

한국산 개불, *Urechis unicinctus* (von Drasche)의 난 발생에 미치는 pH와 염분의 영향

최상덕 · 김호진* · 라성주 · 홍성윤** · 이원교 · 이우범***

여수대학교 양식학과, *전라남도 수산시험연구소,
부경대학교 해양생물학과, *여수대학교 환경공학과

The Effect of PH and Salinity on Egg Development of *Urechis unicinctus* (von Drasche) in Southern Korea.

Sang Duk Choi, Ho Jin Kim*, Sung Ju Rha, Sung Yun Hong**,
Won Kyu Lee and Woo Bum Lee***

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

*Aquaculture Division, Chumnan Fisheries Research Institute, Shinan 535-800, Korea

**Department Marine Biology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

***Department of Environmental Engineering, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

In order to obtain the basic information for seeding production of Echiuroid worm, *Urechis unicinctus*, the influence of pH and salinity on egg development was investigated.

Mature adult of *U. unicinctus* were collected at the Diving Cooperation of Yosu in Korea and reared during 5 weeks. We carried out the artificial insemination in the laboratory on Dec. 29, 1998, and reared the embryo under different pH and salinity. Treatments were carried out with different pH(4~10) and salinity(0~45‰). Embryos in pH 4, salinity 0‰, 10‰, 40‰ and 45‰ tanks did not develop after fertilization and became deformed or dead, before swimming embryo. In these pH and salinity conditions, deformation rate of embryo was high at 8-cell stage and 16-cell stage. But embryos in pH 5~10, salinity 20~35‰ tanks developed into swimming embryo stage. These result indicate that an echiuran inhabits in both intertidal and subtidal mudflats. After fertilization, sixteen-cell stage took 5.3~5.6 hours in pH 5~10 tanks, and 5.1~5.8 hours in 20~35‰ tanks. And swimming embryo took 13.3~14.1 hours in all conditions. The desirable pH and salinity for egg development were 7~8 and 30‰, respectively.

Key words : Echiuroid, *Urechis unicinctus*, Egg development, Environments, pH, Salinity

서 론

우리 나라에서 개불은 예로부터 식용으로 사용해 왔으며 고급음식으로 인식되어 있다. 특히, 개불은 지질, 지방산 및 sterol조성 등이 풍부하여 날 것 또는 건조품으로 만들어 식용으로서 이용도가 매우 높다. Lee (1968)에 의하면 개불의 단

맛은 glycine와 alanine에 의한 것이라고 보고하였으며, Joh and Kim (1983)는 일반적으로 다른 무척추동물에서 합성할 수 없는 5종의 sterols (Van Arrem et al., 1964; Ferezou et al., 1972; Voogt et al., 1974)를 개불에서 분리하였다. 그러나 해양 환경오염 및 남획 등으로 인하여 바다에 서식하는 많은 유용생물자원이 고갈되고 있어 버

려진 자원을 이용하려는 추세에 있으나, 최근, 중요생산이 불가능했던 유용생물 (예를 들면, 키조개)과 같이 개불자원도 고갈될 가능성이 매우 높다. 또한 해양생태계에서 인간이 쉽게 이용하고 생산성이 매우 높은 조간대의 저질은 임해공단의 배출수, 양식장 노후화 및 환경오염 등에 의하여 호기성인 저질이 혐기성인 환경으로 전이되는 경우가 많다 (Pritchard and White, 1981; Eaton and Arp, 1990; Choi, 1997; Choi et al., 1998). 저질이 혐기성상태로 전이되면 해양생태계는 파괴되어 많은 생물이 살수 없게 된다. 따라서 최근에는 양식장의 생산능을 높이기 위하여 국가적인 차원에서 저질을 경운, 객토 및 정화사업 등을 시행한다. 그러나 그러한 사업의 단점으로는 인위적 (강제적)으로 저질을 개선하기 때문에 많은 비용이 들고, 생태계 파괴를 촉진하는 경우도 있다. 특히, 개불은 저질에 잡입할 때 "U"자형의 관을 파기 때문에 개불에 의한 저질 개선 효과도 있다(최 등, 미발표). 그러므로 개불을 이용한 저질개선은 비용이 적게 들고 친환경적인 저질개선이라고 볼 수 있다. 그러나 국내에서 개불 중요생산에 관한 연구로는 Choi et al. (1998)에 의하여 초기 배 발생에 미치는 온도의 영향이 있을 뿐 거의 없다.

한편, 개불류는 조간대에서 수심 100m 정도까지 분포하여 내륙에서 배출되는 담수와 유기물, 강우 등의 자연적 현상으로 인한 pH와 염분의 변화가 많은 조간대 지역에 주로 서식하고 있다. pH와 염분은 생물에게 직접적, 간접적 영향을 주며, 특히 생물의 서식장소와 난 발생을 좌우하는 매우 중요한 요소이다 (Stephen, 1972; Strathmann, 1987). 개불, *Urechis unicinctus*의 서식형태를 보면 군집을 이루는 것이 특징으로 이것은 개불이 서식하는 장소가 한정되어있다는 것을 나타낸다 (Suer and Phillips, 1983; Arp et al., 1992). 따라서 pH와 염분은 개불의 서식장소에 대한 기준이 될 수 있으며, 또한 인공중요생산의 기초적인 지식으로서 이용할 수 있다. pH와 염분이 난 발생과 서식지의 결정에 미치는 영향에 대해서

는 양식되고 있는 어류와 패류 외에도 다양하게 연구되어있다. 이에 대한 연구로는 참가자미, *Limanda herzensteini*의 난발생에 미치는 수온과 염분의 영향 (Lee et al., 1997), 수온과 염분이 로티퍼, *Brachionus*의 번식에 미치는 영향 (Hwang and Pyen, 1995), 갯지렁이류의 생태 및 인공산란부화에 미치는 영향 (Yoshida, 1984; Sato and Tsuchiya, 1987; Kang, 1992) 등이 있다. 그리고 Stephano and Gould (1997)은 *Urechis caupo*의 처녀생식을 pH를 달리하여 유도하였으며, Jaccarini et al. (1983)은 개불이 서식하는 물리화학적 환경 특성을 이용하여 *Bonellia viridis* 유생의 성을 유도하였다. 또한, Akesson (1977)은 발전소의 온배수로 인한 온도변화가 *U. caupo*의 배 발생에 미치는 영향을 보고하였다. 그러나 일반적으로 무척추동물의 배 발생은 수온, 염분 등의 환경요인과 어미의 성숙도에 따라 그 속도 및 소요되는 시간이 좌우된다고 할 수 있다. 특히, 개불의 경우 수온 뿐 만 아니라 염분, pH는 난 발생을 좌우하는 매우 중요한 요인임에도 불구하고, 여러 가지 염분, pH 조건하에서의 배 발생과정을 밝힌 연구는 거의 없다.

따라서, 본 연구에서는 개불 양식에 대한 기초 지식을 확립하는 계기로 인공수정에 의한 개불의 알을 수정시키고 배 발생의 적정 pH와 염분을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

실험에 사용된 개불은 1998년 11월 20일 전라남도 여수시에 소재한 잠수기수협에서 구입하였다. 구입한 개불은 ice pack을 이용하여 여수대학교 양식장환경(무척추동물학) 실험실로 옮기고 여과해수 6 l 가 채워진 실험수조에 넣었으며, 약 1개월 동안 사육하였다. 수조는 43×23×25 cm의 크기를 사용하였으며, 바닥은 직경 0.7 cm의 자갈을 15 cm 높이로 깔았고, 수온은 15±0.3℃, 용존산소는 6~7 ppm으로 유지하였다. Arp et al. (1992)의 방법에 준하여 개불의 체장 (체중)을

조사하였으며, 인공수정에 사용된 개불의 암컷은 12.5 cm (63 g) 였고, 수컷은 14 cm (74 g) 였다.

개불의 수정은 Choi et al. (1998)의 방법에 준하여 실시하였으며, 수정된 개불의 알은 다시 pH와 염분이 다른 50 ml 시험관에 약 500립씩 분주하여 난발생과정, 생존율 및 부화율을 조사하였다. pH는 여과해수에 NaOH 수용액과 HCl을 사용하여 실험에 필요한 pH를 조절하였고, pH meter (Mettler Toledo)를 이용하여 측정하였다. 염분은 증류수에 NaCl을 용해하여 실험에 필요한 인공해수를 제조하였다. 실험에 사용된 pH는 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10이었으며, 이때 염분은 개불의 성체가 서식하던 곳과 비슷한 30 ‰였다. 그리고 실험에 사용된 염분은 0, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ‰이었으며, 이때 pH도 개불 성체가 서식하던 곳과 비슷한 7.8이었다. 한편, 염분 및 pH 조건에 따른 개불 난발생 과정은 광학현미경 (Olympuse CN30)을 이용하여 관찰하였으며, 알에 정액을 첨가한 시각을 기준으로 발생단계별로 해당 단계에 달한 알의 비율이 50%가 될 때의 소요되는 시간과 각 발생단계마다의 생존율을 구하였다. 그리고 모든 실험은 $14.0 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 에서 2회 반복 실시하였으며, 생존율과 배 발생과정에 소요되는 시간은 평균값을 사용하였다.

결 과

개불, *Urechis unicinctus*의 알주머니(storage sac)에서 채취된 성숙난은 평균 직경 $110 \mu\text{m}$ 로 구형, 담황색이었고 핵은 중앙에서 약간 빗겨져 한쪽으로 치우쳐 있는 분리침성란이었다. 수정은 Choi et al.(1998)의 방법에 준하여 $15 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 에서 채취한 알을 정자현탁액으로 수정시켰다. 난 발생과정 중 소요시간에 따른 수정란의 pH별 생존율을 조사한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. pH 4에서는 실험시작 2.8시간이 소요되었을 때 약 10%의 수정란이 2세포기로 까지 진행되었으나, 배 발생은 더 이상 진행되지 못하고 모두가 사란으로 되었다. 그러나 pH 5~10에서의 수정

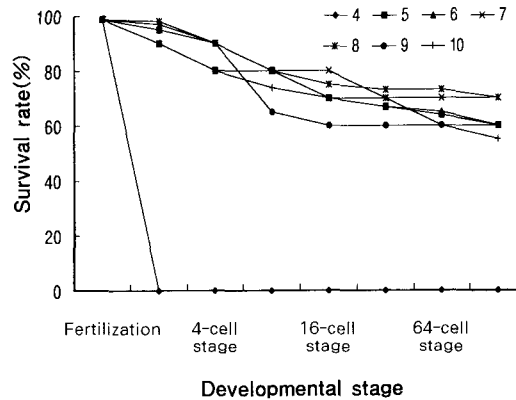


Fig. 1. Survival rate of fertilized eggs of *Urechis unicinctus* at various pH.

란은 64세포기를 걸쳐 배 유생기까지 진행되었다. 수정 후 16세포기까지 발생되었을 때 수정란의 생존율은 pH 5, 6, 7, 8, 9, 10서 각각 70, 70, 80, 75, 60, 70%이었고, 그후 32세포기, 64세포기를 걸쳐 배 부유유생기가 되었을 때 수정란의 생존율은 각각 60, 60, 70, 70, 60, 55%이었다. 한편, 수정란은 pH 7과 8을 제외한 다른 실험구에서 기형과 사란이 일부 나타났으며, 주로 8세포기와 16세포기에서 기형과 사란으로 발생하였다. 한편, pH별 수정란의 부화율을 나타내면 Fig. 2와 같다. pH 4 이하의 산성에서 수정란은 모두 난막이 붕괴되었으며, 부화율은 0%였다. 그러나 pH 5~10에서는 55~70%의 부화율을 보인 반면,

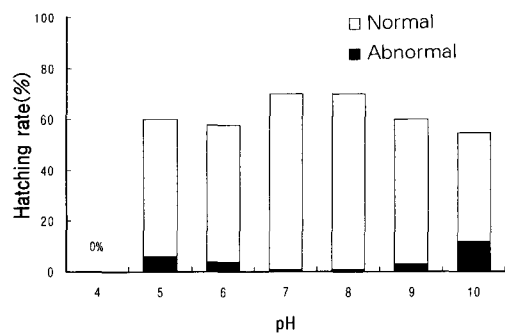


Fig. 2. Hatching rate of fertilized eggs of *Urechis unicinctus* at various pH.

pH 10에서는 21.8%의 부화유생이 비정상적인 발생으로 인하여 부유하지 못하고 바닥에 남아 있는 것이 관찰되었다. 한편, pH별 각 발생단계에 이르기까지의 평균 소요 시간은 큰 차이가 없었다. 수정 후 16세포기까지 발생하는 데 소요되는 시간은 pH 5, 6, 7, 8, 9, 10에서 각각 5.5, 5.4, 5.4, 5.3, 5.5, 5.6시간이었다. 그후 32세포기, 64세포기를 걸쳐 배 부유유생기까지 발생하는 데 소요되는 시간은 각각 14.1, 13.9, 13.4, 13.3, 13.6, 14.0시간이었다.

개불 배 발생과정 중 소요시간에 따른 수정란의 염분별 생존율을 조사한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 염분 0‰와 10‰에서 수정란은 2세포기까지 발생하지 않았으며, 염분 40‰인 실험구에서는 4시간 30분 경과 후에 2세포기로 진행되었으나 기형란이 90%이상 이었다. 그리고 염분 45‰에서는 극체방출후 배 발생은 더 이상 진행되지 않았다. 그러나 염분 20~35‰에서 수정란은 64세포기를 걸쳐 배 유생기까지 진행되었다. 염분 20, 25, 30, 35‰에서 수정 후 16세포기까지 발생되었을 때 수정란의 생존율은 각각 70, 66, 80, 60%이었고, 그후 32세포기, 64세포기를 걸쳐 배 부유유생기가 되었을 때 수정란의 생존율은 각각 60, 63, 78, 60%이었다. 한편, 수정란

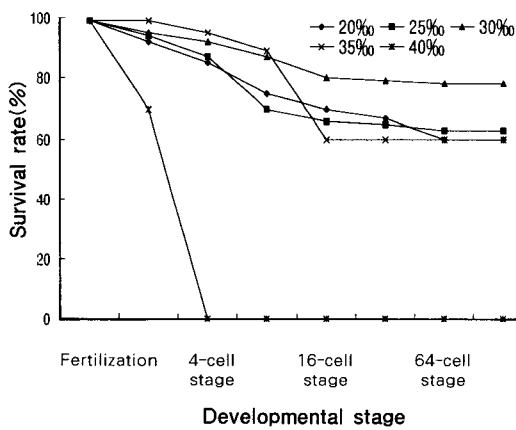


Fig. 3. Survival rate of fertilized eggs of *Urechis unicinctus* at various salinities.

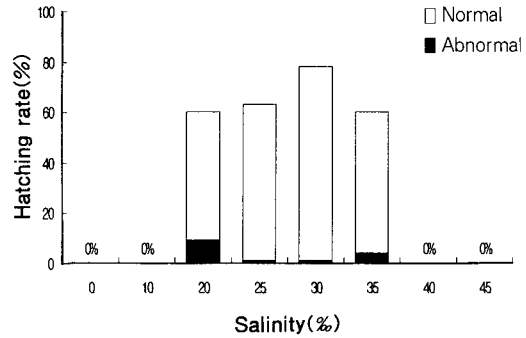


Fig. 4. Hatching rate of fertilized eggs of *Urechis unicinctus* at various salinities.

은 염분 20‰와 35‰에서 기형과 사란이 일부 나타났으며, 주로 8세포기와 16세포기에서 기형과 사란이 관찰되었다. 한편, 염분별 수정란의 부화율을 나타내면 Fig. 4와 같다. 염분 10‰ 이하의 저염분과 40‰ 이상의 고염분에서 수정란은 모두 난막이 붕괴되었으며, 부화율은 0%였다. 그러나 염분 20~35‰에서는 60~78%의 부화율을 보인 반면, 염분 20‰에서는 10%의 부화유생이 비정상적인 발생으로 인하여 부유하지 못하고 바닥에 남아 있는 것이 관찰되었다. 염분별 각 발생단계에 이르기까지의 평균 소요 시간은 큰 차이가 없었다. 수정 후 16세포기까지 발생하는 데 소요되는 시간은 염분 20, 25, 30, 35‰에서 각각 5.2, 5.1, 5.5, 5.8시간이었다. 그후 32세포기, 64세포기를 걸쳐 배 부유유생기까지 발생하는 데 소요되는 시간은 각각 13.9, 13.8, 13.7, 14.0시간이었다.

고 찰

개불은 일명 "spoon-worm"이라고 불리우며 온대, 적도 및 극지방의 조간대에서 심해 저층의 암석, 모래 및 펄에 서식하며 현재까지 3과 37속 157종이 알려져 있다. 개불의 체형은 체절이 없고, 체강을 갖는 대칭형이며, 크기는 수 mm에서 25 cm이며, 부드러운 표피를 갖는다 (Clark, 1969; Stephen and Edmonds, 1972; Storch, 1984; Choi et al., 1998). 본 연구에서는 개불에 대한 기초지

식을 확립하는 계기로 인공수정에 의한 개불 난 발생의 적정 pH와 염분을 조사하였다.

수정의 실제적 반응은 정세포와 난세포막의 융합이 전제가 되는 것이나 난세포와 정세포의 크기를 비교할 때, 이를 명확하게 관찰하는 것은 기회의 문제라고 생각되는 반면 수정후 난세포내의 변화는 수정의 일반적인 현상이라고 생각된다. 예를 들면, 광학현미경 하에서의 수정구 형성, 수정막의 발달, 핵융합, 극체, 세포분열 등이 관찰되었다. 이러한 현상은 *Urechis caupo* (Newby, 1932; Gould et al., 1975), *Siphonosoma cumanense* (Rice, 1988), sea urchin (Endo, 1961)에서 보고된 것과 유사하다. Rice (1988)가 *Siphonosoma cumanense*의 초기 배 발생과정중 수정란 단계에서 섬모가 나타났다고 보고하였던 것과 같이 한국산 개불에서도 초기 배 발생과정에서 섬모가 나타났으며 64세포기 이후의 배 발생단계에서 섬모환이 수정막 밖으로까지 나타났다.

본 연구에서는 개불의 배 발생 실험을 pH 4~10, 염분 0~45‰ 실험구에서 실시하였다. pH별 수정란의 배 발생실험에서 pH 4를 제외한 모든 실험구에서 수정란은 2세포기를 지나 배 부유유생기까지 발생하였으며, 그중 pH 7과 pH 8 실험구에서는 다른 시험구보다 빠른 발달을 보였다. 한편, pH 4 실험구는 수정후 배 발생이 더 이상 진행되지 않았으나, pH 5~10에서 수정란의 발생이 진행된 점으로 보아 광범위한 지역에서 개불이 서식할 것으로 추정된다. *U. caupo*는 조간대에서 조하대까지 널리 분포하며, 특히 조간대의 구멍에 잠입한 개불은 간조 시 수온상승에 따른 물리화학적 변화에도 불구하고 구멍속의 환경에 적응하여 서식하는 것으로 알려졌다 (Fisher and MacGinitie, 1928; Lawry, 1966; Pritchard and White, 1981; Eaton and Arp, 1990; Arp et al., 1992). 또한 Stephano and Gould (1997)은 *Urechis caupo*의 처녀생식이 강산이나 강염기에서 유도된다고 하였으며, Jaccarini et al. (1983)은 개불이 서식하는 물리화학적 환경 특성을 이용하여 *Bonellia viridis* 유생의 성이 결정된다고 보

고하였다.

개불 수정란의 염분별 배 발생 실험에서, 염분 40‰에서 수정란은 2세포기까지 발달하였으나 그 이후로 발달하지 못하고 사란 또는 기형의 형태로 나타났고, 염분 0, 10 그리고 45‰에서 수정란은 수정 후 배발생이 계속 진행되지 않았다. 그러나, 염분 20~35‰에서 수정란은 배 부유유생기까지 발달되는 데 소요되는 시간은 차이가 있지만 모두 정상적으로 발달하였는데 그중 염분 25‰와 30‰에서 빠른 발달을 보였다. 이는 개불 성체가 서식하는 염분과 배 발생간에 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 한편, 개불 수정란의 염분과 pH별 배 발생실험에서 주로 8세포기와 16세포기 단계에서 기형과 사란이 일부 나타났다. 이것은 Choi et al. (1998)의 온도구별 초기 배 발생과정중 기형과 사란의 발생시기와 거의 일치하였다.

한편, 본 연구에서 염분과 pH에 따른 수정란의 배 발생 실험은 14.0±0.3℃에서 이루어졌는데, 적정 pH는 8, 염분은 30‰로 사료되며, 수정란의 배 부유유생기까지 소요되는 시간은 Choi et al. (1998)의 배 발생 적정수온 보다 빠른 발달을 보여 14℃가 보다 나은 적정수온으로 사료된다. 그리고 난황만으로 배 발생이 된 배유생기 이후에는 개구가 되어 먹이를 찾게 되므로 개불 양식산업의 확대를 위하여 먹이생물의 개발이 절실히 요구되며, 부유 유생시기를 단축시킬 수 있는 연구도 추진되어야 할 것이다. 아울러 개불을 이용한 저질개선의 연구도 절실히 요구된다.

요 약

한국산 개불, *Urechis unicinctus* (von Drasche)의 종묘생산을 위한 생물학적 기초자료를 얻기 위하여 난발생에 미치는 pH와 염분의 영향을 조사하였다.

실험에 사용된 개불의 성체는 여수 잠수구조합에서 구입하여 여수대학교 양식장환경(무척추동물학)실험실에서 5주간 사육하던 것이며, 성숙

한 개체를 해부하여 알과 정자를 채취하고 인공 수정을 시켜 pH(4~10)와 염분 (0~45‰) 실험구에서 배 발생과정을 조사하였다. pH 4에서 수정란은 2세포기까지 발달하지 못하고 모든 개체가 폐사하였으며, 염분 0‰, 10‰, 40‰, 45‰에서도 수정란은 2세포기까지 진행하지 못하고 폐사 또는 기형으로 발생하였다. 기형 발생은 주로 8세포기와 16세포기에서 나타났다. 그러나 pH 5~10과 20~35‰에서 수정란은 수정 후 2세포기를 지나 배 부유유생기까지 정상적으로 발달하였다. 이러한 결과는 개불이 조간대에서 널리 분포하고 있음을 의미한다. pH 5~10 실험구의 수정란은 수정후 16세포기까지 발생하는 데 5.3~5.6시간이 소요되었으며, 염분 20~30‰ 실험구의 수정란은 5.1~5.8시간이 소요되었다. 또한, 모든 실험구에서 수정후 배 부유유생기까지 발생하는데 소요시간은 13.1~14.1시간으로 거의 비슷하였다.

참 고 문 헌

- Akesson, T. R., 1977. The effect of temperature change on the development of *Urechis caupo* Fisher and MacGinitie 1928 (Echiuroidea). Estuarine and Coastal Marine Science, 5 : 445-453.
- Arp, A. J., B. M. Hansen and D. Julian, 1992. Burrow environment and coelomic fluid characteristics of the echiuran worm *Urechis caupo* from populations at three sites in northern California. Marine Biology, 113 : 613-623.
- Choi, S. D., 1997. Present situation of diseases occurred with cultured marine fishes in Kamak Bay. J. Aquaculture, 10 : 9-15.
- Choi, S. D., Y. S. Kim and K. H. Han, 1998. The Characteristics of zooplankton community in Kwangyang Bay, Korea. Bull. Yosu. Nat'l. Univ. 13 : 993-1006.
- Choi, S. D., H. J. Kim, S. J. Rha, K. J. Choe and H. L. Suh, 1998. Studies on the commercial scale production of *Urechis unicinctus* (von Drasche) in southern Korea. I. The effect of temperature on embryos development. Bull. Yosu. Nat'l. Univ. 13 : 983-992.
- Clark, R. B., 1969. Systematics and phylogeny: Annelida, Echiura, Sipuncula. In M. Florin and B.T. Scheer (eds.). Chemical Zoology, Vol. 4. Academic Press, New York, pp.68.
- Eaton, R. A. and A. J. Arp, 1990. The effect of sulfide on the oxygen consumption rate of *Urechis caupo*. Am. Zool., 30 : 1-69.
- Endo, Y., 1961. The role of the cortical granules in the formation of the fertilization membrane in the eggs of sea urchins. Exp. Cell Res., 25 : 518-528.
- Ferezou, J. P., M. Davys and M. Barbier, 1972. Sur l'absence de biosynthese des sterols et du squalene chez un coelentere (Anthozoaire), L'Anemone de Mer *Calliactis parasitica*. Experientia, 15 : 407-408.
- Fisher, W. K., G. E. MacGinitie, 1928. The natural history of an echiuroid worm. Ann. Mag. Nat. Hist., 10 : 204-213.
- Gould-Somero, M. and L. Holland, 1975. Fine structural investigation of the insemination response in *Urechis caupo*. Dev. Biol., 46 : 358-369.
- Hwang, H. K. and C. K. Pyen, 1995. The effects of water temperature and salinity on the propagation of rotifer, *Brachionus plicatilis*. J. Aquacult., 8 : 59-67.
- Jaccarini, V., L. Agius, P. J. Schembri and M. Rizzo, 1983. Sex determination and larval sexual interaction in *Bonellia viridis* Rolando (Echiura : Bonelliidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 66 : 25-40.
- Joh, Y. G. and K. S. Kim, 1983. Studies on lipids of *Urechis unicinctus* -on the composition of lipids, fatty acids and sterol-. Bull. Korean Fish. Soc., 16 : 255-259.
- Kang, K. H., 1992. Basic studies for aquaculture of the Polychaete, *Perinereis aibuhitensis* (Grube). Ph. D. thesis. Pukyong University, 93pp.
- Lawry, J. V., 1966. Neuromuscular mechanisms of burrow irrigation in the echiuroid worm *Urechis caupo* Fisher and MacGinitie. I. Anatomy of the neuromuscular system and activity of intact animals. J. Exp. Biol., 45 : 343-353.
- Lee, E. H., 1968. The taste of the extract of the sun-dried "Gae-bul", *Urechis unicinctus*. Bull. Pusan Fish. Coll., 8 : 59-63.

- Lee, J. Y., W. K. Kim and Y. J. Chang, 1997. Influence of water temperature and salinity on egg development of flatfish, *Limanda herzensteini*. J. Aquacult., 10 : 357~362.
- Newby, W.W., 1932. The early embryology of the Echiuroid, *Urechis*. Biol. Bull., 63 : 389~399.
- Pilger, J. F., 1987. Reproductive biology and development of *Themiste lageniformis*, a parthenogenic sipunculan. Bull. Mar. Sci., 41 : 59~67.
- Pritchard, A. and F. N. White, 1981. Metabolism and oxygen transport in the innkeeper *Urechis caupo*. Physiol. Zool., 54 : 44-54.
- Rice, M. E., 1988. Observations on development and metamorphosis of *Siphonosoma cumense* with comparative remarks on *Sipunculus nudus* (Sipuncula, Sipunculidae). Bull. Mar. Sci., 42 : 1-15.
- Pritchard, A. and F. N. White, 1981. Metabolism and oxygen transport in the innkeeper *Urechis caupo*. Physiol. Zool., 54 : 44-54.
- Sato, M. and M. Tsuchiya, 1987. Reproductive behavior and salinity favorable for early development in two type of the brackish-water polychaete, *Neanthes japonica*. Benthos Res., 31 : 29-42.
- Stephen, A. C. and S. J. Edmonds, 1972. The Phyla Sipuncula and Echiura. British Museum (Natural History), London. 527 pp.
- Storch, V., 1984. Echiura and Sipuncula. In J. Bereiter-Hahn, A. G. Matolsky and K. S. Richards (eds.). Biology of the Integument, Springer-Verlag, Berlin, pp. 368~375.
- Strathmann, M. F., 1987. Reproduction and development of marine invertebrates of the northern Pacific Coast. Univ. Washington Press, 670 pp.
- Suer, A. L. and D. W. Phillips, 1983. Rapid, gregarious settlement of the larvae of the marine Echiuran, *Urechis caupo* Fisher & MacGinitie 1928. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 67 : 243-259.
- Stephano, J. L. and M. C. Gould, 1997. Parthenogenesis in *Urechis caupo* (Echiura) 2. Role of intracellular pH in parthenogenesis induction. Dev. Growth Differ. 39 : 99-104.
- Van Arrem, H. E., H. J. Vonk and D. I. Zandee, 1964. Lipid metabolism in *Rhizostoma*. Arch. Int. Physiol. Biochem., 72 : 606-614.
- Voogt, P. A., J. M. Van de Ruit and J. W. A. Van Rheenen, 1974. On the biosynthesis and composition of setols and sterol esters in some sea Anemones (*Anthozoa*). Comp. Biochem. Physiol. 48 : 47-57.
- Yoshida, S., 1984. Studies on the biology and aquaculture of a common polychaete, *Perinereis nuntia*. Bull. Osaka Pref. Fish. Exp. Stat. 6. 1-63.