

## 참전복, *Haliotis discus hannai* 유생발생 및 채묘에 미치는 아연독성

서대철 · 최상덕\* · 라성주\* · 양한춘\* · 서해립\*\*

전라남도 수산시험연구소

\*여수대학교 양식학과

\*\*전남대학교 해양학과

### Effects of Zinc Toxicity on Larval Development and Seed Collection of Abalone, *Haliotis discus hannai*

Dae Chol Seo, Sang Duk Choi\*, Sung Ju Rha\*, Han Choon Yang\* and Hae Lip Suh\*\*

Aquaculture Division, Chonnam Fisheries Research Institute, Shinan 535-800, Korea

\*Department of Aquaculture, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

\*\*Department of Oceanography, Chonnam National University, Kwangju 550-757, Korea

In the present study, the zinc toxicity to larval development and seed attachment of the abalone, *Haliotis discus hannai* was obtained under continuous flow through system. The zinc concentration melted from zinc coating pipe for 7 months ranged from  $89.00 \pm 2.55 \mu\text{g}/\ell$  to  $15.23 \pm 2.28 \mu\text{g}/\ell$  ( $Y=0.85M^2-19.71+109.96$ ). Treatments were carried out with zinc concentration 0~160  $\mu\text{g}/\ell$ . The maximum and minimum of fertilization rate were  $87.7 \pm 5.3\%$  in control,  $83.7 \pm 7.6\%$  in zinc concentration 160  $\mu\text{g}/\ell$ , respectively. The maximum and minimum of hatching rate were  $87.5 \pm 4.5\%$  in zinc concentration 10  $\mu\text{g}/\ell$ ,  $79.3 \pm 5.6\%$  in zinc concentration 160  $\mu\text{g}/\ell$ , respectively. Both of the results were not significantly different ( $P>0.05$ ). But the normality rate, setting rate and survival rate of abalone larvae at over zinc concentration 20  $\mu\text{g}/\ell$  decreased rapidly and showed significantly different from those of the other group ( $P<0.05$ ).

Key words : Toxicity, Zinc, Larvae, Seed, Abalone, *Haliotis discus hannai*

### 서론

전복의 종류는 현재 전 세계적으로 약 100여종 이상이 알려져 있으며, 우리나라 연안에는 참전복, *Haliotis discus hannai*을 비롯하여 말전복, 까막전복, 시볼트전복, 오분자기 및 마대오분자기 등이 분포하고 있다(柳, 1979; 권 등, 1993).

전복 종묘생산은 주년 채란을 가능하게 하는 적산수온에 의한 성숙·어미육성 기술확립(西川 등, 1974; 菊地·浮, 1974), 수온, 간출 및 신경절 현탁액(八幡, 1973), 자외선 조사해수(菊地·浮, 1974), 과산화수소수(Morse et al., 1977; 田中,

1978; 二島, 1981), Prostaglandin(Morse et al., 1977)에 의한 산란 유발 기술 향상으로 획기적인 발전을 하였다. 그리고 수정란에서 부유유생 및 착저 포복유생의 형태변화(關·管野, 1981), 전복류의 족척(足蹠)에서 분비되는 mucous trail에 대한 선택적 피면자 유생 착저(關·管野, 1981)와 신경전달 물질의 착저변태 유기효과의 검정(赤繁等, 1981) 등에 관한 연구는 효과적인 채묘기술에 이용되고 있다. 또한 전복 질병에 관한 연구로는 패각괴사증 발생과 실태(Choi et al., 1998), 근육 위축증 발생원인과 대책(Choi and Lee, 1998; Choi and Kim, 1999) 등이 있다. 이와 같이 전복

종묘생산의 기술 확립에 따라 최근에는 종묘생산 단계에서 양성단계에 이르기까지 육상수조에서 완전양식이 이루어지고 있다(전 등, 1998).

아연도관을 사용하여 해수를 공급하고 있는 전북 종묘배양장에서는 부화 후 유생 착저와 변태 시기에 높은 사망률을 나타내어 생산량 감소로 인해 산업적으로 큰 피해를 보고 있다. 이러한 전북 유생의 변태과정에 있어서의 대량 폐사는 여러 가지 요인 중에서도 아연성분의 영향이 가장 큰 요인중의 하나로 추정되고 있다. 아연은 주로 생활하수나 산업폐수에서 유래되는 중금속의 일종으로서, 이러한 중금속들은 생물체에 대해 독성효과를 나타내기 때문에 수중환경이나 생태계에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히 아연은 어류의 척추골 형성과 담치류, 굴과 같은 패류나 갑각류의 껍질형성시 탄산칼슘의 침적을 저해하는 효과를 나타낸다(Zirino and Yamamoto, 1972; Chang et al., 1996).

전북의 경우 수정, 부화 후 변태하는 과정에서 패각을 형성하게 된다. 아연성분이 전북의 유생 시기에 미치는 영향에 대한 연구로는 캘리포니아 연안의 산업폐수 및 생활하수에 함유된 아연성분이 red abalone (*Haliotis rufescens*)의 유생에 미치는 영향에 관한 연구 (Hunt and Anderson, 1989) 이 외에는 잘 알려지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 전북 종묘배양장에서 아연도관을 사용했을 시, 아연도관을 통해 유입된 사육수에 용해되어있는 아연의 농도를 조사하고, 아연 성분이 전북의 수정과 부화, 유생 발생 과정 및 생존에 미치는 영향 등을 조사하여 전북 종묘배양장에서 발생하고 있는 문제점을 해결하는데 기여하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 아연도관에서 용출된 아연농도 조사

아연도관을 통해 유입된 해수의 아연 용출량의 조사하기 위하여 전라남도 수산시험연구소에서 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 해수는 전라

남도 신안군 지도읍 연안에서 채수하여 사용하였다. 수온과 DO는 수질측정기(Hydrolab, Data Sonde III+Scout II), pH는 pH meter (Mettler Toledo) 그리고 염분은 염분계(Tsurumi model E-2)를 이용하여 각각 측정하였다.

단기간 실험은 200 ℓ 용량의 FRP수조에 해수 50 ℓ 를 채우고 1/5 HP 순환양수기(신한일전기, PB-36-P co.)에 직경 20 mm, 길이 50 cm의 아연도관을 연결하여, 해수를 39분과 78분 동안 반복 통과시켰다. 이는 전북 종묘배양장에서 사용하고 있는 아연도관이 직경 150 mm, 길이 300 m 와 600 m 이고, 이 관을 통해 20 HP의 양수기로 취수하였을 때, 취수량이 2.4 ton/min인 점을 고려하여 계산된 것이다. 그리고 아연관을 통과하지 않은 해수를 대조구로 선정한 후, 아연관 통과 전후의 아연 용출량을 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1998)에 준하여 조사하였다. 해수에 용출된 아연 농도를 pH 4~5에서 유기착화제(킬레이트)에 의해 비극성 유기금속화합물을 형성한 후 클로로포름(CHCl<sub>3</sub>) 등의 유기용매로 추출하였고, 유기용매에 의해 추출된 시료는 청정상태에서 열판을 이용 휘발 건조시킨 후 잔유물을 질산용액에 재용해한 다음 전열 흑연로를 이용한 원자흡광광도계(ICP-AS, JY-38S, 프랑스)에 의해 측정하였다. 단기간 실험 종료 후, 지속적인 아연 용출 농도를 알기 위해 동일 양수기를 이용하여 실험용 아연도관으로 해수를 연속적으로 통과 시킨후, 아연도관으로부터 매일 50 ℓ 의 해수를 7개월 동안 채취하여 단기간시험과 같은 방법으로 아연농도를 측정하였다.

### 2. 실험용 모래 및 산란자극

실험용 모래는 국립수산진흥원 원도수산종묘배양장에서 1996년부터 직경이 2 m인 원형 FRP (2.0 ton) 수조에서 유수식으로 관리해 온 것을 사용하였다. 실험에 사용된 참전복 모래의 각장은 9.8 cm (7.5~12.5 cm)였고, 난소와 정소가 충분히 성숙된 암컷 6마리와 수컷 4마리를 취하여 간출 자극(음건 50분, 양건 10분)을 시킨 후, 5 μm

housing filter와 자외선 조사기를 통과한 해수에 수용하여 간출자극 및 자외선 조사를 병행하였다.

### 3. 체 란

총 10마리의 모패 중 암컷 2마리와 수컷 2마리로부터 수정란을 얻을 수 있었다. 1 ℓ 유리비이커에 해수를 500 ml씩 채운 후, 각 시험구에 zinc sulfate (sigma)를 첨가하여 아연농도가 0, 10, 20, 40, 80, 160 µg/ℓ 씩 되도록 하였다. 그리고 수정은 300립의 난을 각 시험구에 수용한 후, 정자 10만/ml로 수정시켜 과다한 정자로 인한 난막의 붕괴현상을 방지하였다. 수정 시간은 3분이 넘지 않게 하였으며 수정이 끝난 후 5 µm housing filter와 자외선 조사기를 통과한 여과 해수를 채운 소형 수조(50 ℓ)에 50 µm net를 설치하여 세란을 함으로써 알의 충격을 최소화하고 부화 후의 유생 사육시 깨끗한 수질을 유지시킬 수 있도록 하였다.

### 4. 아연독성 실험

아연 독성실험에서는 실험용 모패로부터 얻어진 난과 정액을 이용하여 아연독성이 수정율, 부화율, 정상 유생 발생율, 생존율 및 채묘율에 미치는 영향을 조사하였다. 실험에 사용된 아연의 농도는 0, 10, 20, 40, 80, 160 µg/ℓ 였다. 수정율, 부화율, 정상유생발생율, 생존율 조사는 관찰을 용이하게 하기 위하여 각 농도의 아연이 희석된 시험수가 채워진 1 ℓ 유리비이커에 수용하여 조사하였고, 채묘율 조사에는 20 ℓ 원형수조가 사용되었다. 각 농도별 1 ℓ 유리비이커에는 여과해수를 500 ml 채우고 1 ml 피펫을 이용하여 각 농도에서 수정시킨 300립의 난을 수용하였다. 100 ℓ polypropylene 수조에 수용된 수정란은 아연이 각 농도별로 희석된 20 ℓ 원형실험수조에 10 ℓ의 시험수를 채우고 30 ml 피펫을 이용하여 수정란을 20,000립씩 수용하였다. 20 ℓ 원형수조는 모두 같은 수온을 유지하기 위하여 1×8 m의 직사각형수조에 수심 50 cm를 채우고 수용하여 관리하였다.

수정 후 부화까지의 발생 속도는  $1/t=0.00640T-0.0502$  ( $t$ : 시간,  $T$ : 수온)로, 본 실험에서는 수정시 수온이 21.9℃로 수정 후 약 10시간 후부터 유생이 난막으로부터 부화하여 초기 피면자기로 성장하였다. 실험기간동안의 pH, 염분, 온도 및 DO 측정은 일일 1회 오전 10시에 측정하였다. 유생의 정상발생율을 관찰하기 위하여 48시간 후 유생을 50 µm net로 채집하여 5% 포르말린 완충액에 고정시킨 후 정상발생율을 조사하였다. 정상발생율 조사는 유각 형성 후 유각의 모양이 매끄러운 곡면을 가진 유생을 정상유생으로 판정하였다(Fig. 1). 그리고 일부분 또는 전체적으로 심한 굴곡을 가지거나 껍질이 분해된 유생은 비정상 유생으로 판정하였다(Fig. 2). 채묘시기는 유생의 제1상족 축각이 나타나는 시점을 기준으로 하여 배양 3일째에 먹이생물인 규조류(*Navicula* sp., *Platymonas* sp.)가 잘 부착된 30×40 cm 투명 플라스틱 파판을 각 시험구별로 2장씩 넣어서 유생의 부착 기질을 만들어 주었고, 배양 5일째 파판에 부착한 유생의 채묘율을 조사하였다.

### 5. 통계 처리

모든 실험은 3회 반복하여 실시하였고, 유의성 검정은 student's t-test 방법을 사용하여 P 값이 0.05 이하일 경우 유의 하다고 판정하였다.

## 결 과

### 1. 아연도관에서 용출된 아연농도

아연도관에서 용출되는 아연농도는 단기간 실험에서는 Table 3과 같이 대조구에서는 11.1 µg/ℓ 이 검출되었으며, 39분과 78분을 반복통과 시킨 실험구에서는 아연이온이 각각 48.7 µg/ℓ 과 97.5 µg/ℓ 씩 검출되었다. 이때 사용된 수질의 조건은 Table 1과 같이 수온, 염분농도, pH 및 용존산소량은 각각  $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,  $28.58 \pm 0.05\text{‰}$ ,  $7.6 \pm 0.2$  및  $7.2 \pm 0.3 \text{ mg/ℓ}$  였다.

실험용 아연도관에 해수를 통과시킨 후, 7개월 동안 아연도관으로부터 용출된 아연농도는 Fig. 3

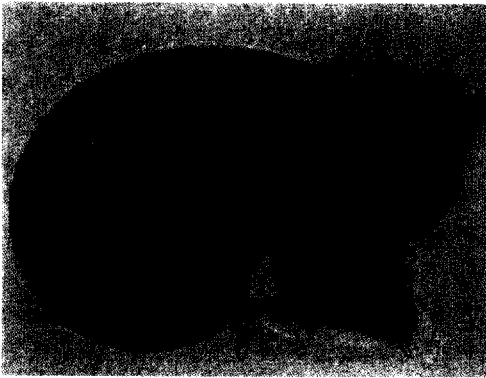


Fig. 1. Normal 48h-old veliger larva of *Haliotis discus hannai*, smooth shell contour and calcified striations,  $\times 100$  (control).

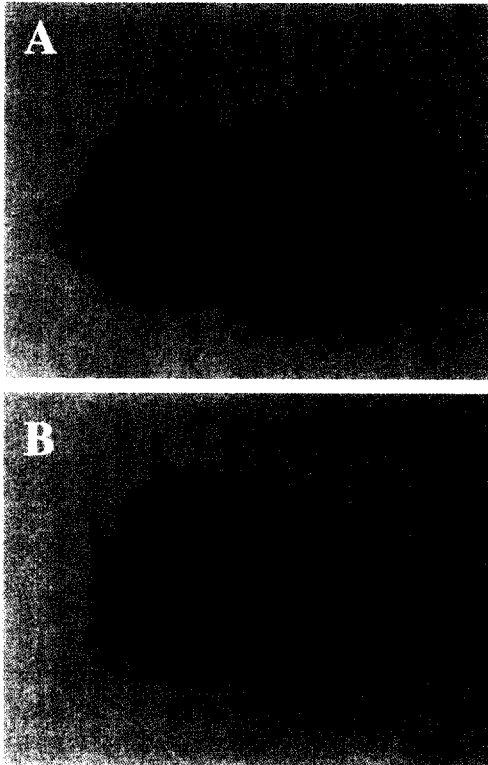


Fig. 2. Abnormal 48h-old veliger larva of *Haliotis discus hannai*, severe shell deformity,  $\times 100$ . A, zinc concentration  $40 \mu\text{g/l}$ ; B, zinc concentration  $80 \mu\text{g/l}$ .

Table 1. Water quality in experimental tanks during test period

Dissolved Oxygen (mg/l)	pH	Salinity (‰)	Water temperature (°C)
$7.2 \pm 0.3$	$7.6 \pm 0.2$	$28.58 \pm 0.05$	$23 \pm 0.5$

에서 보는 바와 같이 1개월 후에는  $89 \pm 2.55 \mu\text{g/l}$ , 2개월 후에는  $76 \pm 3.15 \mu\text{g/l}$ , 3개월 후에는  $59.73 \pm 5.37 \mu\text{g/l}$ , 4개월 후에는  $43.20 \pm 3.82 \mu\text{g/l}$ , 5개월 후에는  $32.53 \pm 4.14 \mu\text{g/l}$ , 6개월 후에는  $20.57 \pm 3.05 \mu\text{g/l}$  그리고 7개월 후에는  $15.23 \pm 2.28 \mu\text{g/l}$  로 감소하였다. 이와 같이 시간에 따른 용출 아연농도는  $Y=0.85M^2-19.71+109.96$ (Y; zinc concentration, M; month)의 식으로 나타낼 수 있었다.

## 2. 유생발생에 미치는 아연독성

참전복 유생발생 실험 중 해수의 용존산소량, pH, 염분 및 수온은 Table 2에서 보는 바와 같이 각 농도( $0 \sim 160 \mu\text{g/l}$ )의 아연이 희석된 시험수가 채워진 1 l 유리비이커와 20 l 원형수조에서 용존산소량은 각각  $6.7 \pm 0.2 \sim 7.2 \pm 0.3 \text{ mg/l}$  과  $6.3 \pm 0.2 \sim 7.4 \pm 0.3 \text{ mg/l}$ , pH는  $7.60 \pm 0.3 \sim 7.70 \pm 0.2$ 와  $7.63 \pm 0.2 \sim 7.80 \pm 0.3$ , 염분은  $33.0 \sim 33.1 \text{ ‰}$ 와  $32.5 \sim 33.2 \text{ ‰}$ , 수온은  $19.8 \pm 0.5 \sim 21.9 \pm 0.5 \text{ °C}$  와  $19.4 \pm 0.5 \sim 21.5 \pm 0.5 \text{ °C}$  였다. 그리고 아연농도별 참전복의 수정율과 부화율은 Table 4에서 보는 바와 같이 아연농도  $0 \sim 160 \mu\text{g/l}$  에서 수정율과 부화율은 각각  $83.7 \pm 7.6 \sim 87.7 \pm 5.3\%$  및  $79.3 \pm 5.6 \sim 87.5 \pm 4.5\%$ 였으며, 아연농도에 따른 유의한 차이는 없었다( $P > 0.05$ ).

참전복 유생의 아연농도별 생존율은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 아연농도  $0 \sim 20 \mu\text{g/l}$  에서 생존율은  $56.67 \pm 2.52\% \sim 60.00 \pm 2.00\%$ 로 유의한 차이가 없었으나 ( $P > 0.05$ ), 아연농도  $40 \mu\text{g/l}$  에서  $35.33 \pm 3.79\%$ , 아연농도  $80 \mu\text{g/l}$  에서  $6.33 \pm 4.51\%$ 로 급격히 감소하여 정상유생 발생율에 유의한 차이가 있었다( $P < 0.05$ ). 한편, 아연농도  $160 \mu\text{g/l}$  에서는 생존개체가 나타나지 않았다

Table 2. Water quality in each experimental tanks of zinc 0~160 $\mu\text{g}/\ell$  during experimental period

Time (day)	Group	Dissolved oxygen ( $\mu\text{g}/\ell$ )	pH	Salinity (‰)	Water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	1 $\ell$	7.2 $\pm$ 0.3	7.66 $\pm$ 0.2	33.0	21.9 $\pm$ 0.5
	20 $\ell$	7.4 $\pm$ 0.3	7.65 $\pm$ 0.2	33.2	21.5 $\pm$ 0.5
1	1 $\ell$	6.7 $\pm$ 0.2	7.70 $\pm$ 0.2	33.0	20.5 $\pm$ 0.5
	20 $\ell$	6.5 $\pm$ 0.3	7.63 $\pm$ 0.2	33.2	19.4 $\pm$ 0.5
2	1 $\ell$	6.8 $\pm$ 0.2	7.60 $\pm$ 0.3	33.1	19.8 $\pm$ 0.5
	20 $\ell$	6.3 $\pm$ 0.2	7.68 $\pm$ 0.2	33.2	19.5 $\pm$ 0.5
3	20 $\ell$	6.6 $\pm$ 0.2	7.80 $\pm$ 0.3	32.5	19.5 $\pm$ 0.5

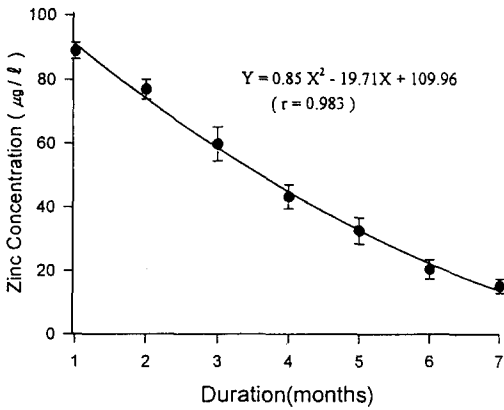


Fig. 3. Changes of zinc concentration melted from zinc coating pipe for 7 months. Symbols and vertical bars show means and standard deviations, respectively.

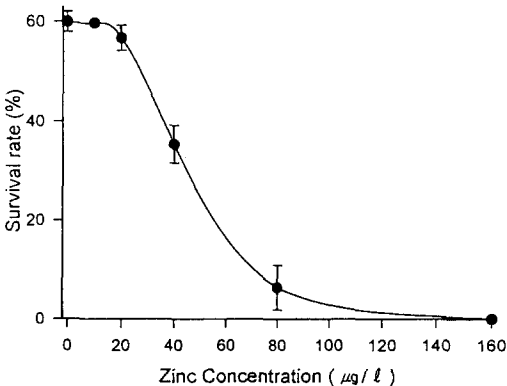


Fig. 4. Survival rate of abalone normal larvae, *Haliotis discus hannai*, in zinc 0~160  $\mu\text{g}/\ell$  for 48h. Symbols and vertical bars show means and standard deviations, respectively.

참전복 유생의 아연농도별 부착기 이전 48시간 동안의 정상유생 발생율은 Fig. 5과 같이 아연농도 0~20  $\mu\text{g}/\ell$  에서 정상유생 발생율은 80.67 $\pm$ 1.53%~85.00 $\pm$ 2.00%로 유의한 차이가 없었으나 아연농도 40  $\mu\text{g}/\ell$  에서 52.33 $\pm$ 4.04%, 아연농도 80  $\mu\text{g}/\ell$  에서 14.33 $\pm$ 6.03%로 급격히 감소하여 정상유생 발생율에 유의한 차이가 있었다 ( $P<0.05$ ). 한편, 아연농도 160  $\mu\text{g}/\ell$  에서는 정상유생의 발생이 거의 나타나지 않았다.

### 3. 채묘율에 미치는 아연독성

아연농도에 따른 참전복 유생의 채묘율은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 아연농도 0, 10, 20  $\mu\text{g}/\ell$  에서 각각 18.50 $\pm$ 0.36%, 17.97 $\pm$ 1.65%와 17.40 $\pm$

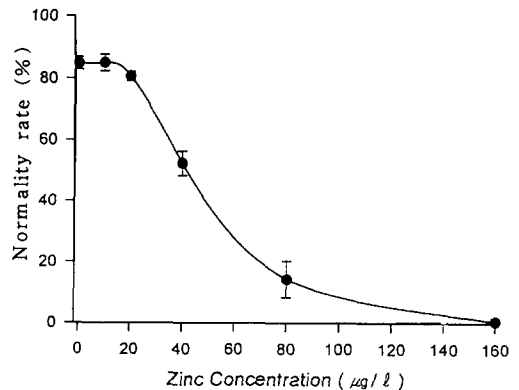


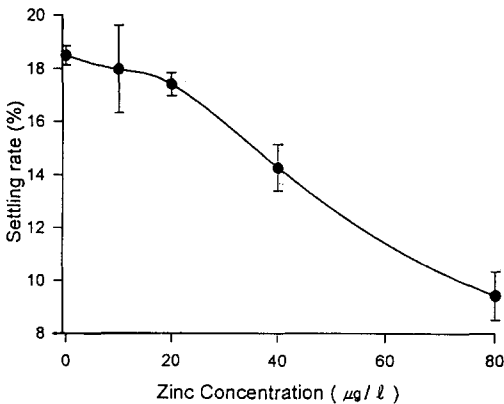
Fig. 5. Normality rate of the abalone larvae, *Haliotis discus hannai* with various zinc concentration. Symbols and vertical bars show means and standard deviations, respectively.

**Table 3. Zinc concentration ( $\mu\text{g}/\ell$ ) melted from zinc coating pipe**

Control	After 39 mins.	After 78 mins.
11.1	48.7	97.5

**Table 4. Fertilization and hatching rate of the abalone, *Haliotis discus hannai*, by zinc concentration**

Zinc concentration ( $\mu\text{g}/\ell$ )	Fertilization rate (%)	Hatching rate (%)
0	87.7 $\pm$ 5.3	85.5 $\pm$ 6.5
10	85.0 $\pm$ 5.6	87.5 $\pm$ 4.5
20	85.7 $\pm$ 4.5	84.8 $\pm$ 5.4
40	86.5 $\pm$ 3.5	86.3 $\pm$ 5.6
80	86.3 $\pm$ 6.4	84.7 $\pm$ 4.2
160	83.7 $\pm$ 7.6	79.3 $\pm$ 5.6



**Fig. 6. Settling rate of the larvae, *Haliotis discus hannai*, in zinc 0~160  $\mu\text{g}/\ell$  for 72h. Symbols and vertical bars show means and standard deviations, respectively.**

0.44%였으며, 농도구간별 유의한 차이가 없었다 ( $P>0.05$ ). 그러나 아연농도 40  $\mu\text{g}/\ell$ 에서 14.26 $\pm$ 0.87%, 아연농도 80  $\mu\text{g}/\ell$ 에서 9.43 $\pm$ 0.93%로 급격히 감소하여 아연농도에 따른 참전복 유생의 채묘율은 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ).

### 고 찰

우리 나라에서 전복 종묘생산은 1976년부터 국

립수산진흥원을 비롯하여 민간 종묘배양장에서 춘계와 추계에 생산하여 현재는 대량 생산체제에 들어가게 되었다. 그러나 전복 종묘생산 과정 중 아연도관을 사용하여 해수를 공급할 경우 아연독성에 의한 참전복의 유생 발생과 채묘율에 커다란 영향을 미친다. 해수에 용출된 아연은 pH와 수온에 의하여 아연이온의 종류와 농도가 달라지며, 패각 형성에 영향을 주는  $\text{Ca}^{2+}$ 이온은 pH가 증가함에 따라 감소한다(Zirino and Yamamoto, 1972). 따라서 참전복 종묘생산 과정 중 아연도관에서 용출되어 나오는 아연농도는 해수의 성상에 따라 다르게 나타날 것으로 생각된다. 본 실험에서 사용한 아연도관의 경우 6개월간 계속 유수하였을 때 아연농도가 20  $\mu\text{g}/\ell$  이하로 낮아졌다. 이러한 결과를 참전복 유생의 경우 20  $\mu\text{g}/\ell$  이하에서 유생 발생과정에 영향을 미치지 않는다는 것과 관련시켜 볼 때 6개월 이상 아연도관에서 아연성분을 용출시킨 후에 사용하는 것이 참전복의 종묘생산에 지장이 없을 것으로 생각된다.

한국산 참전복 모패에서 방출된 난과 정자의 수정율과 부화율은 아연농도 0~160  $\mu\text{g}/\ell$ 의 실험구에서 유의한 차이가 없었다( $P<0.05$ ). 이는 아연독성이 참전복 수정율과 부화율에 영향을 미치지 않았던 것으로 추론된다. 그러나 아연농도에 따른 참전복의 수정란과 부화유생의 세포구조적인 변화에 어떠한 영향을 주었는지에 대해서는 앞으로 많은 연구가 필요하다고 본다.

본 연구에서는 아연농도 20  $\mu\text{g}/\ell$  이상에서 48시간 동안 참전복 유생의 생존율, 정상유생 발생율과 부착률이 현저히 감소하였다. 그러나 red abalone의 경우 48시간 동안 전복에게 아무런 영향을 주지 않는 아연의 평균 농도가 39  $\mu\text{g}/\ell$ 이었고,  $\text{EC}_{50}$ 값 (발육저지나 생식저해가 일어나는 농도)의 아연농도가 69  $\mu\text{g}/\ell$ 였다는 Hunt and Anderson (1989)의 결과와는 차이가 있었다. 또한, 버지니아굴(*Crassostrea virginica*)의 유생에 있어서 48시간 아연독성의  $\text{LC}_{50}$ 값은 340  $\mu\text{g}/\ell$  (Calabrese et al., 1973)였다는 것에 비교하면 참전복의 유생은 훨씬 낮은 아연농도에서 영향을

받았다.

본 연구에서 유생의 활력(유영)은 아연농도가 증가할수록 감소하였으며, 아연농도 80  $\mu\text{g}/\ell$  이상의 시험구에서 참전복 유생은 수조의 중·상층보다는 하층에서 유영하는 비율이 많았다. 참굴(*Crassostrea gigas*)이 1500  $\mu\text{g}/\ell$ 의 아연농도에서 유생의 유영능력이 감소(Chang et al., 1996)하였던 결과에 비해 참전복은 훨씬 낮은 농도에서 유영능력이 감소하였다. 특히, 전복 유생은 아연농도가 높을수록 유각의 일부 또는 전체가 파괴되어 분해된 것들이 관찰되었다. 아연농도 160  $\mu\text{g}/\ell$ 에서 참전복 유생은 모두가 비정상적인 상태였으며, 유각이 파괴되어 분해된 개체가 아연농도 80  $\mu\text{g}/\ell$  이하의 시험구보다 훨씬 증가하였다. 이와 같은 유생의 발달단계에 따른 아연독성의 차이는 생물의 생리적인 차이에 의한 것으로 추정된다.

전복유생의 변태는 생활사 중에서 가장 중요한 과정이며, 부적절한 수질환경으로 인해 정상적인 변태과정을 거치지 못하면 생존할 수 없게 된다. 특히, 칼슘이온은 전복변태에 있어서 중요한 영향을 미치며(Baloun and Morse, 1984), 아연이온은 유생껍질 부분에 칼슘이온의 침적을 저해시키는 중금속이다(Hunt and Anderson, 1989). 이것은 2가 아연 양이온에 의해 껍질 수용체에서 분비하는 2가의 칼슘양이온의 생성이 강하게 저지되어(Hunt and Anderson, 1989), 껍질이 얇아지면서 유생이 파괴되어 분해되는 것으로 생각된다. 특히, calcium, zinc와 cadmium은 껍질 레도에 2개의 전자를 가지는 동일한 원자 구조를 가지고 있고, 동일한 상호작용으로 2가의 양이온 형태를 취하고 있기 때문에 껍질 형성에 아연독성의 장애가 클 것으로 사료된다. 특히, 전복유생의 껍질은 석회질 응고로 방사능이 강화된 후, conchiolin이라는 단백질 모체로 분비되고 성장한다(Crofts, 1937). 피면자기(veliger stage) 전복유생 껍질의 성장은 외투막을 생성하는 유생껍질선에서 세포의 급속한 증가에 의해 좌우되며, 외투막 세포의 더욱 급속한 증가는 껍질침적에 중요한 가장자리 외투막의 주름을 생성한다(Hunt and Anderson,

1989). 또한, Baloun and Morse(1984)에 의하면 아연독성이 전복유생의 변태를 억제하거나 지연시키는 역할을 함으로서 성장과 번식을 저해하였다고 보고하였다.

참전복의 경우 20  $\mu\text{g}/\ell$  이상의 아연농도에서 생존율과 정상발생율은 급격히 감소하였으며, 40  $\mu\text{g}/\ell$ 의 아연농도에서는 50%미만의 생존율과 정상발생율을 나타내었다. 이것은 아연독성에 의한 참전복 유생껍질의 침적이 저해 받았던 것으로 추정된다.

본 연구에서는 아연독성이 전복의 유생 발생과 채묘율에 어떤 영향을 미치는지를 조사하였다. 앞으로 아연외에 다른 종류의 중금속과 수산생물의 독성관계에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

## 요 약

본 연구는 전복 종묘배양장에서 아연도관을 사용했을 때, 관을 통해 유입된 사육수에 용출되는 아연의 농도를 조사하였고, 아울러 아연성분이 참전복의 유생발생 및 채묘율에 미치는 아연독성에 대하여 조사하였다.

아연도관으로부터 7개월 동안 용출된 아연농도의 범위는 실험 1개월 후  $98.00 \pm 2.55 \mu\text{g}/\ell$ 에서 7개월 후  $15.23 \pm 2.88 \mu\text{g}/\ell$  였다( $Y=0.85M^2-19.71+109.96$ ). 아연농도 0~160  $\mu\text{g}/\ell$ 를 대상으로 한 실험에서 수정율은 대조구와 80  $\mu\text{g}/\ell$ 에서 각각 최대( $87.3 \pm 5.3\%$ ), 최소( $82.7 \pm 7.6\%$ )값을 보였으며, 아연농도에 따른 유의한 차는 없었다( $P>0.05$ ). 부화율의 최대값은 아연농도 10  $\mu\text{g}/\ell$ 에서  $87.5 \pm 4.5\%$ , 최소값은 아연농도 160  $\mu\text{g}/\ell$ 에서  $76.3 \pm 5.6\%$  였으며, 아연농도에 따른 유의한 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 그러나 참전복의 정상유생 발생율, 생존율 및 부착률은 20  $\mu\text{g}/\ell$  이상에서 급격히 감소하여 유의한 차이가 있었다( $P<0.05$ ).

## 참 고 문 헌

Akesson, T.R., 1977. The effect of temperature

- change on the development of *Urechis caupo* Fisher and MacGinitie 1928 (Echiuroidea). Estuar. Coast. Mar. Sci., 5 : 445-453.
- Baloun, A.J. and D.E. Morse, 1984. Ionic control to settlement and metamorphosis in larval *Haliotis sulfescens* (Gastropoda). Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., Hoods Hole, 167 : 124-138.
- Calabrese, A., R.S. Collier, D.A. Nelson and J.R. MacInnes, 1973. The toxicity of heavy metals to embryos of the American oyster *Crassostrea virginica*. Mar. Biol., 18 : 162-166.
- Chang, E.Y., S.I. Coon, M. Walch and R. Weiner, 1996. Effects of hyphomonas PM-1 biofilms on the toxicity of copper and zinc to *Crassostrea gigas* and *Crassostrea virginica* larval set. J. Shellfish Res., 15 : 589-595.
- Choi, S.D., and J. Kim, 1999. Discovery of withering syndrome among abalone, *Haliotis discus hannai* from the south coast of Korea. J. Ins. Basic Sci.(Yosu Nat. Univ.), 1 : 45-55.
- Choi S.D. and W.K. Lee, 1998. Antiparasitical Effect of Chitosan to Scuticociliatids Causing Withering Syndrome among Abalone, *Haliotis discus hannai* at Dolsan Island, Korea. Bull. Yosu. Nat'l. Univ. 13 : 997-1008.
- Choi S.D., J.T. Youn and Y.C. Jo, 1998. Shell Weakening in Cultured Abalone, *Haliotis discus hannai* by a boring alga *Mastigocoleus* sp.(Cyanophyte), J. Aquacult., 11 : 465-474.
- Crofts, D.R., 1937. The development of *Haliotis tuberculata* with special reference to organogenesis during torsion. Phil. Trans. R. Soc. (Ser. B), 228 : 219-268.
- Hunt, J.W. and B.S. Anderson, 1989. Sublethal effects of zinc and municipal effluents on larvae of the red abalone, *Haliotis rufescens*. Mar. Biol., 101 : 545-552.
- Morse, D.E., H. Duncan, N. Hooker and A. Morse, 1977. Hydrogen peroxide induces spawning in mollusks, with activation of prostaglandin synthetase. Science, 196 : 298-300.
- Zirino, A. and S. Yamamoto, 1972. A pH-dependent modal for the chemical speciation of copper, zinc, cadmium, and lead in seawater. Limnology and Oceanography, 17 : 661-671.
- 柳晟圭, 1979. 淺海養殖. 새롬출판사, 309-368.
- 전임기, 한석중, 이해영, 최상덕, 양길호, 1998. 경제난 극복을 위한 전락양식 육성. 전복양식워크숍. 국립수산물진흥원, 127pp.
- 해양수산부, 1998. 海洋環境公定試驗方法. 해양수산부, 74-75.
- 赤繁悟 · 關哲夫 · 管野尙 · 野村正, 1981.  $\gamma$ -아미노酸および二三の神經發達物質のエゾアワビ幼生に及ぼす着底變態誘起效果の檢定. 東北水研報, 43 : 37-45.
- 關哲夫 · 管野上, 1981. 아와비足離粘液上物質によるエゾアワ비被面子幼生の着底誘起. 東北水研報, 43 : 29-36.
- 菊地富夫 · 浮永久, 1974. 아와비屬의採卵技術에關する年報. 第2報, 紫外線照射海水의産卵誘發效果. 東北水研報, 33 : 79-86.
- 權悟吉 · 朴甲萬 · 李俊相, 1993. 原色韓國貝類圖鑑. 아카데미서적, 340pp.
- 西川信良 · 小原昭雄 · 伊藤義三, 1974. エゾアワビ (*Haliotis discus hannai* Ino)의周年採卵方法について. 北海道水試月報, 31 : 21-27
- 二鳥賢二, 1981. 過酸化水素によるクロアワ비의産卵誘發效果. 栽培技研, 10 : 29-34.
- 田中彌太郎, 1978. 過酸化水素添加の産卵誘發. 東海水研報, 96 : 93-101.
- 八幡剛浩, 1973. 神經節懸濁液によるエゾアワ비의放卵誘起. 日本水産學會誌, 39 : 1117-1122.