

## 북쪽말뚝성게(*Strongylocentrotus intermedius*)의 난발생과 유생의 발달

이채성\* · 김완기 · 김두호 · 정세한<sup>1</sup> · 박기영<sup>2</sup>

국립수산물과학원 강릉수산물표시시험장

<sup>1</sup>동해수산연구소, <sup>2</sup>강릉대학교 해양생명공학부

## Effect of Temperature on the Development of Egg and Larvae of Sea Urchin (*Strongylocentrotus intermedius*)

Chae-Sung Lee\*, Wan-Ki Kim, Doo-Ho Kim, Se-Han Jeong<sup>1</sup> and Kie-Young Park<sup>2</sup>

Gangnung Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Gangnung 210-800, Korea

<sup>1</sup>East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Gangnung 210-800, Korea

<sup>2</sup>Division of Marine Bioscience and Technology, Gangnung National University, Gangnung 210-702, Korea

Effect of temperature (5, 10, 15, 18, 21°C) on pre-and post-embryonic development of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* was studied. The egg, which measured 122.5 µm, became globular. At 18°C, it attained 4 celled stage at 3 hours after fertilization, hatched after 15 hours, 4-armed larval stage after 3 days and 8-armed larval stage after 20 days. The relationships between temperature (WT) and time (t, hour) required for each of the selected developmental stages are:

Hatching:  $1/t=0.0036WT+0.0088$

Pyramid:  $1/t=0.0014WT-0.0016$

4-armed:  $1/t=0.0009WT-0.0020$

6-armed:  $1/t=0.0004WT-0.0005$

8-armed:  $1/t=0.0002WT+0.0002$

Biological minimum temperature for the egg and larval development is calculated as 1.61°C.

**Keywords:** Sea urchin, Egg, Development, Larva, Temperature

### 서 론

북쪽말뚝성게, *Strongylocentrotus intermedius*는 우리나라 동해안에 주로 서식하며, 조간대에서부터 수심 35 m 되는 곳까지 분포한다(柳, 1995). 또한 우리 나라에서 생산되는 산업성을 가진 성게중 가장 심해산으로서 다른 종에 비하여 생식소의 양과 질이 우수하여 생산되는 전량이 고가로 수출되고 있다(Lee and Baik, 1995).

성게의 어업 생산량은 1986년에 7,751톤으로 최대를 보인 후 매년 감소하여 2001년에는 1,454톤으로 자원량이 급격히 감소하였다(해양수산부, 2002). 그러므로 연안자원의 증강과 지속적인 어업인 소득증대를 위하여, 수산물 수입개방에 대처하기 위

해서는 인공종묘생산에 의한 방류사업이 절실히 요구되고 있으며, 대량 종묘생산을 위한 기초기술 개발에 관한 연구가 더욱 진행되어야 한다.

성게의 종묘생산에 관한 연구로는 보라성게, *Anthocidaris crassispina*에 대하여 角田·中村(1974a, b)의 부유유생기 적정 먹이생물에 대한 연구와 Rho and Park(1986)의 난발생, 채묘 및 새끼성게의 초기성장에 대한 연구 및 Kang et al.(1993)의 산란유발, 유생사육 및 채묘에 미치는 수온과 염분의 영향에 대한 연구가 있으며, 분홍성게, *Pseudocentrotus depressus*와 말뚝성게, *Hemicentrotus pulcherrimus*에 관해서는 角田(1978a, b), 伊藤等(1980)의 종묘생산에 관한 보고 등이 있다. 그러나 북쪽말뚝성게에 대하여는 波邊·小形(1980)의 부유유생 사육시의 환수방법과 Lee and Baik(1995)의 유생에 대한 먹이효과 등이 있으나 종묘생산에 필요한 난발생과 유생발달에 관한 연구는 부

\*Corresponding author: cslee@nfrdi.re.kr

족한 실정이다.

따라서 본 연구는 북쪽말뚝성게의 인공종묘생산을 위하여 인위적으로 수정시켜 알과 유생의 발달과정 및 수온에 따른 발생속도를 조사하였다.

### 재료 및 방법

실험에 사용한 북쪽말뚝성게 어미는 2001년 10월에 강원도 양양군 현남면 남애리 앞바다에서 채포한 것으로 암컷 5마리(각경:  $73.5 \pm 2.3$  mm, 전중:  $161.7 \pm 10.2$  g), 수컷 5마리(각경:  $72.8 \pm 2.7$  mm, 전중:  $157.4 \pm 8.7$  g)를 사용하였다. 채집된 북쪽말뚝성게는 24시간 동안 깨끗한 콘크리트 수조에 수용하여 배설물을 배출시킨 후 산란유발을 실시하였다.

산란유발은 KCl 용액 주사법(湯川·石渡, 1986)으로 성게의 입주위에 0.5 N KCl 용액을 1~2 mL 주사하여 자극시켰고, 자극에 의해 산란된 알과 정자를 각각 분리하여 받은 후 인공수정시켰으며, 수정난은 50  $\mu$ m 물러가제에 의해 수집하여 여과해수로 3회 정도 세란하였다.

수온별 초기발생 속도를 알기 위하여 30×40×30 cm의 사각플라스틱 수조 7개에 온도조절기를 사용하여 수조내의 수온을 5, 10, 15, 18, 21 및 24°C로 유지시킨 후 2 L 유리수조에 수정란을 2개체/mL 밀도로 수용하였으며, 수용밀도는 1 mL 피펫으로 3회 반복 계수하였다. 각 단계별 소요시간은 400시간까지 측정하였다.

먹이는 *Chaetoceros calcitrans*를 4완기부터 10<sup>4</sup> 세포/mL로 공급하였으며, 성장함에 따라 먹이량을 증가시켜 8완기에는 3×10<sup>4</sup> 세포/mL의 밀도로 공급하였다. 사육방법은 지수식으로 매일 오전 8시에 사육수의 1/2씩 환수하였으며, 사육수는 모래여과로 1차 여과한 후 1  $\mu$ m 카트리지를 여과기로 2차 여과하여 사용하였다. 유생의 안정을 위하여 차광막으로 조도를 50 lux 이하로 낮추어 주었으며, 유생과 먹이생물의 균일한 분포와 용존산소의 보충을 위하여 연속적으로 소량의 포기를 해주었다.

각 단계의 알과 유생의 크기 및 발달과정은 30개체를 무작

위로 추출하여 체장은 만능투영기(Nikon V-12A)로 측정하였으며, 사진은 현미경(Olympus CH-2)을 이용하여 촬영한 후 형태변화와 발생단계별 소요시간을 관찰하였다.

### 결 과

#### 난발생 및 유생의 발달

북쪽말뚝성게 어미로부터 KCl 용액 주사법으로 얻어진 알과 정자를 18°C에서 인공수정시켜 발생과정을 Table 1에 나타내었다. 북쪽말뚝성게의 수정란은 직경  $123 \pm 1.7$   $\mu$ m(Fig. 1A)로 수정 후 1시간 30분이 지나면 제1차 난할을 하여 2세포기로 되며(Fig. 1B), 수정 후 3시간이 되면 4세포기, 4시간 30분이 경과하면 8세포기가 된다. 수정 후 15시간이 경과하면 부화가 시작되는 포배기에 이르며, 수정 후 27시간이 지나면 원장이 합입되는 낭배기로 된다(Fig. 1C).

수정 후 43시간 뒤에는 체장  $260 \pm 12.6$   $\mu$ m의 피라미드기가 되며(Fig. 1D), 이 후 3일째에는 입의 전후에서 각각 1쌍의 팔이 생겨 체장  $469 \pm 18.3$   $\mu$ m의 4완기 유생이 된다(Fig. 1E). 이때 입 뒤쪽의 1쌍의 팔이 앞쪽의 팔보다 일찍 성장하며, 체내에서는 소화기관이 형성된다. 수정 후 8일째에는 입 뒤쪽의 등으로부터 새로운 1쌍의 팔이 형성되어 체장  $540 \pm 26.5$   $\mu$ m의 6완기 유생이 된다(Fig. 1F). 수정 후 13일째에는 입 앞쪽으로부터 다시 1쌍의 팔이 형성되어 체장은  $624 \pm 35.2$   $\mu$ m의 8완 전기유생이 된다(Fig. 1G). 그 후 4쌍의 팔들은 사육일수의 경과에 따라 성장을 계속하여 수정 후 17일째 제일 긴 팔(체장  $701 \pm 38.9$   $\mu$ m)로 된 후, 수정 후 20일째에는 팔의 크기가 작아지고(체장  $636 \pm 38.6$   $\mu$ m), 선단부가 둥글게 되면서 몸체가 커지게 되며, 관족이 점차로 형성되어 변태가 촉진되는 8완 후기유생(Fig. 1H)이 된다. 그리고 수정 후 24일째 새끼성게로 되며, 이때 크기는 각경  $350 \pm 21.8$   $\mu$ m이다(Fig. 2).

#### 유생의 단계별 소요시간

수온에 따른 각 단계까지의 소요시간은 Table 2와 같다. 수정란은 수온 10, 15, 18, 21°C에서 부화기까지 각각 23.5, 27.2, 15.1, 12.4시간이 소요되었으며, 6완기까지는 각각 315.0, 221.0, 174.0, 143.0시간이 소요되었다. 그리고 8완기에 도달하는 시간은 15, 18, 21°C에서 각각 376.0, 304.0, 272.0시간이 소요되었으나, 10°C이하에서는 400시간 이상이 소요되었다.

이러한 결과를 그림으로 나타냈을때 (Fig. 3), X축은 수온, Y축은 시간의 역수를 나타내고 있으며, 각 단계별 소요시간(t, hour)과 수온(WT, °C)과의 관계식은

$$\text{부화기: } 1/t = 0.0036WT + 0.0088$$

$$\text{피라미드기: } 1/t = 0.0014WT - 0.0016$$

$$\text{4완기: } 1/t = 0.0009WT - 0.0020$$

$$\text{6완기: } 1/t = 0.0004WT - 0.0005$$

$$\text{8완기: } 1/t = 0.0002WT + 0.0002 \text{로 표시되었다.}$$

**Table 1.** Development of sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* at 18°C

Stage	Elapsed time after fertilization	Size ( $\mu$ m, egg diameter or body length)
Fertilized egg	0	$123 \pm 1.7$
2 cells	1 hrs. 30 mins.	
4 cells	3 hrs.	
8 cells	4 hrs. 30 mins.	
16 cells	5 hrs. 50 mins.	
Blastula	15 hrs.	
Gastrula	27 hrs.	
Pyramid	2 days	$260 \pm 12.6$
4 armed	3 days	$469 \pm 18.3$
6 armed	8 days	$540 \pm 26.5$
8 armed (Junior)	13 days	$624 \pm 35.2$
8 armed (Senior)	20 days	$636 \pm 38.6$
Young sea urchin	24 days	$350 \pm 21.8$

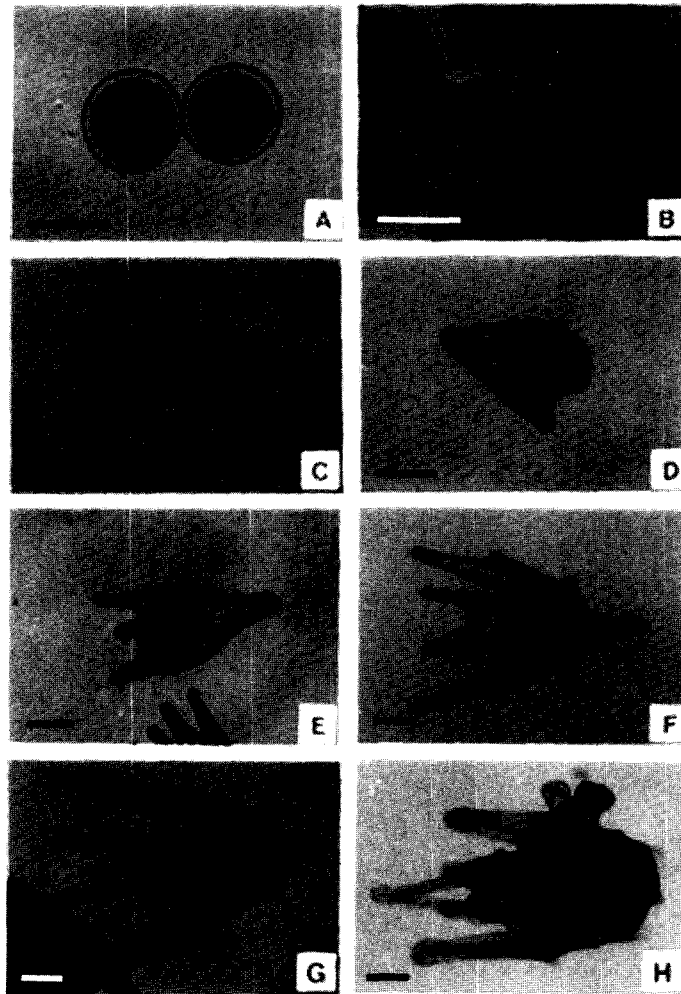


Fig. 1. Development of egg and larvae of *Strongylocentrotus intermedius*. A. Fertilized egg; B. Two-cells stage; C. Gastrula stage; D. Pyramid stage; E. Four-armed stage; F. Six-armed stage; G. Eight-armed (Junior) stage. Scale bar is 100  $\mu$ m.



Fig. 2. Young sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. Scale bar is 100  $\mu$ m.

이들 관계식에 의해 Y축이 0일 때 회귀직선이 X축에 접하는 수온, 즉 북쪽말뚝성계의 발생에 있어서 유생의 발달이 진전되지 않는 생물학적 기초수온은 평균은 1.61°C로 산정되었다.

Table 2. Relationships between water temperature and required time (hours) to each development stage after fertilization in *Strongylocentrotus intermedius*

Stages	Water temperature (°C)					
	5	10	15	18	21	24
Hatching	29.5	23.5	17.2	15.1	12.4	10.5
Pyramid	157.0	86.1	48.3	43.2	39.6	34.3
4 armed	293.0	178.0	85.0	69.0	56.0	51.5
6 armed	NO*	315.0	221.0	174.0	143.0	125.0
8 armed	NO	NO	376.0	304.0	272.0	D**

\*NO: not observed within 400 hours

\*\*D: dead.

Fig. 4는 발생단계에 이르는 소요시간과 수온에 대한 회귀직선식 및 생물학적 기초수온을 이용하여 도출한 것으로서 X축은 소요시간을, 좌측의 Y축은 각 발생 수온에서 생물학적 기초수온을 뺀 수온의 시간적인 적산치, 우측의 Y축은 각 발생단계의 번호를 표시하였는데, 4완기까지의 시간에 대한 적산수온은 평균 약 1,000°C, 8완기까지는 약 5,100°C로 나타났다.

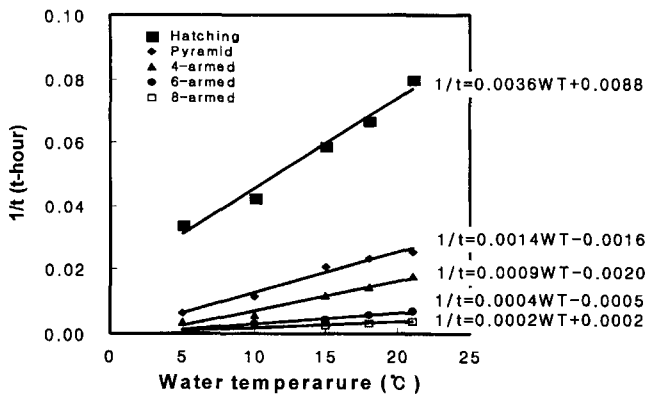


Fig. 3. Relationships between water temperature and the required time for each developmental stage of *Strongylocentrotus intermedius*.

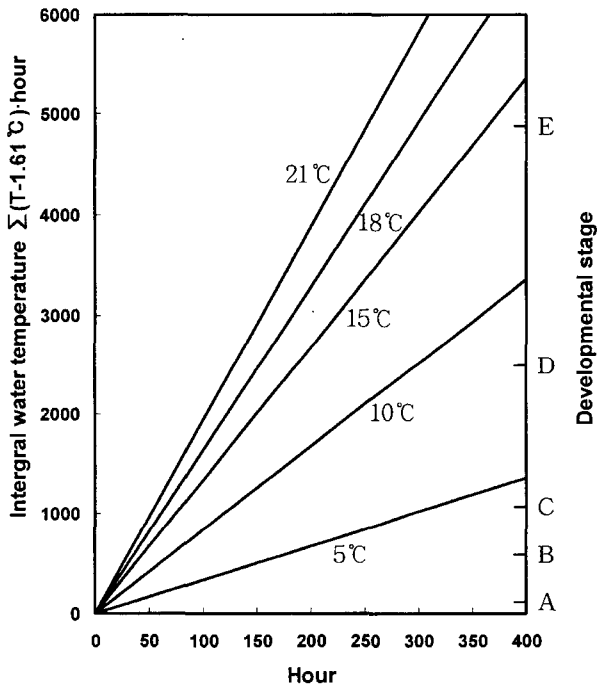


Fig. 4. Relationships between required time for each developmental stage of *Strongylocentrotus intermedius* and integral water temperature. A. Hatching; B. Pyramid; C. Four-armed; D. Six-armed; E. Eight-armed.

### 고 찰

성게의 유생은 4완기부터 8완기까지는 체구성 부위의 발달이 현저히 진행되고, 그 이후 8완 후기가 되면 부착을 위한 관족이 나타나며, 극이 출현하기 시작하여 분화가 이루어진다.

북쪽말뚱성게의 수정란은 122.5 μm로 140 μm인 보라성게(Rho and Park, 1986)보다는 작았으나 118~123 μm인 분홍성게(丹下, 1983)와는 비슷하였다. 말뚱성게의 수정란 발생에 대해 岡田·宮内(1954)는 수온 10~15°C에서 수정 후 9시간만에 상실기, 14~16시간 후에 포배기 그리고 32시간 후에 낭배기에 달했다고 보고하였으며, Rho and Park(1986)은 보라성게에 대

하여 수온 21.6~23.9°C에서 수정 후 1시간만에 제 1낭할이 개시되었고, 5시간 후에는 상실기, 10시간 후에는 부화된 포배기 그리고 22시간 후에는 낭배기에 달했다고 보고하였다. 본 연구에서는 수온 18°C에서 15시간 만에 부화가 시작되는 포배기로 되었으며, 27시간 후에는 낭배기로 발달하므로써 각 단계별마다 소요시간이 현저한 차이를 보이는데, 이는 수온 차이에 기인한 것으로 판단된다.

湯川·石渡(1986)에 의하면 보라성게는 수온 25°C에서 수정 후 약 23시간에 소화기관이 형성되는 초기 플라테우스(피라미드기)에 달하고, 26~30시간에 유생은 섭식을 시작하는 4완기가 된다고 하였으며, 북쪽말뚱성게는 낭배기 이후 3쌍의 골격이 발달하여 모양이 삼각형으로 변형되고, 소화기관이 형성되기 시작되며, 입과 항문이 생기는 피라미드기 유생이 된다(수정 후 48시간 소요)고 보고하였다(川村, 1980). 본 연구에서는 43시간 뒤 피라미드기가 되었고, 3일째에 4완기로 되어 보라성게에 비하여 발달이 다소 늦은 경향이 있으며, 4완기 유생은 좌우상칭으로 이 시기부터 소화관이 완전하게 형성되어 먹이섭취가 가능하였다.

角田(1978a)에 의하면 사육수온이 약 19°C일 때 말뚱성게는 9일째에는 섬모대가 발달한 8완 전기 유생이 95% 이상 나타났고, 15일째가 되면 후기유생이 50%로 되어 극이 형성된다고 하였다. 한편 분홍성게의 경우 9일째가 되면 42.4%의 유생이 8완 전기유생으로 되었고, 12일째는 성게의 기관이 형성되고 관족형성도 진행되며, 14일째에는 8완 후기유생이 된다고 보고하였다. 본 연구에서는 13일째 8완 전기유생이 되어 성게의 발육기관이 위의 주변에 따라 발달하였고, 20일째에 팔의 길이가 작아지고, 관족이 형성되며, 선단부가 둥글게 되면서 몸 전체가 커지게 되는 8완 후기유생으로 되므로써 角田(1978a)의 보고와는 소요일수의 차이가 컸는데 이는 북쪽말뚱성게는 한해성으로 다른 종에 비하여 최적수온이 낮기 때문으로 생각된다.

북쪽말뚱성게의 수정란은 수온 10, 15, 18, 21°C에서 부화기까지 각각 23.5, 27.2, 15.1, 12.4시간이 소요되고, 6완기까지는 각각 315.0, 221.0, 174.0, 143.0시간이 소요된다. 그리고 8완기에 도달하는 시간은 15, 18, 21°C에서 각각 376.0, 304.0, 272.0시간이 소요됨으로써 성게의 유생은 수온의 영향을 크게 받는다(Kang et al., 1993)는 보고와 일치하였다.

북쪽말뚱성게를 수온별로 나누어 사육한 결과 발생의 생물학적 기초수온은 1.61°C 였는데, Kang et al.(1997)은 산란성기가 3월인 말뚱성게의 생물학적 기초수온은 평균 4.45°C라 보고하고 있어 산란성기가 11월인 본 종이 유생발생의 최적수온이 낮다는 것을 알 수 있다. 한편 난발생속도에 대한 관계식과 생물학적 기초수온을 이용하여 부화기, 피라미드기, 4완기, 6완기, 8완기에 대한 각각의 적산수온을 파악함으로써 현장에서의 중요 생산시 예정 채묘시각을 산출할 수 있어 중요생산의 공정화를 기할 수 있는 기초자료로 이용할 수 있다고 생각된다.

## 요 약

북쪽말뚝성게의 인공종묘생산 기술개발의 일환으로 KCl 용액 주사법으로 채란·채정된 알과 정자를 인위적으로 수정시켜 알과 유생의 발달과정 및 수온에 따른 발생속도를 조사하였다.

북쪽말뚝성게의 수정난은 직경 122.5  $\mu\text{m}$ 의 구형이며, 알의 발생은 18°C에서 수정 후 3시간만에 4세포기로 되고, 15시간이 지나면 부화를 하며, 수정 후 3일째에는 4완기 유생, 13일째에는 8완 전기유생, 20일째에는 8완 후기유생으로 되었다.

수온(T)에 따른 각 단계별 소요시간(t)의 관계를 보면,

부화기:  $1/t=0.0036WT+0.0088$

피라미드기:  $1/t=0.0014WT-0.0016$

4완기:  $1/t=0.0009WT-0.0020$

6완기:  $1/t=0.0004WT-0.0005$

8완기:  $1/t=0.0002WT+0.0002$ 로 표시되었다.

## 참고문헌

- Kang, K. H., K. S. Bang, J. H. Lee and S. K. Yoo, 1993. Influence of water temperature and salinity on spawning induction, larvae rearing and seed collection of sea urchin, *Anthocardaris crassispina*. Bull. Net. Fish. Rev. Dev. Inst., **48**: 157-166 (in Korean).
- Kang, K. H., K. K. Baik and S. H. Wi, 1997. Optimum concentration of potassium chloride (KCl) for the spawning induction and optimum water temperature for larval rearing in sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. Bull. Net. Fish. Rev. Dev. Inst., **53**: 121-126 (in Korean).
- Lee, C. S. and K. K. Baik, 1995. Evaluation of three species of diatoms for rearing larvae of sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*. J. Aquacult. **8**: 317-326 (in Korean).
- Rho, Y. G. and D. W. Park, 1986. Studies on artificial seedling production of sea urchin *Anthocardaris crassispina*. Bull. Net. Fish. Rev. Dev. Inst., **39**: 89-96 (in Korean).
- 角田信夫, 1978a. ウニ類の種苗生産に関する研究-III 浮游幼生の大量飼育について. 水産増殖 **25**(4): 121-127.
- 角田信夫, 1978b. ウニ類の種苗生産に関する研究-IV 底生移行後の稚子の飼育. 水産増殖 **25**(4): 128-133.
- 角田信夫·中村達夫, 1974a. ウニ類の種苗生産に関する研究-I ムラサキウニ浮游幼生の飼育 餌料の検討. 水産増殖 **22**(2): 49-55.
- 角田信夫·中村達夫, 1974b. ウニ類の種苗生産に関する研究-II アカウニ浮游幼生の飼育 餌料の検討. 水産増殖 **22**(2): 56-60.
- 岡田克弘·宮内裕代, 1954. サンショウウニの初期發生標準圖表. 徳島學藝大學研究報告 **5**: 1-70.
- 丹下勝義, 1983. 循環装置によるアカウニ種苗生産の試み. 兵庫水試研報 第21號, 41-49.
- 渡邊 憲·小形 孝, 1980. エゾバフンウニの種苗生産技術開發に関する研究-I 浮游期幼生飼育時における換水方法. 水産増殖 **28**(3): 122-127.
- 柳晟奎, 1995. 淺海養殖. 새롬출판사, 1-605.
- 伊藤義信·伊賀田邦義·有吉敏和·西田隆英, 1980. バフンウニ種苗生産について. 栽培技研 **9**(2): 21-26.
- 川村一廣, 1980. エゾバフンウニのキタムラサキウニの浮游幼生の形態變化について. 北海道立水産試験場報告 第12號, 25-31.
- 湯川 廣·石渡直典, 1986. ムラサキウニ4腕幼生の飼育における餌料要因-I. 成長, 生殘率に及ぼす投餌開始時期の影響. 水産増殖 **33**: 208-212.
- 해양수산부, 2002. 해양수산통계연보. 1316 pp.

원고접수 : 2003년 2월 8일

수정본 수리 : 2003년 4월 3일

책임편집위원 : 이원교