

우렁쟁이, *Halocynthia roretzi*의 産卵誘發, 卵發生 및 採苗에 미치는 水温의 影響

柳晟奎 · 康慶浩 · 張榮振

釜山水產大學校 養殖學科

Influence of Water Temperature on Spawning Induction, Egg Development and Seed Collection of Sea Squirt, *Halocynthia roretzi*

Sung Kyoo Yoo, Kyoung Ho Kang and Young Jin Chang

Department of Aquaculture, National Fisheries
University of Pusan, Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT

In order to obtain the basic data for the effective seed production of sea squirt, *Halocynthia roretzi*(Drasche), the influence of water temperature and light intensity on spawning induction, egg development and seed settling were investigated during the period from December 24, 1986 to February 24, 1987.

The maximum number of eggs spawned was obtained at 14°C.

The relationships between the water temperature (T, °C) and the required time (h, hour) in each egg developmental stage were given as follows :

Up to 8 cell $1/h = 0.0147 T - 0.0069 (r=0.9816)$,

Up to 32 cell $1/h = 0.0100 T - 0.0017 (r=0.9672)$,

Up to early tadpole $1/h = 0.0043 T + 0.0024 (r=0.9913)$,

Up to hatching larva $1/h = 0.0021 T - 0.0021 (r=0.9898)$.

The highest rate of seed attachment was obtained at 14°C of water temperature.

序 論

우렁쟁이, *Halocynthia roretzi*는 우리나라 남해안 및 동해안 일대에棲息하는 중요한 養殖對象種으로서, 外海의 影響을 많이 받는 곳에 주로 分布하는 種이다.

本種의 養殖을 위해서는 우선적으로 種苗生産過程이 必要하게 되는데, 이에 대한 研究로서는 國內에서 Yoo and Ryu(1982)가 幼生의 孵化率과 變態에 관하여 報告한바 있고, 卞等(1977)은 우렁쟁이의 初期發生 및 採苗, 그리고 金等(1982)이 本種의 人工種苗生産에 관하여

연구한 바 있다. 外國의 研究報告로는 日本에서 菊池(1971a, b, 1975, 1976)가 우렁쟁이의 人工孵化와 養殖에 관하여 언급한 바 있고, Hirai(1941a,b, 1962, 1963, 1965)는 우렁쟁이의 初期發生에 대해 報告한 바 있다.

우렁쟁이의 種苗生産過程中 產卵誘發, 卵發生, 採苗에 있어서 그 성적을 좌우하는 要因으로서 水温, 比重 等の 環境要因을 들 수 있는데 菊池(1975)는 우렁쟁이에 있어서 產卵誘發의 主要因은 水温變化라 하였고, 本種의 種苗는 低水温에 저항성이 아주 높은 반면 高水温에 대하여는 극히 약하다고 報告한 바 있다. 또, 卞等(1977)은 自然海水의 水温에서 우렁쟁이의 初期發生過程에 대한 所要時間을 조사하였으나 그 水温範圍가 8.6°C ~ 11.8°C 였다고 했을 뿐 그 적정수온에 대하여는 언급한 바 없는데 비해, Yoo and Ryu(1982)는 9.3°C와 12.0°C의 수온 구간을 설정하여 실험한 結果, 우렁쟁이의 初期發生은 水温이 높은 12.0°C 구간에서 더 빨리 變態하였을 뿐만 아니라 孵化率도 높다고 하였다. 그러나 이상과 같은 研究는 우렁쟁이의 卵發生 및 採苗에 있어 環境要因이 미치는 영향에 대해서는 구체적인 언급이 뒤 따르지 못하고 있다. 즉, 우렁쟁이의 刺戟水温別 產卵量이라든지, 水温別 發生速度 및 採苗에 대해서는 아직까지 체계적으로 研究되어 있지 않은 실정이다.

따라서 本 研究에서는 이러한 점들을 구명하여 科學的이고도 效率的인 우렁쟁이의 種苗生産에 관한 몇가지 기초자료를 얻었기에 여기에 報告하고자 한다.

材料 및 方法

實驗에 使用된 材料는 경상남도 양산군 일광면 沿岸에서 養成中인 3年生어미 우렁쟁이로서, 크기와 活力이 비슷한 25個體를 이용하여 1986年 12月 24일부터 1987年 2月 24일까지 實驗을 하였다. 實驗에 使用한 어미 우렁쟁이는 實驗室內로 운반하여 유수식수조에서 충분히 안정시킨 후, 各產卵誘發 水温區間에 따라 수용하였는데 그 크기는 體高 10.41 ~ 10.60cm, 體幅 6.50 ~ 6.70cm, 全重 172.40 ~ 174.50g의 범위였다(Table 1).

實驗施設의 모식도는 Fig. 1과 같은데, A는 各各 60 l의 수조로서 10, 12, 14, 16 및 18°C의 5단계 水温區間으로 설정하여 분당 400ml로 조절 유수한 產卵誘發實驗區이다. B는 10 ~ 18°C까지의 各 水温區間別로 卵發生 및 採苗을 실시한 實驗區이다.

產卵誘發方法은 水温刺戟으로서 5개의 수조에 각각 5개체의 어미를 수용한 後, 오전 8時부터 미리 설정해 둔 各水温區間別로 刺戟을 개시하여 3時間이 지난 오전 11시에 刺戟을 중지하였으며 水温區間別로 各各 13회의 水温刺戟을 주었다. 放卵·放精은 어미 우렁쟁이의 出水孔을 통해 卵과 精子가 放出되는 것을 육안으로 확인하였다. 放卵·放精이 시작되면 流水를 중지하였고, 放卵·放精이 끝나는 즉시 어미 우렁쟁이를 流水式 수조에 넣어 충분히 안정시켰다.

Table 1. Measurement of sea squirts used in the experiment for spawning induction at different water temperatures.

| W.T.(°C) | No. of specimens | Body height(cm) ±SD | Body breadth(cm) ±SD | Body weight(g) ±SD |
|----------|------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 10 | 5 | 10.60±0.20 | 6.63±0.08 | 172.40±2.20 |
| 12 | 5 | 10.41±0.22 | 6.70±0.15 | 174.50±4.44 |
| 14 | 5 | 10.49±0.16 | 6.50±0.14 | 173.10±3.49 |
| 16 | 5 | 10.58±0.26 | 6.61±0.11 | 173.70±7.33 |
| 18 | 5 | 10.55±0.28 | 6.61±0.15 | 173.90±4.25 |

W.T.: Water temperature SD: Standard deviation

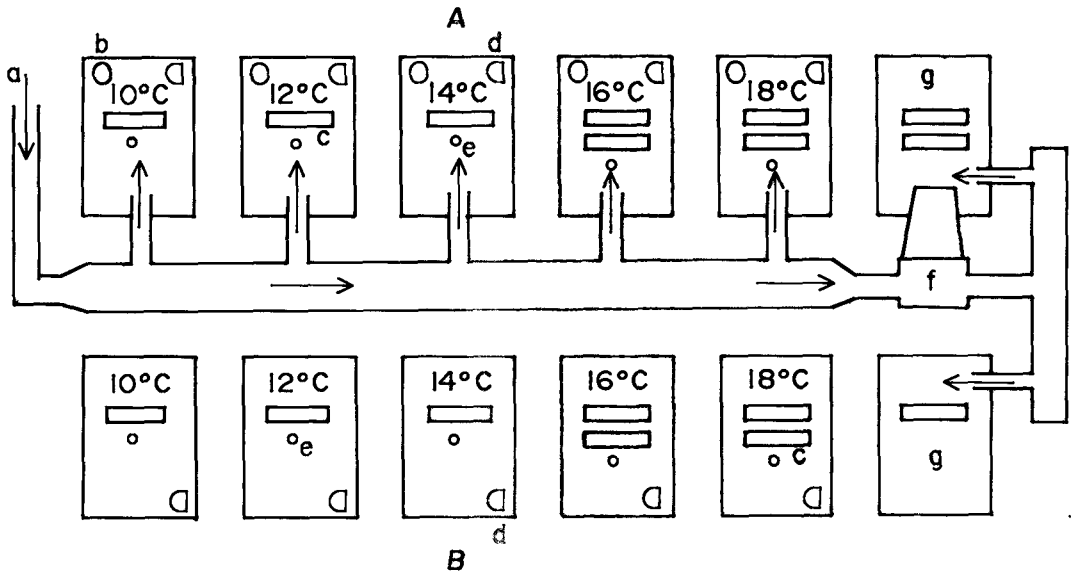


Fig. 1. A schematic drawing of the set-up used for spawning induction ;

(A), egg development and seed settling under five different water temperatures (B). a : Inflow pipe, b: Outflow pipe, c: Heater, d : Thermostat, e: Air stone, f: Cartridge filter, g: Vessel of heating sea water.

刺戟水温別 産卵量은 放出된 卵에 충격이 가지 않도록 물을 充分히 교반시켜 卵의 분산을 유도한 후, 10ml 스포이드를 使用하여 스포이드 内の 卵數를 현미경하에서 計數하였으며, 이와 같은 방법을 3번 반복하여 얻은 平均値를 해수용적에 곱하여 산정하였다.

受精卵의 판정은 2세포기로 난할이 진전된 개체를 受精이 이루어진 상태로 보고, 産卵量 조사시와 같은 방법에 의해 受精卵數를 파악하였다.

受精卵의 卵發生過程에 대한 조사는 各水温區間別로 卵發生을 實施한 實驗區에 10ml당 5개의 밀도로 수용한 뒤, 한시간 간격으로 쌍안입체현미경 下에서 各發生段階別 個體數를 헤아렸다.

採苗를 위한 부착기질인 팍사는 採苗器製作前에 일주일간 海水에 담구어 독성을 充分히 제거시킨 後 使用하였다. 採苗器의 크기는 30×15cm인 직사각형 플라스틱틀에다 팍사를 감은 것으로서, 採苗 수조 内の 中層에 수직으로 매달아 유생의 부착률을 비교하였다. 부착률 조사는 採苗器의 팍사를 무작위로 5cm씩 5곳을 추출하여 쌍안입체현미경 下에서 부착 개체를 헤아린 후, 그 平均値를 전체의 팍사 길이에 곱해줌으로서 나타냈다.

水温別 採苗는 일반적으로 우렁쟁이 종묘 배양장에서 널리 사용되고 있는 200~300lux의 밝기로 고정하고 卵發生過程의 所要時間을 관찰하기 위하여 설정한 各水温區間에서 실시하였으며, 各 수조의 受精卵 수용밀도는 20,000 개체로 하였다. 幼生이 附着하기 前까지의 환수량은 1日間 수조 전 수량의 1/2로 하였고, 부착이 완료된 후는 분당 400ml의 海水를 공급하였다. 그리고 환수시에는 卵 및 幼生의 유실을 막기 위하여 유리 가제를 씌운 환수통을 使用하였다.

結 果

水温 10°C에서 18°C까지 各水温區間別 産卵誘發刺戟水温의 경과시간에 대한 變化는 Fig. 2

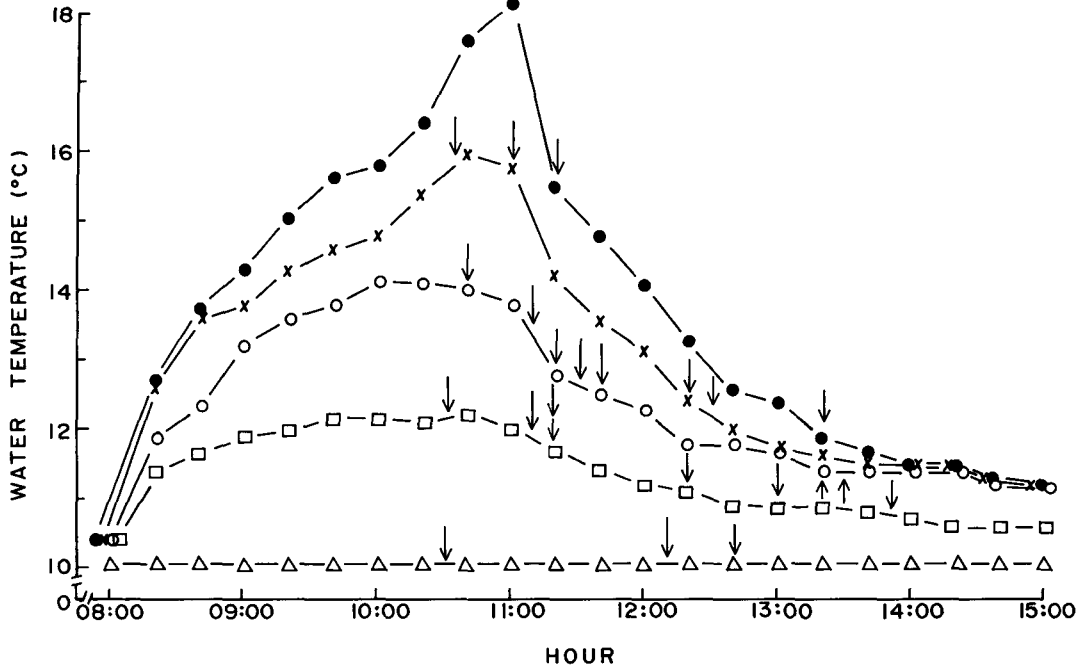


Fig. 2. Time-courses of water temperature changes designed for spawning induction of *Halocythia roretzi*. Arrows indicate initial time of each spawning.

Table 2. Spawning reaction of *Halocythia roretzi* in each stimulating water temperature.

| W.T.(°C) | No. of specimens | No. of stimulation | No. of spawning | Spawning rate (%) |
|----------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 10 | 5 | 13 | 3 | 23.1 |
| 12 | 5 | 13 | 7 | 53.8 |
| 14 | 5 | 13 | 7 | 53.8 |
| 16 | 5 | 13 | 4 | 30.8 |
| 18 | 5 | 13 | 2 | 15.4 |

W.T. : Water temperature.

와 같다. 화살표는 放卵·放精을 개시한 최초의 시간을 표시하였다. 刺戟水温別 放卵·放精反應의 大部分이 水温下降時에 일어났으며, 10°C인 대조구에서도 3회의 産卵行動을 보였다. 實驗期間을 통하여 어미 우렁쟁이의 放卵·放精反應은 自然海水인 10°C에서 3회를 나타낸 반면, 12°C와 14°C에서는 각각 7회의 反應을 나타내어 가장 높은 産卵誘發率을 보였다. 그리고 16°C와 18°C 水温에서는 各各 4회, 2회의 産卵行動을 나타냈다.

各刺戟水温에 대한 어미 우렁쟁이의 反應은 Table. 2와 같이 水温區마다 各各 13회의 刺戟을 준 結果, 産卵誘發率은 10°C에서 23.1%, 12°C와 14°C에서 53.8%, 16°C에서 30.8%, 그리고 18°C에서는 15.4%로써 12°C와 14°C에서 가장 높은 傾向을 보였다.

우렁쟁이의 産卵 및 採苗에 미치는 水温의 影響

各水温區間別 産卵誘發에 대한 우렁쟁이의 産卵量 및 受精率은 Table 3에서와 같이, 14°C에서 平均 30×10^3 개의 가장 많은 産卵량을 보였으며, 14°C를 頂點으로 水温이 上昇 및 下降할 수록 産卵량이 줄어드는 경향을 보이고 있다.

한편, 受精率은 10°C, 12°C 및 14°C에서 높게 나타났으며, 12°C에서 平均 90%인 반면, 16°C 이상의 水温條件에서는 受精率이 平均 60%대로 낮은 편이었다.

水温別 初期發生速度를 파악하기 위한 중요한 단계는 Fig. 3과 같이 受精卵, 8細胞, 32細胞

Table 3. Number of eggs spawned and fertilization rates at each water temperature for spawning induction.

| W.T. (°C) | No. of specimens | No. of eggs spawned (Mean) | No. of eggs fertilized (Mean) | Fertilization rate (%) (Mean) |
|--------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 10 | 5 | 4,000-48,000 (20,000) | 3,600-43,200 (17,912) | 86.7-90.0 (88.9) |
| 12 | 5 | 4,000-84,000 (21,714) | 3,332-78,372 (20,017) | 83.3-96.7 (90.0) |
| 14 | 5 | 4,000-112,000 (30,514) | 3,200-100,800 (29,145) | 80.0-96.7 (88.6) |
| 16 | 5 | 800-40,000 (18,200) | 506-28,000 (12,192) | 60.0-73.3 (66.7) |
| 18 | 5 | 1,600-8,000 (4,800) | 907-5,064 (2,985) | 56.7-63.3 (60.0) |

W.T. : Water temperature.

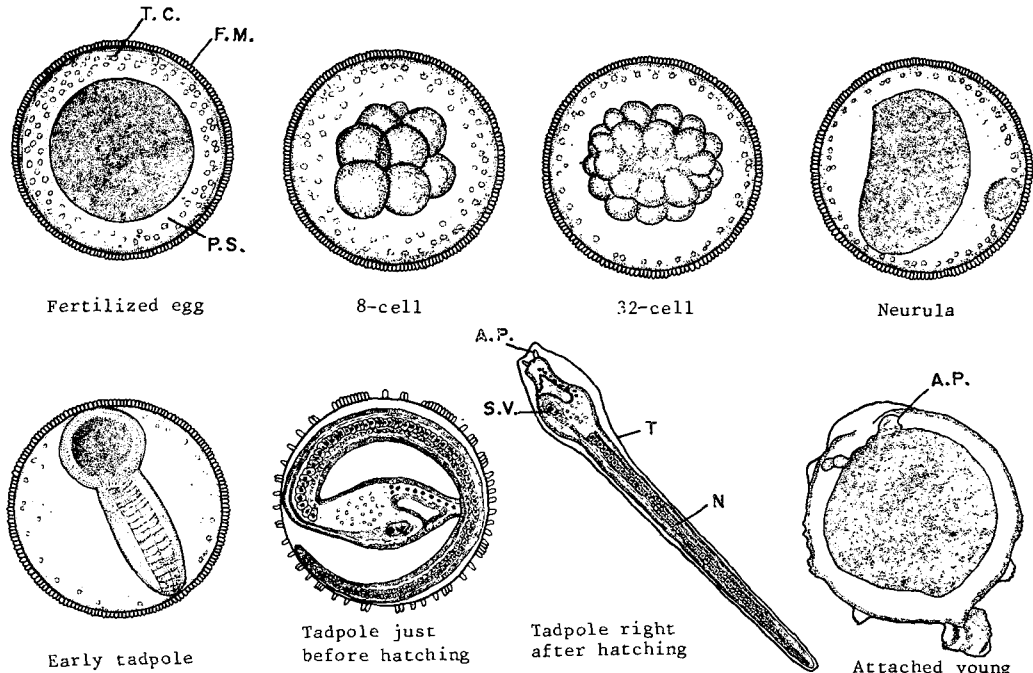


Fig. 3. Developmental stages *Halocynthia roretzi*. A.P. : Adhesive papilla-, F.M. : Follicular membrane, N : Notochord, P.S. : Perivitelline space, S.V. : Sense vesicle, T : Test, T.C. : Test cell.

Table 4. Relationships between water temperature and time (hours) required to each developmental stage from spawning

| W.T.(°C) | 6 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Stage | | | | | | |
| 8-Cell | 15.38 | 6.37 | 5.56 | 5.00 | 4.52 | 3.98 |
| 32-Cell | 23.26 | 8.93 | 7.81 | 7.09 | 6.45 | 5.95 |
| Early tadpole | 32.26 | 22.22 | 19.23 | 16.39 | 14.08 | 11.90 |
| Tadpole right | 89.29 | 58.82 | 45.45 | 34.48 | 32.26 | 28.57 |
| After hatching | | | | | | |

W.T. : Water temperature.

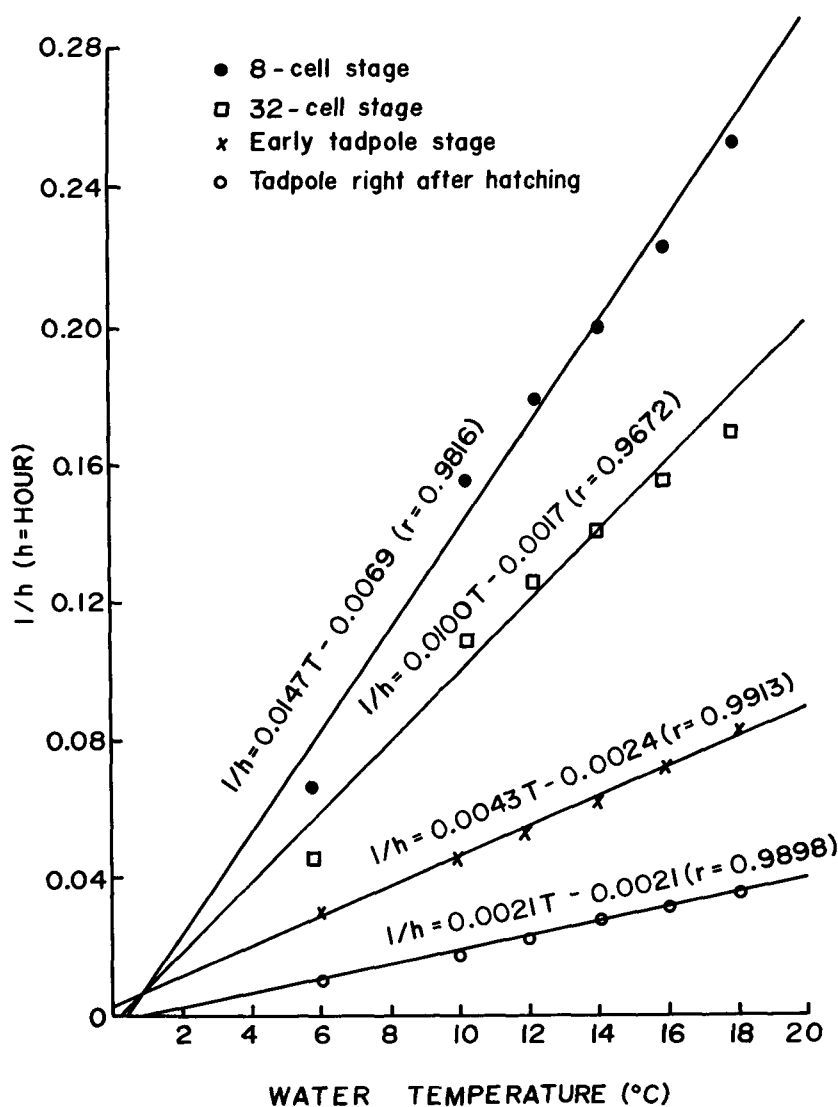


Fig. 4. Relationship between water temperature and time required to each developmental stage after spawning.

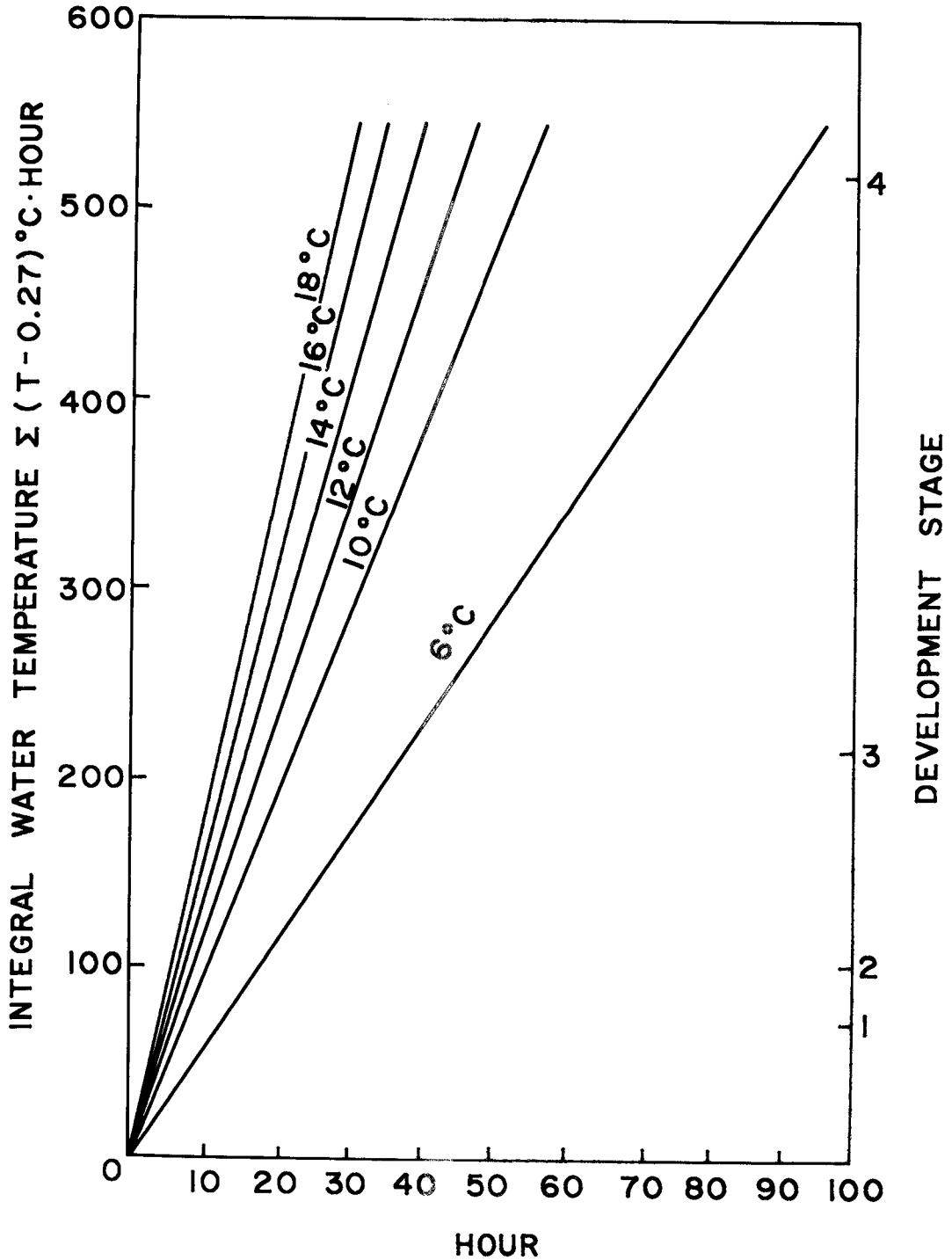


Fig. 5. Relationships between time required to developmental stage and integral water temperature.
 1: 8-cell, 2: 32-cell, 3: Early tadpole, 4: Tadpole right after hatching.

胞, 神經胚, 初期尾虫形幼生, 孵化前尾虫形幼生, 孵化 및 附着幼生으로 구분하였는데, 孵化한 尾虫形幼生에서는 附着突起와 脊索이 뚜렷이 나타나고 있다.

Table 4는 各 區間別로 受精卵에서 부터 各 發生段階에 이르기까지의 所要時間을 나타낸 것으로서 8細胞까지의 所要時間은 6°C에서 15時間 30分정도 걸린 반면, 12°C에서 5時間 30分, 18°C에서는 약 4時間이 걸렸다. 孵化幼生까지의 所要時間은 6°C일때 약 89時間, 12°C에서 45時間 30分, 18°C에서는 하루 정도 걸리는 것으로 나타났다. 이를 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같고 수온(T)과 各發生段階別 所要時間(h)과의 關係式은

$$8細胞 \quad 1/h = 0.0147 T - 0.0069 (r = 0.9816)$$

$$32細胞 \quad 1/h = 0.0100 T - 0.0017 (r = 0.9672)$$

$$初期尾虫形幼生 \quad 1/h = 0.0043 T + 0.0024 (r = 0.9913)$$

$$孵化幼生 \quad 1/h = 0.0021 T - 0.0021 (r = 0.9898)$$

로 표시된다. 이로 보아 水溫이 높을 수록 발생 소요시간이 짧아지고 있으며 이 關係式에 의해 Y축이 0일때의 溫度值를 구하여 본 우렁쟁이 卵發生에 있어서 發生의 進전을 보이지 않는 生物學的零度의 平均은 0.27°C였다.

Fig. 5는 各發生段階에 이르는 所要時間에 대한 수온 · 시간 적산치의 직선 회귀관계를 발생 수온별로 보여주는 것으로, X축은 所要時間을, 좌측의 Y축은 各發生水溫에서 生物學的零度を 넘어선 水溫의 時間的인 積算值, 우측의 Y축은 各發生段階의 번호를 각각 표시하였다.

우렁쟁이 卵發生의 上限 및 下限水溫을 推定하기 위하여 水溫別 卵發生實驗과 병행하여 실시한 結果는 Table. 5와 같다. 0°C에서는 24時間까지 發生의 進전이 있었으나, 24時間 이후 發生은 관찰되지 않았다. 한편, 6 ~ 18°C인 구간에서는 정상적인 孵化를 한 반면, 24°C에서 겨우 한 개체만이 孵化하였다.

水溫別 우렁쟁이 幼生의 附着結果는 Table 6에서와 같이 200 ~ 300 lux의 一定한 光條件下에서 실시한 結果, 14°C에서 52.5%의 附着率을 보인 반면, 14°C를 頂點으로 水溫이 上昇 및 下降할 수록 附着率이 떨어졌다.

考 察

卡等(1977)은 우렁쟁이의 產卵誘發이 水溫刺戟에 의하여 容易하게 이루어질 수 있다고 하

Table 5. Development performance of early tadpole larvae with time elapsed at various water temperatures.

| Time elapsed (hour) | 0 | | 12 | | 24 | | 36 | |
|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Stage developed | Number developed | Stage developed | Number developed | Stage developed | Number developed | Stage developed | Number developed |
| 0 | E.T. | 30 | M.T. | 6 | T.B.H. | 3 | T.B.H. | 4 |
| 6 | E.T. | 30 | M.T. | 26 | T.B.H. | 20 | H.T. | 14 |
| 12 | E.T. | 30 | T.B.H. | 27 | H.T. | 24 | - | - |
| 14 | E.T. | 30 | H.T. | 28 | - | - | - | - |
| 16 | E.T. | 30 | H.T. | 24 | - | - | - | - |
| 18 | E.T. | 30 | H.T. | 17 | - | - | - | - |
| 24 | E.T. | 30 | H.T. | 1 | - | - | - | - |
| 29 | E.T. | 30 | N.D. | 0 | - | - | - | - |

E.T. : Early tadpole, H.T. : Hatched tadpole, M.T. : Middle tadpole, N.D. : No development,

T.B.H. : Tadpole before hatching, W.T. : Water temperature.

우렁쟁이의 産卵 및 採苗에 미치는 水温의 影響

Table 6. Results of seed settlement under five water temperatures and the setting method of seed collectors.

| W.T.(°C) | No. of fertilized | No. of total attached | Rate of attachment |
|----------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| | eggs | youngs | (%) |
| 10 | 20,000 | 6,780 | 33.9 |
| 12 | 20,000 | 8,700 | 43.5 |
| 14 | 20,000 | 10,500 | 52.5 |
| 16 | 20,000 | 8,700 | 43.5 |
| 18 | 20,000 | 6,360 | 31.8 |

W.T. : Water temperature.

였으며, 菊池(1975)는 産卵誘發의 主要因이 水温變化에 의한 것이라고 밝히고 있다. 本實驗에서는 自然海水보다 3 ~ 4°C 높은 12 ~ 14°C의 刺戟水温區間에서 가장 좋은 放卵放精反應을 나타냈는데, 이러한 結果는 Yoo and Ryu(1982)의 報告와도 一致하는 것이다.

우렁쟁이의 卵 및 幼生에 대한 發生課程에 있어서 Hirai(1941b)는 水温 13 ~ 14°C 범위에서 卵은 受精後 5時間만에 2細胞, 21時間後에는 神經胚로 되었다가 약 46時間만에 孵化하게 된다고 밝힌 바 있어 本實驗에서 行한 14°C 구간에서의 結果와는 다소 差異가 있다. 이와 같이 Hirai(1941b)의 結果가 本實驗의 結果에 비해 卵發生段階別 所要時間이 다소 길었던 것은 實驗에 使用한 어미 우렁쟁이의 産地가 서로 다른데 起因되는 것으로 추측된다. 한편, 佐藤 等(1972)은 水温 14°C의 경우 受精後 1時間만에 2細胞, 35時間後에는 孵化한다고 報告하였다. 이러한 結果는 孵化까지 34.48時間을 보인 本實驗의 結果와 거의 一致하고 있다.

菊池(1975)는 우렁쟁이 種苗의 生存에 관한 上限 및 下限水温에 대하여 조사한 바 있는데, 0.5 ~ 1.0cm의 우렁쟁이를 海水에 담가두었던 종이에 포장하여 -1.3°C의 공기중에서 滿 6日間 둔 結果, 97.3%의 生存率을 나타냄으로써 저온에 대한 저항성은 아주 높았으나 高温에는 아주 약하다고 하였다. 本實驗에서도 우렁쟁이 初期發生의 生物學的零度가 0.27°C로 산출되었고 0°C에서도 孵化前 尾虫形幼生까지 發生하여 저온에 대한 耐性이 강한 것으로 나타났으나, 高温인 24°C 이상에서는 卵發生이 이루어지지 않음으로써 菊池(1975)의 報告와 비슷한 경향을 보이고 있다. 이와 같은 結果로써 우렁쟁이는 저온에 대한 저항성은 강하지만 高温에서는 매우 약하다는 것을 알 수 있고, 卵發生이 가능한 하한수온은 0°C, 상한수온은 24°C로 추정된다.

그리고 卵發生이 가능한 상한과 하한수온범위내에서는 發生速度가 수온과 밀접한 정상관계를 보이고 있어(Fig. 4), 수온상승에 비례하여 卵發生速度는 빨라지는 것으로 판단된다. 이는 생체반응의 온도의존성에 관한 지표로서의 Q_{10} 의 법칙에 부합되는 결과로 인정된다.

卵發生速度에 대한 關係式과 生物學的零度を 利用하여 작성된 Fig. 5는 8細胞, 32細胞, 初期尾虫形幼生, 그리고 孵化幼生에 대한 各各의 積算水温 및 各 發生水温別로 孵化까지의 所要時間을 손쉽게 알아 볼 수 있는 不見表로서, 現場에서의 種苗生産時 예정 孵化時刻를 산출할 수 있어 種苗生産의 工程化를 기할 수 있는 資料로 유용하게 使用할 수 있다고 생각된다.

要 約

우렁쟁이의 效率의인 種苗生産을 위한 生物學的 基礎資料를 얻고자 産卵誘發, 卵發生 및 採苗에 미치는 環境要因으로서 水温과 照度の 影響에 대하여 實驗한 結果는 다음과 같다.

1. 刺戟水温別 生産誘發 結果 14°C에서 가장 많은 産卵量을 보였고, 12°C에서 가장 높은 受

精率을 나타냈다.

2. 卵發生의 各段階에 이르기까지의 水温($T, ^\circ\text{C}$)에 따른 發生速度(h , 時間)는 水温이 높을 수록 빨랐으며, 그 關係式은 다음과 같다.

$$8\text{細胞 } \frac{1}{h} = 0.0147 T - 0.0069 \quad (r=0.9816)$$

$$32\text{細胞 } \frac{1}{h} = 0.0100 T - 0.0017 \quad (r=0.9672)$$

$$\text{初期尾虫形幼生 } \frac{1}{h} = 0.0043 T + 0.0024 \quad (r=0.9913)$$

$$\text{孵化幼生 } \frac{1}{h} = 0.0021 T - 0.0021 \quad (r=0.9898)$$

3. 우렁쟁이의 水温과 卵發生速度와의 關係에서 推定된 卵發生의 生物學的零度는 平均 0.27°C 였다.

4. 우렁쟁이의 卵發生이 가능한 下限水温 및 上限水温은 各各 0°C , 24°C 였다.

5. 水温別幼生の 附着率은 14°C 에서 가장 높았으며, 14°C 를 頂點으로 水温이 上昇, 下降할 수록 低調한 附着率을 나타냈다.

謝 辭

本實驗을 위하여 實驗施設을 이용할 수 있도록 협조해 주신 釜山水產大學 海洋科學研究所 진평 所長과 직원 여러분에게 감사를 드리며 本 論文을 검토하여 주신 釜山水產大學 金仁培 博士와 許聖範 博士에게 謝意를 표한다.

參考文獻

- 菊池要三郎. 1971a. 마보야의 人工ふ化와 養殖. 養殖 8(9): 56 - 58.
 ———. 1971b. 마보야의 人工ふ化와 養殖. 養殖 8(9): 120 - 124.
 ———. 1975. 마보야의 發生と産卵について. 養殖 12(11): 81 - 82.
 ———. 1976. 마보야의 成長と養殖に關する試驗. 養殖 13(3): 98 - 99.
 金鍾斗 · 鄭成采 · 姜海遠 · 李鍾文 · 趙榮朝. 1982. 우렁쟁이 人工種苗生産試驗. 水振事報 55: 17 - 29.
 卡圭主 · 盧龍吉 · 張榮振. 1977. 우렁쟁이 *Cynthia roretzi* Drasche의 初期發生 및 採苗에 關하여. 水振研報 18: 122 - 133.
 佐藤敦 · 青山寶藏 · 川村幸一. 1972. 마보야, *Cynthia roretzi* Drasche의 人工採苗試驗. 青森縣水産增殖センター事業概要 1: 234 - 236.
 Hirai, E. 1941a. An outline of the development of *Cynthia roretzi* Drasche. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Biol. 16: 217 - 232.
 ———. 1941B. The early development of *cynthia roretzi* Drasche. Sci. Rep. Tohoku. Imp. Univ. Biol. 16: 257-261.
 ———. 1962. On the separation of the body and tail of Ascidian larva. Bull. Mar. Biol. St. Asamushi 10: 127 - 131.
 ———. 1963. On the duration of swimming larvae as a responder of stimulation for metamorphosis. Bull. Mar. Biol. St. Asamushi 12: 9 - 11.
 ———. 1965. On the changes of the adhesive papillae of the larvae of an Ascidian, *Halocynthia roretzi*. Bull. Mar. Biol. St. Asamushi 13: 1 - 11.
 Yoo, S. K. and H. Y. Ryu. 1982. The metamorphosis of the sea squirt, *Halocynthia roretzi*, hatching, settlement and tail reduction of the tadpole larvae. Bull. Fish. Res. Dev. 28: 177 - 183.