화 직전에 비중은 갑작스럽게 증가하였다. 비중의 변화량을 비교하면, S1은 8시간부터 38시간까지 0.0009의 감소량을 보였고 S4는 9시간부터 39시간까지 0.0015, S5는 8시간부터 38시간까지 0.0014로 S1보다 약 1.6배 감소량이 많았다. 최소값에서 부화까지의 비중 증가량은 S1이 0.0010, S4는 0.0015, S5는 0.0025였으며, 부화단계에서는 모두 첫 포배기에서의 비중값을 회복하거나 높아지는 것을 관찰할 수 있었다(Table 2).

제주도 주변해역의 물리적 환경특성

제주도 인근 물리환경의 수평분포를 살펴보면, 5월 초 1차 조

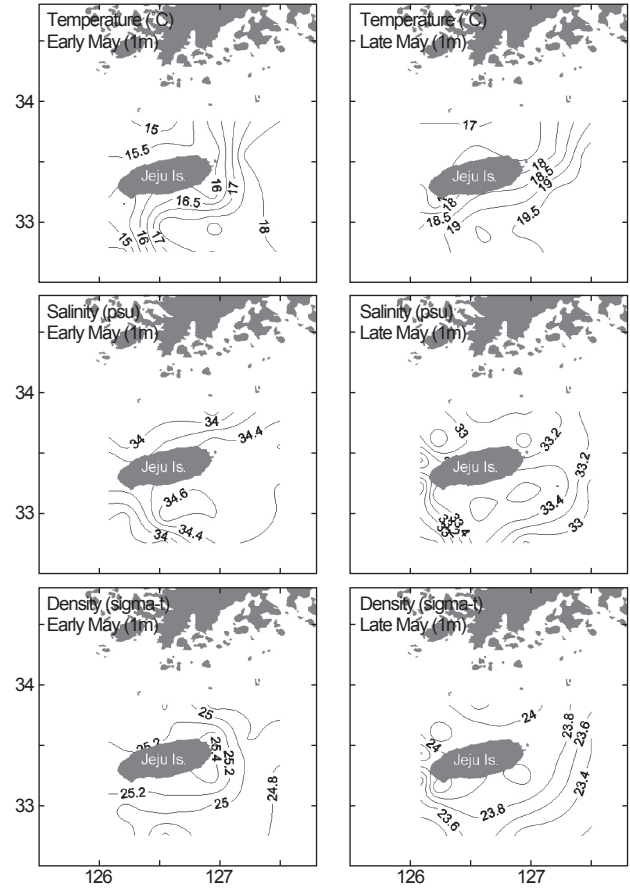


Fig. 4. Horizontal distributions of temperature (°C), salinity (psu) and density (sigma-t) at the 1 m depth in early May (May 1-4) and late May (May 29- June 1).

사에서 표층수(1 m)의 수온은 14.4-18.4°C, 염분은 33.7-34.8 psu, 밀도(sigma-t)는 24.6-25.5의 범위로 분포하였다(Fig. 4). 5월 말에 실시한 2차 조사에서는 수온은 상승하여 16.9-20.0°C의 범위였고, 염분과 밀도는 모두 낮아져서 각각 32.6-33.7 psu, 23.3-24.4였다(Fig. 4). 1, 2차 조사에서 동일하게 남쪽과 동쪽해역은 대마난류수의 영향으로 북쪽과 서쪽해역에 비해 상대적으로 고온, 고염한 특성을 보였다.

각 정점에서 대표수심 1 m, 25 m, 50 m를 선택해서 수온, 염분, 밀도의 수직적 분포양상을 알아보았다(Fig. 5). 대체적으로 수온, 염분, 밀도의 수심별 차이는 5월 초보다 5월 말에 크게 나타났다. 특히 5월 말 남쪽과 동쪽해역에 위치한 정점에서 1 m에서 50 m 범위 내 수온과 밀도의 변동폭이 컸다.

고등어 알의 수직분포

5월 초 해수의 수온, 염분, 밀도는 수층간 변동폭이 크지 않았지만 5월 말에는 표층의 수온이 상승하면서 약층이 형성되었다(Fig. 6). 5월 말 수온약층은 정점 3과 정점 15에서 수심 15 m

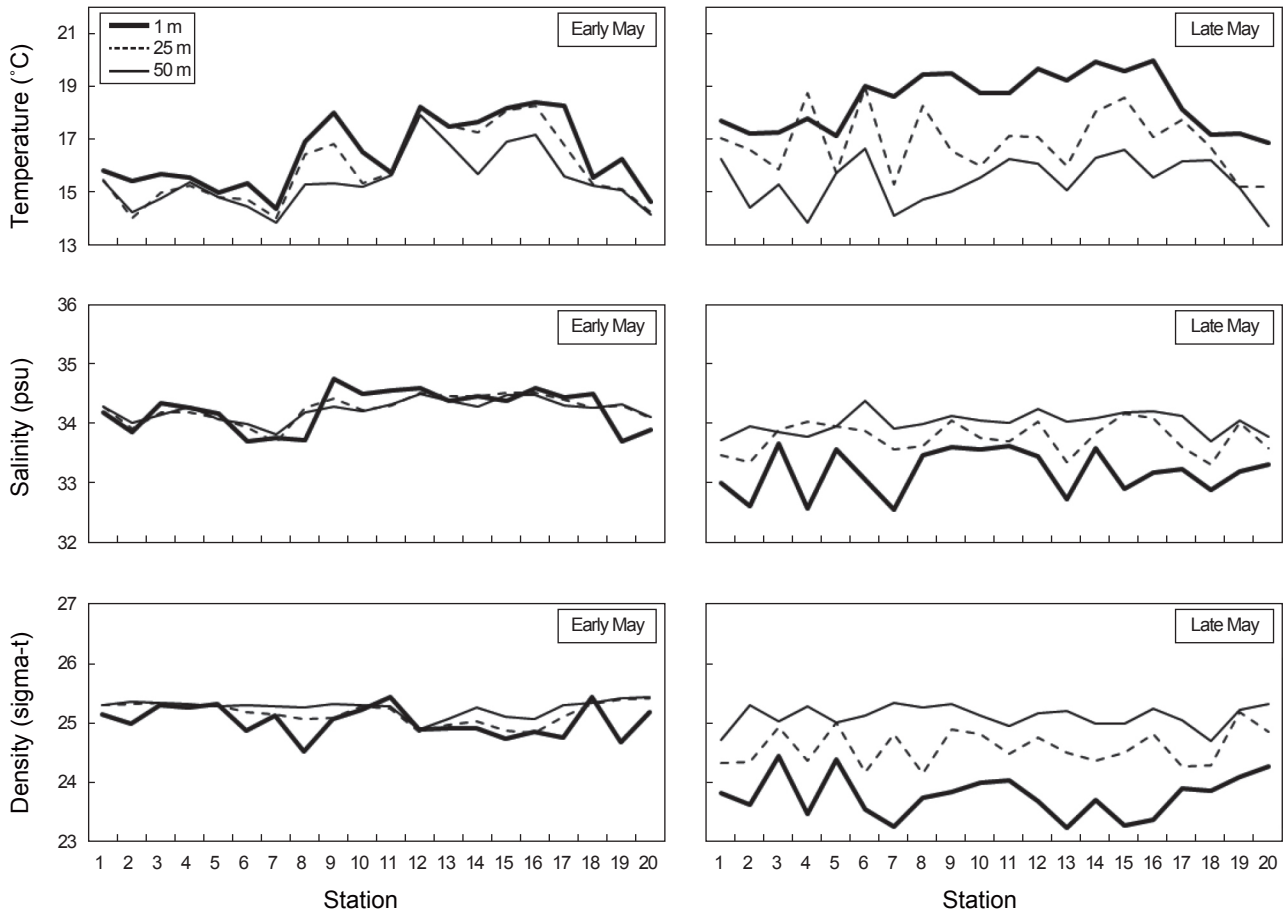


Fig. 5. Vertical distributions of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (psu) and density (sigma-t) at 20 CTD stations in early May and late May. The distribution was represented by three water-depths of 1 m (thick solid line), 25 m (dotted line) and 50 m (thin solid line).

부근에서, 정점 17에서는 수심 35 m 부근에서 시작되었고 정점 15의 수온약층이 수심 60 m까지 가장 깊게 형성되었다. 염분약층과 밀도약층은 5월 말 정점 15에서 수심 15-30 m 사이에 두드러지게 나타난 반면, 나머지 정점에서는 미약하게 형성되었다.

제주도 남부해역 연안에 위치하는 지귀도에서 2013년 4-6월 동안 관측된 바람의 세기는 평균적으로 4월에 6.0 m/s, 5월에 4.4 m/s, 6월에 5.2 m/s로 나타났으며, 5월은 다른 달에 비하여 3 m/s 이하의 온화한 바람이 많이 불었다(Fig. 7). CTD 조사시기와 일치하는 5월의 바람 세기의 조건(평균 4.4 m/s, 최소 1.4 m/s, 최고 11.5 m/s) 아래에서 고등어 알이 수직적으로 어떻게 분포할 수 있는지 살펴보았다(Fig. 8). 모든 가정에서 공통적으로 알의 개체수는 표층으로 갈수록 더욱 많았고, 바람의 세기가 같은 조건에서는 정점간의 수직분포 패턴이 매우 유사하였다(ANCOVA, $F < 0.01$, $P > 0.99$). 또한 5월 말 정점 15에서 뚜렷이 나타났던 약층은 알분포에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다(Fig. 8c). 바람 세기가 평균 이상인 11.5 m/s로 강하게 불 때 모든 정점에서 알의 표층 개체수 밀도가 현저하게 감소하였

고(ANCOVA, $F > 21$, $P < 0.001$) 최고 분포수심 또한 깊어져 50 m 부근까지 알이 분포할 수 있었다.

고 찰

고등어 알은 분리 부성란으로 한 개의 유구를 가지고 있으며 수정에서 부화까지 소요된 시간은 수온 20°C 에서 약 48-50 시간이었다. 난경은 1.14-1.20 mm로 지금까지 보고된 태평양산 고등어 알의 난경인 Kramer (1960)의 1.06-1.14 mm, Watanabe (1970)의 0.90-1.10 mm, Kim et al. (2008)의 0.98-1.02 mm, Park et al. (2008)의 0.94-1.02 mm보다 다소 컸으나 Yamada et al. (2007)의 0.90-1.30 mm의 범위에는 포함되었다.

부화기간 동안 알의 비중은 일정한 패턴으로 변화했다. 먼저 초기발생단계의 알은 시간이 지남에 따라 비중이 점차적으로 감소하였고 배체의 기관이 대부분 형성된 단계부터 부화까지는 갑작스럽게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 패턴은 앞서 보고된 대서양 대구(*Gadus morhua*) 알(Anderson and

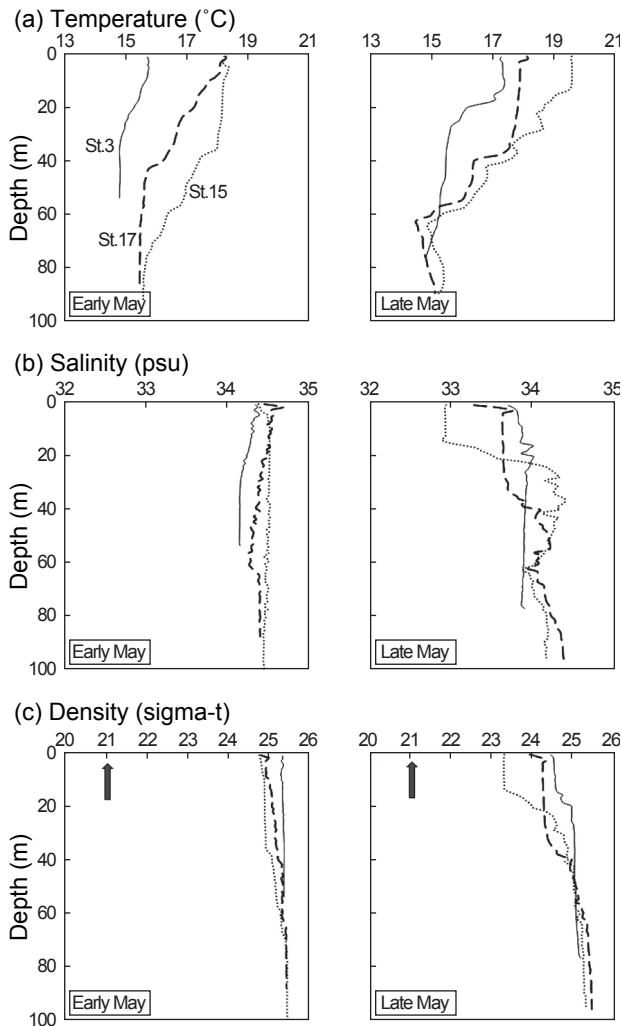


Fig. 6. Vertical profiles of (a) temperature (°C), (b) salinity (psu), and (c) density (sigma-t) measured at station 3 (solid line), station 15 (dotted line), and station 17 (dashed line) in early May and late May. Arrows indicate mean egg specific gravity of early developmental stages from S1-S7 measurements.

deYoung, 1994; Jung et al., 2012), 대서양 멸치(*Engraulis encrasicolus*) 알(Ospina-Álvarez et al., 2012), 대서양 넙치(*Hippoglossus hippoglossus*) 알(Mangor-Jensen and Waiwood, 1995)의 비중실험 결과와 유사하였다. 하지만 이와 다르게 태평양 명태(*Theragra chalcogramma*) 알의 비중은 크게 증가하다가 부화직전에 감소하였고(Kendall and Kim, 1989), 우리나라 해역에 분포하는 엘퉁이(*Maurolicus maurolicus*) 알은 초기에서 후기발생단계로 갈수록 비중이 증가하였다(Kim et al., 2004). 현재까지 발생단계별 알의 비중변화에 대한 원인은 명확히 밝혀져 있지 않으나, 공통적으로 부성란에서 본 실험결과와 유사한 패턴이 관찰된 것은 침성란과 구별되는 생물학적 특징일 것으로 생각된다.

알의 부력($\Delta\rho$)은 환경수(ρ_{water})와 알(ρ_{egg})의 비중 차이로 정의된다(즉, $\Delta\rho = \rho_{\text{water}} - \rho_{\text{egg}}$)(Sundby, 1991). 만약 알의 비중이 주변 환경수의 비중보다 크면 알은 자연히 하강할 것이고, 알의 비중이 환경수보다 낮으면 상승할 것이다. 알과 환경수의 비중이 동일한 지점에서는 정지하는 중성부력을 나타낸다. 고등어의 산란장으로 잘 알려져 있는 제주도 주변해역(Choi, 2003)은 4-6월에 표층수의 수온이 약 13-21°C, 밀도는 1.023-1.026이다(KODC, 2013). 본 조사에서 고등어 알의 평균 비중은 수온 20°C에서 1.021이었기 때문에 알의 비중이 서식지 해수의 비중보다 2.5×10^{-3} 의 범위에서 낮을 것으로 판단된다. 따라서 고등어 알은 강한 부력으로 표층 가까이 떠있을 수 있게 된다. 이와 유사하게 일본산 정어리(*Sardinops melanostictus*) 알은 1.4×10^{-3} (Tanaka and Franks, 2008), 대서양 대구(*Gadus morhua*) 알은 0.5×10^{-3} (Jung et al., 2012)의 범위에서 환경수보다 비중이 낮았다. 대서양 고등어(*Scomber scombrus*)의 경우도 알의 비중이 주변 환경수보다 낮거나 비슷하여 표층으로 갈수록 많은 개체수의 알이 분포하는 것으로 보고된 바 있다(Coombs et al., 2001).

실제 해양환경에서 알의 수직분포는 생물학적(알의 부력, 알의 크기), 물리학적(해수의 밀도, 해수의 점성도, 난류 등) 요인들의 상호관계에 의해 결정된다(Sundby, 1991). 본 연구의 모

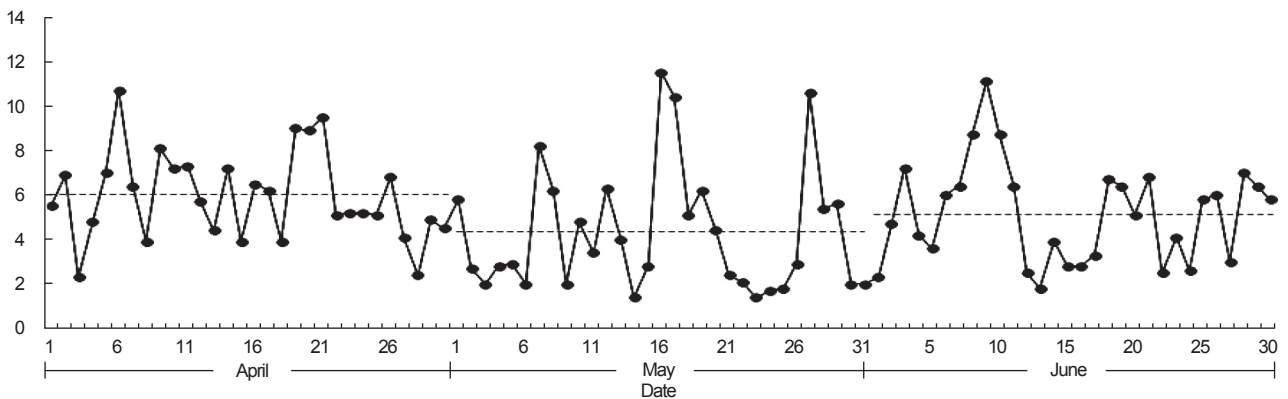


Fig. 7. Daily mean wind speed (m/s) from April to June 2013 measured at the station of Jigwido. The horizontal dotted line indicates average wind speeds in each month.

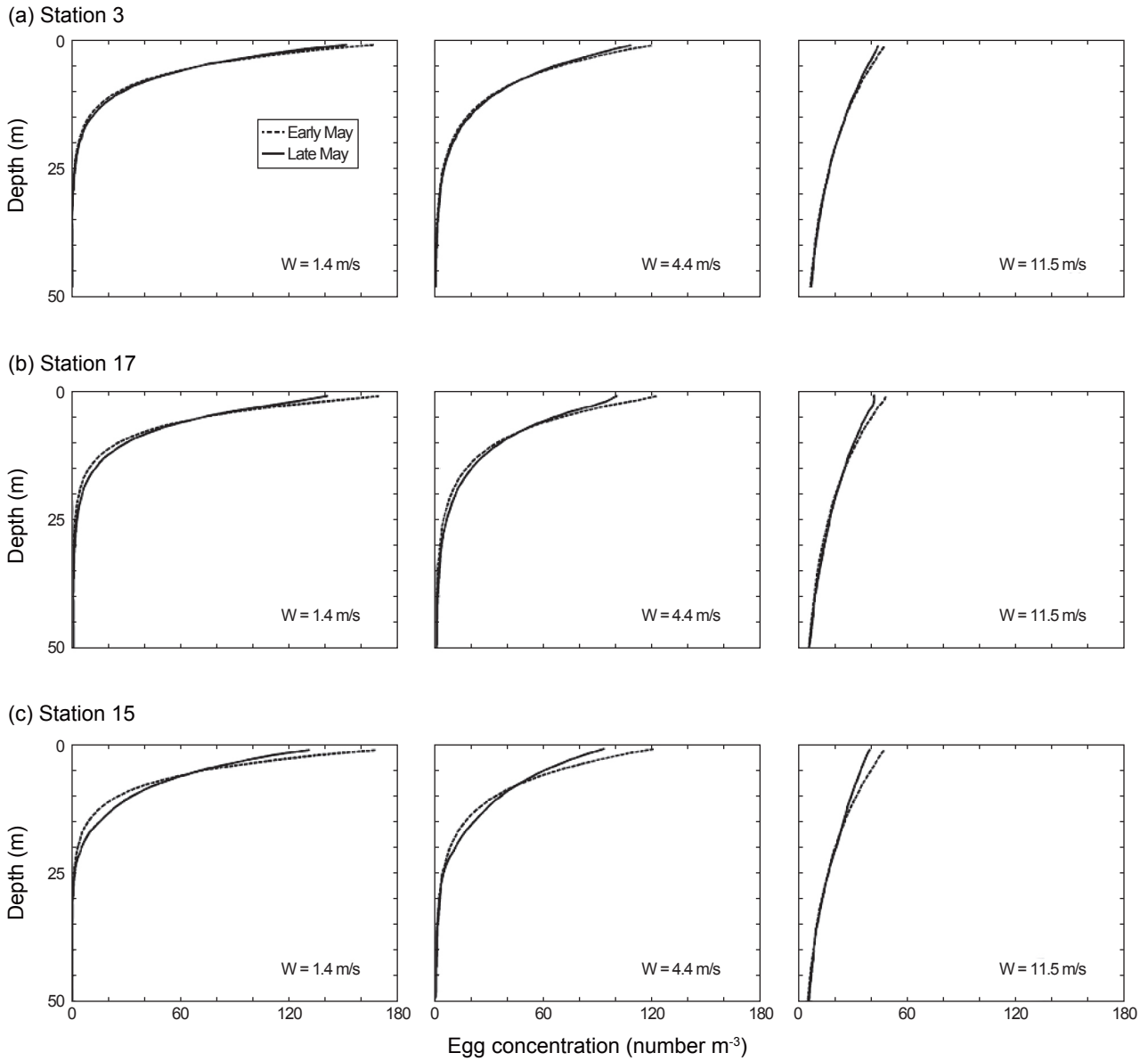


Fig. 8. Theoretically computed vertical distributions of egg concentration under three wind conditions (1.4 m/s, 4.4 m/s, 11.5 m/s) at (a) station 3, (b) station 17, and (c) station 15, using vertical profiles from CTD survey of early May (dotted line) and late May (solid line).

델 결과에서 알의 수직분포는 바람 세기의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다. 5월의 온화하고 평균적인 바람의 세기에서 고등어 알은 표층에 가장 많이 존재하였고 수심이 깊어질수록 지수함수적으로 감소하였다. 알의 최고 분포수심은 약 25 m였다. 같은 조건에서 바람이 3배 이상 강하게 불면 표층의 알 개체 수 밀도는 상대적으로 감소하였고 최고 분포수심은 50 m 부근으로 깊어졌다. 이러한 알의 수직분포 모델결과는 현장에서 실시한 채집결과와 유사하게 나타났다. 미국 서부해역에서 고등

어 알은 수심 176 m에서 발견되기도 하였으나 대부분의 알이 표층에서부터 수심 23 m 이내에 분포하였고(Kramer, 1960), 일본 혼수 연안에서는 고등어 알이 표층에서부터 수심 50 m 이내에 분포하였지만 대부분의 알이 수심 25 m 이내에 분포하여 본 결과와 매우 유사하였다(Watanabe, 1970). 대서양산 고등어 알은 일단 수온약층이 형성된 곳에서는 혼합층에 밀집하게 되지만 그렇지 않은 조건에서는 깊은 수심까지 알이 분포하는 경향이 있다고 한다(Coombs et al., 2001). 표층에서의 강한 바

랍은 아래 방향으로의 수직혼합을 크게 하여 떠오르려는 알의 부력을 상쇄시킬 뿐만 아니라 알을 수층 아래로 밀어내게 된다 (Sundby, 1991; Tanaka and Franks, 2008). 이러한 이유로 현장 조사는 바람의 세기, 수온약층의 깊이, 알의 부력을 모두 고려하여야 고등어 알의 채집효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

제주도 인근해역에서 실시한 5월 말 환경조사에서 등온선은 대마난류수의 영향으로 북동-남서방향으로 뚜렷하게 나타났다. 북쪽과 서쪽해역은 상대적으로 남쪽과 동쪽해역에 비해 표층수온이 낮은 것을 볼 수 있었다. Hunter and Kimbrell (1980)의 고등어 알의 부화기간과 수온의 관계식에 따르면, 알은 15°C에서 4일, 20°C에서 2일의 부화기간이 걸린다. 따라서 같은 시기라도 제주도 북쪽에서 산란된 알은 남쪽에서 산란된 알보다 부화기간이 하루 이상 길어 포식에 의한 사망률이 높아질 수 있음을 유추할 수 있다.

Hunter and Kimbrell (1980)의 실험에서는 수온 14°C 이하에서 고등어 알이 부화하지 않았다. 따라서 알이 수심 50 m까지 분포한다고 가정하면, 5월 초 14°C 부근의 저온이 나타났던 정점 2, 7, 20은 알이 발생하기에 적절하지 못한 환경일 수 있다. 하지만 어미가 서식지 환경에 적응을 했다면 유전적으로 수온에 대한 내성을 자손까지 물려줄 수 있기(Hirshfield et al., 1980) 때문에 우리나라 서식지에서 초기생활사 연구를 통해 이러한 상관관계를 밝힐 필요가 있을 것으로 생각된다. 최근 Hiyama et al. (2002)의 논문에서 동중국해 중부해역의 고등어 주산란장에서 2월부터 6월까지 기록된 표층수 수온과 고등어 산란성공이 반비례관계에 있었지만 다른 산란지역에서는 유의성이 나타나지 않았던 것도 지역개체군마다 고유한 산란특성을 지닐 수 있음을 시사한다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 『수산자원 품종별 포획·채취 금지관련 규정 설정을 위한 연구(RP-2013-FR-101)』의 지원을 받아 수행되었음을 밝히며, 알비중측정기를 대여해 주신 한국해양과학기술원의 김성 박사님, 시료 채집을 도와 준 미래양식연구센터, 실험을 도와준 김맹진 박사님, 이동진 연구원, 김현우 연구원, 김보라 연구원께 깊은 감사의 뜻을 전합니다. 아울러, 본 논문을 심사해 주신 세분의 심사위원님께서도 감사드립니다.

References

- Anderson J and deYoung B. 1994. Stage-dependent density of cod eggs and larvae (*Gadus morhua* L.) in Newfoundland waters. ICES Mar Sci Symp 198, 654-665.
- Cha HK, Choi YM, Park JH, Kim JY and Sohn MH. 2002. Maturation and spawning of the chub Mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn in Korean waters. J Korean Soc Fish Res 5, 24-33.
- Choi YM. 2003. Stock assessment and management implications of chub mackerel, *Scomber japonicus* in Korean waters. Ph.D. Thesis. Pukyong national university, Busan, Korea.
- Coombs SH. 1981. A density-gradient column for determining the specific gravity of fish eggs, with particular reference to eggs of the mackerel *Scomber scombrus*. Mar Biol 63, 101-106.
- Coombs SH, Morgans D and Halliday NC. 2001. Seasonal and ontogenetic changes in the vertical distribution of eggs and larvae of mackerel (*Scomber scombrus* L.) and horse mackerel (*Trachurus trachurus* L.). Fish Res 50, 27-40.
- Hirshfield MF, Feldmeth CR and Soltz DL. 1980. Genetic differences in physiological tolerances of Amargosa pupfish (*Cyprinodon nevadensis*) populations. Science 207, 999-1001.
- Hiyama Y, Yoda M and Ohshimo S. 2002. Stock size fluctuations in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea. Fish Oceanogr 11, 347-353.
- Hunter JR and Kimbrell CA. 1980. Early life history of Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. Fish Bull 78, 89-101.
- Hwang HK, Kim DH, Park MW, Yoon SJ and Lee YH. 2008. Effects of water temperature and salinity on the egg and larval of chub mackerel *Scomber japonicus*. J Aquaculture 21, 234-238.
- Jung KM, Folkvord A, Kjesbu OS, Agnalt AL, Thorsen A and Sundby S. 2012. Egg buoyancy variability in local populations of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Mar Biol 159, 1969-1980.
- Kendall AW and Kim S. 1989. Buoyancy of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) eggs in relation to water properties and movement in Shelikof Strait, Gulf of Alaska. Can J Fish Aquat Sci 108, 169-180.
- Kim DH, Kim DJ, Yoon SJ, Hwang HG, Kim EO, Son SG and Kim JK. 2008. Development of the eggs, larvae and juveniles by artificially-matured Pacific mackerel, *Scomber japonicus* in the Korean waters. J Kor Fish Soc 41, 471-477.
- Kim JY, Kang YS and Jeong HD. 1999. Long-term variations in population biomass of mackerel, *Scomber japonicus* and environmental factors in Korean waters. J Korean Soc Fish Res 2, 92-100.
- Kim S, Yoo JM and Lee EK. 2004. Density changes of *Maurolicus muelleri* eggs during development. Korean J Ichthyol 16, 331-335.
- KMA. 2013. Monthly report of marine data. Korea meteorological administration, Seoul, Korea.
- KODC (Korea Oceanographic Data Center). 2013. Retrieved from <http://kodic.nfrdi.re.kr>.
- Kramer D. 1960. Development of eggs and larvae of Pacific mackerel and distribution and abundance of larvae 1952-1956. Fish Bull 174, 393-438.
- Mangor-Jensen A and Waiwood KG. 1995. The effect of light exposure on buoyancy of halibut eggs. J Fish Biol 47, 18-25.
- Myksovoll MS, Sundby S, Ådlandsvik B and Vikebø FB. 2011.

- Retention of coastal cod eggs in a fjord caused by interactions between egg buoyancy and circulation pattern. *Mar Coastal Fish: Dyn Man Ecosys Sci* 3, 279-294. <http://dx.doi.org/10.1080/19425120.2011.595258>.
- Myksvoll MS, Jung KM, Albretsen J and Sundby S. 2013. Modelling dispersal of eggs and quantifying connectivity among Norwegian coastal cod subpopulations. *ICES J Mar Sci*, <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fst022>.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2010. Ecology and fishing grounds for some major fish in Korean waters. NFRDI, Busan, Korea.
- Nissling A. 2004. Effects of temperature on egg and larval survival of cod (*Gadus morhua*) and sprat (*Sprattus sprattus*) in the Baltic Sea – implications for stock development. *Hydrobiol* 514, 115-123.
- Ospina-Álvarez A, Palomera I and Parada C. 2012. Changes in egg buoyancy during development and its effects on the vertical distribution of anchovy eggs. *Fish Res* 117-118, 86-95.
- Park CK, Yeon IH, Choi NH, Heo SJ, Han KH and Lee WK. 2008. Egg development and morphology of larva and juvenile of the chub mackerel, *Scomber japonicus*. *Dev Reprod* 12, 207-213.
- Parada C, Van Der Lingen CD, Mullon C and Penven P. 2003. Modelling the effect of buoyancy on the transport of anchovy (*Engraulis capensis*) eggs from spawning to nursery grounds in the southern Benguela: an IBM approach. *Fish Oceanogr* 12, 170-184.
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Sundby S. 1983. A one-dimensional model for the vertical distribution of pelagic fish eggs in the mixed layer. *Deep Sea Res* 30, 645-661.
- Sundby S. 1991. Factors affecting the vertical distribution of eggs. *ICES Mar Sci Symp* 192, 33-38.
- Sundby S, Boyd AJ, Hutchings L, O'Toole MJ, Thorisson K and Thorsen A. 2001. Interaction between Cape hake spawning and the circulation in the Northern Benguela upwelling ecosystem. *S Afr J Mar Sci* 23, 317-336.
- Tanaka Y and Franks PJS. 2008. Vertical distributions of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) eggs: comparison of observations and a wind-forced Lagrangian mixing model. *Fish Oceanogr* 17, 89-100.
- Watanabe T. 1970. Morphology and ecology of early stages of life in Japanese common mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn, with special reference to fluctuation of population. *Bull Tokai Regional Fish Res Lab* 62, 1-283.
- Yamada U, Tokimura M, Horikawa H and Nakabo T. 2007. Fishes and fisheries of the East China and Yellow Seas. Tokai University Press, Kanagawa, Japan.
- Ådlandsvik B. 2000. VertEgg: a toolbox for simulation of vertical distribution of fish eggs. Institute of Marine Research, Bergen, Norway.