

# 북쪽말뚝성게, *Strongylocentrotus intermedius* 幼生에 대한 3種 硅藻類의 먹이效果

李彩成 · 白國基\*

國立水產振興院 江陵水產種苗培養場  
\*國立水產振興院 襄陽內水面研究所

## Evaluation of Three Species of Diatoms for Rearing Larvae of Sea Urchin, *Strongylocentrotus intermedius*

Chae Sung Lee and Kook Ki Baik\*

Kangnung Hatchery, National Fisheries Research and Development Agency,  
Kangnung, Kangwon-do 210-800, Korea

\*Yangyang Inland Fisheries Research Laboratory, National Fisheries Research and  
Development Agency, Yangyang-gun, Kangwon-do 215-820, Korea

### ABSTRACT

In order to evaluate three species of diatoms as the live food sources for rearing larvae of sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*, six different feed experiments were conducted for 35 days. We measured sizes, survival rates on elapsed day after hatching and required days of each larval stages of sea urchin in the different feeding experiments.

Sizes of the larvae of sea urchin cultured with *Isochrysis* + *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Chaetoceros* and *Pavlova* were 735 μm, 718 μm, 701 μm and 642 μm, respectively. The highest daily growth rates of the larvae of sea urchin showed *Isochrysis* within 6 armed and *Chaetoceros* after 6 armed. Survival rates of the larvae of sea urchin cultured with *Chaetoceros*, *Isochrysis* + *Chaetoceros*, *Isochrysis* and *Pavlova* were 37.2%, 35.0%, 32.4%, and 18.4%, respectively. The required days from fertilization to the 8 armed (Senior) stage in the larvae of sea urchin, fed *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *chaetoceros* + *pavlova*, *pavlova* + *isochrysis* and *isochrysis* + *chaetoceros* were 24, 27, 33, 28, 30 and 25 days, respectively.

### 序 論

우리나라에 分布하는 産業的으로 중요한 성게의 종류는 보라성게, 분홍성게, 말뚝성게 및 북쪽말뚝성게이다. 이중 북쪽말뚝성게는 가장 깊은 곳에 서식하는 東海岸 深海産 種으로서(柳 1979) 다른 種에 비하여 生殖巢의 量과 質이 가장 우수하여 생산되는 全量이 高價로 수출되고있다.

그러나 最近 漁獲強度의 增加로 인하여 성계 資源이 급격히 減少되고 있어 이에 대한 資源管理가 必須的이라 여겨지고, 소득원인 資源을 持續的으로 증대시키기 위해서는 인공종묘생산에 의한 放流事業이 절실히 要求되며, 성계의 種묘를 보다 쉽고 안전하게 생산 하기 위해서는 부유유생의 初期먹이에 대한 研究가 필요하다.

성계의 種묘생산에 관하여는 角田(1978a, b), 盧·朴(1986), 田鳥·福地 (1989), 田鳥 等(1991)의 研究가 활발히 進行되고 있다. 그러나 부유유생기의 먹이에 관해서는 角田·中村(1974a, b)의 먹이 공급방법 및 그의 效果에 관한 研究와 湯川·石渡(1986)의 成長 및 生存率에 있어 먹이 공급개시 시기의 影響에 관한 報告가 있을뿐이며, 우리나라에서는 全無한 실정이다.

따라서 본 연구는 북쪽말뚝성계 種묘生産을 위한 幼生飼育時 適合한 먹이를 구명하기 위하여 1992년 10월 8일 부터 11월 12일까지 *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri*, *Isochrysis galbana* 等 3種類의 硅藻類를 單獨區와 이를 混合 供給한 混合區 等 6개 試驗區를 설정하여 부유유생의 成長, 生存率 및 발생과정을 조사하였다.

## 材料 및 方法

本 試驗에 사용한 북쪽말뚝성계 어미는 1992년 10월 강원도 양양군 현남면 남애리 앞바다에서 채포한 것으로 殼徑은 7.1~8.2 cm (평균 7.6 cm) 範圍의 개체였다.

산란유발은 KCl 용액 주입법에 의하여 성계의 입주위에 0.5 N KCl 용액을 주사기로 1~2 cc 주입시켜 刺戟시켰고, 刺戟에 의해 산란된 난과 정자를 각각 분리하여 받은 후 인공수정 하였으며, 즉시 洗卵한 다음 孵化槽(10 l 원형 플라스틱통)에 收容하여 부화시켰다.

부화된 幼生은 시험구를 각각 2개씩 총 6개로 하여 紫外線으로 殺菌한 海水를 채운 500 ml 비커에 2 마리/ml의 密度로 收容하였으며, 사육수는 매일 오전 8시에 紫外線 殺菌海水로 全量을 환수하였다.

本 試驗에 사용한 먹이생물은 *Chaetoceros calcitrans* (Ch.), *Pavlova lutheri* (Pa.), *Isochrysis galbana* (Iso.)의 單獨試驗區와 이를 각각 혼합한 *Chaetoceros*+*Pavlova*, *Pavlova*+*Isochrysis*, *Isochrysis*+*Chaetoceros*의 혼합구 등 6개 시험구로 구분하였다. 먹이 배양은 10 l 유리병을 이용한 連續 通氣 培養法으로 고압 멸균된 해수를 사용하였고, 源種의 接種 濃度는 1 ml 당  $100 \times 10^4$  細胞로 하여 최대  $500 \times 10^4$  細胞 이상시 먹이로서 공급하였으며 먹이로 공급되는 時期는 *Chaetoceros*는 접종후 5~6일, *Pavlova*와 *Isochrysis*는 7~8일 되는 것이었다. 幼生飼育 기간동안의 먹이공급량은 매일 환수직후 공급해 주되 單獨區에서 104세포/ml의 밀도로 하였으며, 混合區에서는 1:1의 비율로 하였다.

부유유생의 크기는 몸의 後端으로부터 입 後側의 先端까지의 길이로 표시하였고, 幼生의 성장은 30 개체를 무작위로 抽出하여 만능투영기(Nikon V-12A)하에서 측정하였으며, 生存率은 사육수 환수시 개체수를 계수하였다. 시험기간 동안의 수온은 14.5~17.8°C, 비중은 1.0245~1.0252 범위 였다. 실험 결과에 대한 통계처리는 *t*-test (성장)와 *z*-test (생존율)로 유의차를 검정하였다.

## 結 果

### 1. 먹이생물의 종류에 따른 幼生의 成長 및 生存率

먹이생물의 종류에 따른 유생의 成長은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 受精後 2일째에 모든 試驗區가

4腕期로서 平均體長 469~480  $\mu\text{m}$  範圍로 成長差가 크지 않았으나 受精後 5일째 부터 각 먹이별 成長差가 뚜렷하여 *Isochrysis*+*Chaetoceros* 의 混合區가 543  $\mu\text{m}$ 로 成長이 가장 양호하였고 *Pavlova*의 單獨區는 497  $\mu\text{m}$ 로 가장 저조한 成長을 보였다.

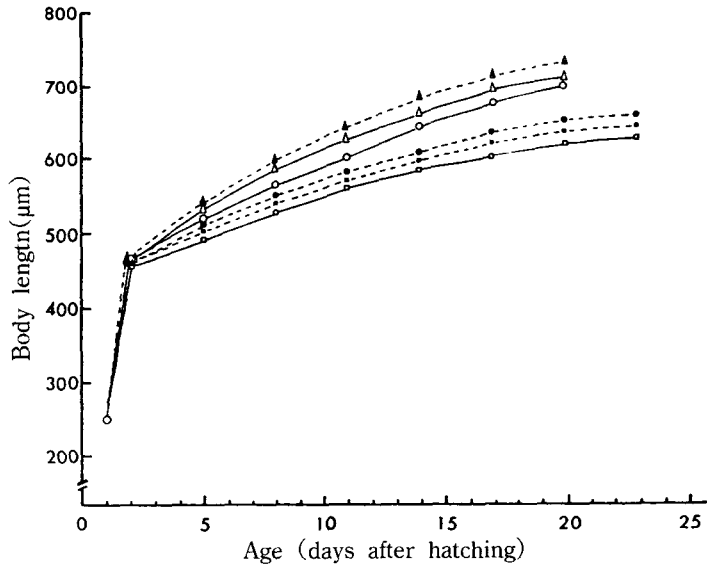


Fig. 1. Growth of the larvae of sea urchin in the different feed experiments.

- *Chaetoceros*                      □ *Pavlova*
- △ *Isochrysis*                      ● *Chaetoceros* + *Pavlova*
- *Pavlova* + *Isochrysis*        ▲ *Isochrysis* + *Chaetoceros*

受精後 20일째에는 *Isochrysis*+*Chaetoceros*의 混合區, *Isochrysis*의 單獨區 및 *Chaetoceros*의 單獨區가 각각 735  $\mu\text{m}$ , 718  $\mu\text{m}$  및 701  $\mu\text{m}$ 로 서로간에 유의적인 차이가 없이(Table 1) 양호한 성장을 보인 반면, *Pavlova*의 單獨區는 620  $\mu\text{m}$ 로 가장 저조한 成長을 보였다. 또한, 먹이종류별 日間成長率은

Table 1. Statistical comparison of the body length of the larvae in six different feed experiments

	Ch.	Pa.	Iso.	Ch.+Pa.	Pa.+Iso.	Iso.+Ch.
Ch.		**	-	-	**	-
Pa.	5.374		**	**	-	**
Iso.	1.023	5.955		**	**	-
Ch.+Pa.	1.611	3.772	2.514		*	**
Pa.+Iso.	3.642	1.716	4.377	2.041		**
Iso.+Ch.	1.337	6.467	0.889	3.280	5.001	

\* : Significant at 95% level

\*\* : Significant at 99% level

- : Not significant at 95% level.

Table 2에서와 같이 9일째(6晩期)까지는 *Isochrysis*의 單獨區 및 混合區가 양호하였으며, 그 이후는 *Chaetoceros*의 單獨區 및 混合區에서 양호하였다.

먹이생물 종류에 따른 幼生의 生存率은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 受精後 2일째는 각 먹이별로 차이가 없었으나, 受精後 5일째의 生存率은 47.3~67.2%의 範圍로 급격히 감소하였다.

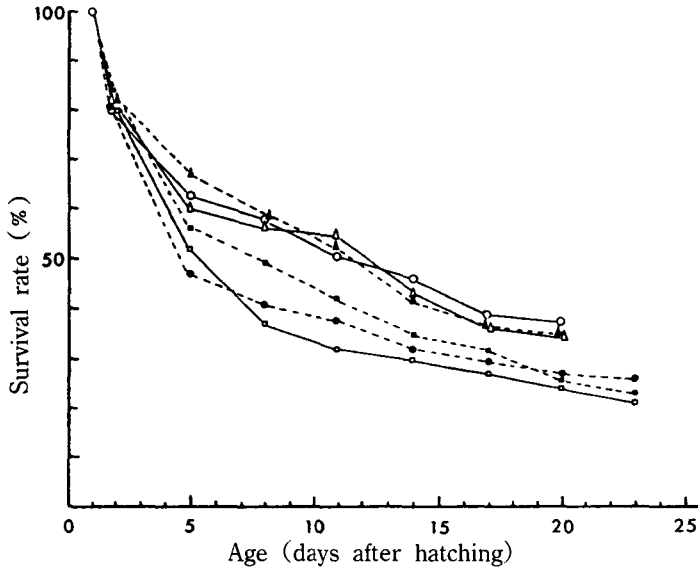


Fig. 2. Survival rate of the larvae of sea urchin in the different feed experiments.

- *Chaetoceros*
- △ *Isochrysis*
- *Pavlova + Isochrysis*
- *Pavlova*
- *Chaetoceros + Pavlova*
- ▲ *Isochrysis + Chaetoceros*

Table 2. Daily growth rate for the elapsed days after hatching of the larvae of sea urchin in different feed experiment

Elapsed days	Daily growth rate (%)						Remark (Armed)
	Ch.	Pa.	Iso.	Ch.+Pa.	Pa.+Iso.	Iso.+Ch.	
3	18.7	11.7	20.3	15.7	12.6	20.6	4
6	14.6	11.5	17.3	11.6	10.6	18.3	6
9	13.5	7.9	15.3	11.2	11.0	16.2	6
12	12.7	7.6	11.2	10.1	6.7	12.0	6-8
15	8.7	5.0	7.0	6.8	4.3	7.9	8
18	3.5	4.5	2.4	5.7	4.0	2.8	8
21	-	3.7	-	4.3	3.6	-	8

受精後 20일째에는 *Chaetoceros*와 *Isochrysis*의 單獨區와 이를 혼합한 *Isochrysis + Chaetoceros*의 混合區에서는 34.8~38.1%의 生存率을 보여 서로간의 유의차가 없이(Table 3) 높은 생존율을 보인 반면, *Pavlova*의 單獨區와 混合區에서는 24.5~27.4%로서 저조한 生存率을 보였다.

Table 3. Statistical comparisons of the survival rates of the larvae in six different feed experiments

	Ch.	Pa.	Iso.	Ch.+Pa.	Pa.+Iso.	Iso.+Ch.
Ch.		**	—	**	**	—
Pa.	6.373		**	**	*	**
Iso.	1.663	5.109		**	**	—
Ch.+Pa.	4.110	2.694	3.500		—	**
Pa.+Iso.	4.831	1.961	3.191	1.053		**
Iso.+Ch.	0.667	6.093	1.428	3.451	5.914	

\* : Significant at 95% level

\*\* : Significant at 99% level

— : Not significant at 95% level.

## 2. 먹이생물 종류에 따른 幼生の 發生段階別 成長 및 生存率

먹이생물 種類에 따른 發生段階別 成長은 Fig. 3에서와 같이 모든 試驗區에서 4腕期 幼生부터 急成長을 하여 8腕期에 最高의 成長을 보이며, 그 이후는 다시 감소하는 경향을 보이는데 이것은 8腕 後期가 되면 부착을 위한 管足이 나타나면서 體長이 감소되기 때문이다. 그리고 각 먹이종류에 따른 成長은

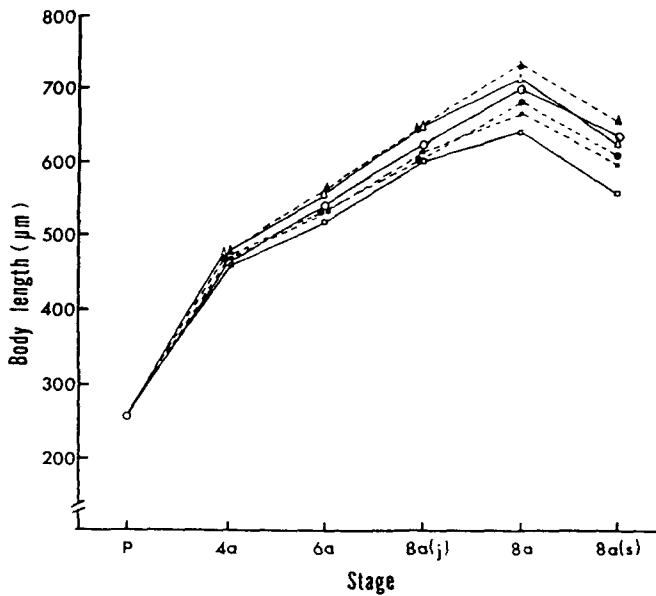


Fig. 3. Growth of each larval stage of sea urchin in the different feed experiments. P, Pyrmid; 4a, 4 armed; 6a, 6 armed; 8a (j), 8 armed (junior); 8a, 8 armed; 8a (s), 8 armed (senior)

- *Chaetoceros*
- *Pavlova*
- △ *Isochrysis*
- *Chaetoceros + Pavlova*
- *Pavlova + Isochrysis*
- ▲ *Isochrysis + Chaetoceros*

4腕期에서 成長差가 보이지 않았으나 6腕期에 들면서 점차 차이를 보이기 시작하여 8腕期에는 *Isochrysis* + *Chaetoceros*의 混合區, *Isochrysis*의 單獨區 및 *Chaetoceros*의 單獨區가 각각 735  $\mu\text{m}$ , 718  $\mu\text{m}$ , 및 701  $\mu\text{m}$  로 성장하였으며, *Pavlova*의 單獨區와 混合區는 642~677  $\mu\text{m}$ 로서 뚜렷한 成長差를 보이고 있다.

먹이생물 종류에 따른 發生段階別 生存率을 보면 Fig. 4에서와 같이 4腕期까지는 먹이별 차이가 없이 감소하다가 4腕期 이후 가장 많은 폐사를 보여 6腕期에는 39.1~67.4%로 급격히 감소하였으며, 그 이후는 큰 감소현상을 보이지 않았다.

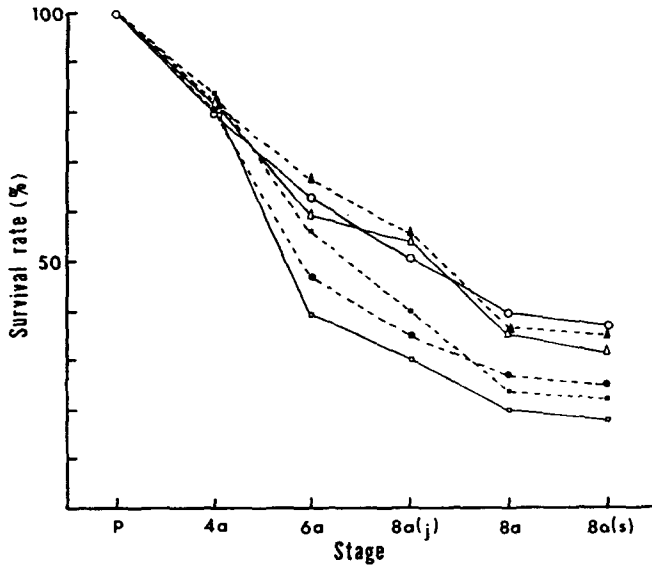


Fig. 4. Survival rates of each larval stage of sea urchin in the different feed experiments. P, Pyramid; 4a, 4 armed; 6a, 6 armed; 8a (j), 8 armed (junior); 8a, 8 armed; 8a (s), 8 armed (senior)

- *Chaetoceros*
- △ *Isochrysis*
- *Pavlova* + *Isochrysis*
- *Pavlova*
- *Chaetoceros* + *Pavlova*
- ▲ *Isochrysis* + *Chaetoceros*

그리고 8腕初期까지의 生存率은 *Isochrysis* + *Chaetoceros*의 混合區가 56.2%로 가장 양호하였으며, *Pavlova*의 單獨區는 時終 가장 低調한 生存率을 나타내었다. 8腕 後期까지의 生存率은 *Chaetoceros*의 單獨區, *Isochrysis* + *Chaetoceros*의 混合區 및 *Isochrysis*의 單獨區가 각각 37.2%, 35.0%, 32.9%로 높은 生存率을 보였고, *Pavlova*의 單獨區와 混合區는 18.4~25.2%로 저조한 生存率을 보였다.

### 3. 먹이생물 종류에 따른 幼生の 發生段階別 所要日數

먹이생물 종류에 따른 幼生の 發生段階別 所要日數는 Table 4 및 Fig. 5와 같이 모든 試驗區에서

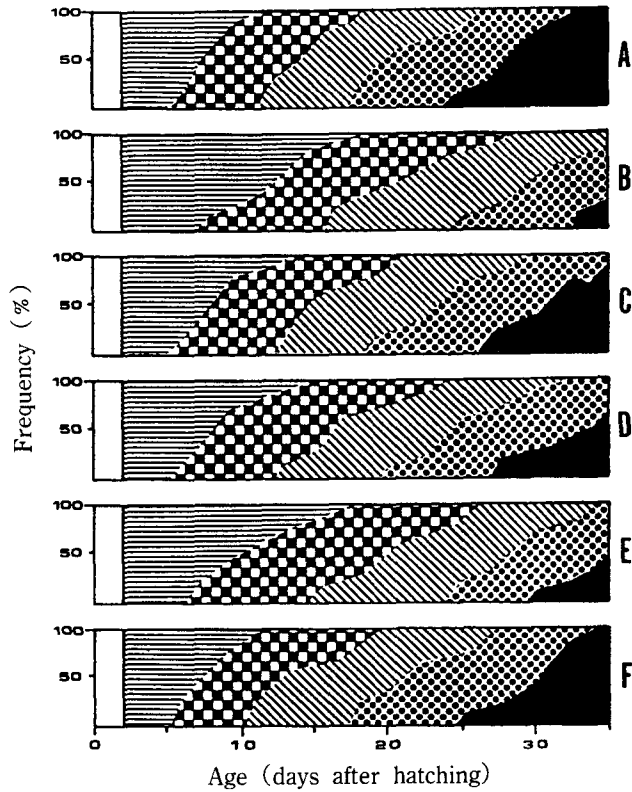


Fig. 5. Occurrence of each larval stage of sea urchin in the different feed experiments.

- A : *Chaetoceros* pyramid
- B : *Pavlova* 4 armed
- C : *Isochrysis* 6 armed
- D : *Chaetoceros* + *Pavlova* 8 armed (Junior)
- E : *Pavlova* + *Isochrysis* 8 armed
- F : *Isochrysis* + *Chaetoceros* 8 armed (Senior)

Table 4. The required days to each larval stage of sea urchin in the different feed experiments

Developmental stage	Ch.	Pa.	Iso.	Ch. + Pa.	Pa. + Iso.	Iso. + Ch.
Pyramid	1	1	1	1	1	1
4 armed	2	2	2	2	2	2
6 armed	6	8	6	6	7	6
8 armed (Junior)	12	17	13	13	15	11
8 armed	18	25	19	21	22	18
8 armed (Senior)	24	33	27	28	30	25

受精後 2일만에 4腕期가 出現하였고 6腕期까지는 6~8일이 所要되어 먹이에 따른 차이가 나타나기 시작하였다.

8腕期에 도달하는데는 *Chaetoceros* 및 *Isochrysis*의 單獨區와 *Isochrysis*+*Chaetoceros*의 混合區가 18~19일이 所要되고, 나머지는 21~25일이 所要되었다. 8腕 후기까지는 *Chaetoceros*의 單獨區가 24일로 가장 빨랐고, *Isochrysis*+*Chaetoceros*의 混合區 및 *Isochrysis*의 單獨區가 각각 25일, 27일이 所要되었으며, *Pavlova*의 單獨區는 33일만에 8腕 後期가 出現되므로서 먹이에 따른 發生速度가 현저한 차이를 나타내고 있다.

## 考 察

성계의 幼生은 4腕期부터 8腕期까지는 體構成 部位의 발달이 현저히 進行되고, 그 이후 8腕 後期가 되면 부착을 위한 管足이 나타나므로 성장이 감소하는 경향이 있으며, 또한 受精부터 4腕 以前까지는 부유생활에 적응하는 시기로 먹이를 주지 않아도 發育하지만 4腕期부터는 섭식이 시작되는데 이때 섭식이 정상으로 행해지지 않으면 6腕期 以後에 발육이 되지 않는다(川村 1973)고 하므로서 幼生飼育에 있어 먹이가 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

角田·中村(1974a)은 보라성계에 대하여 *Phaeodactylum tricornutum*, *Nitzschia closterium*, *Chlamydomonas sp.*, *Chaetoceros gracilis*를 사용한 결과 *Chaetoceros gracilis*를 單獨 또는 *Chaetoceros gracilis*를 포함한 混合공급이 좋은성적을 얻었다고 報告하였으며, 角田·中村(1974b)는 조개류의 먹이생물로서 우수한 *Monochrysis lutheri* (*Pavlova lutheri*)를 성계의 부유유생 사육에 이용한 결과 좋은성적을 보이지 않았다고 하였다.

本 研究에서는 우리나라에서 주로 배양하고 있는 *Chaetoceros*을 비롯하여 *Pavlova* 및 *Isochrysis*의 3가지 먹이생물을 單獨 혹은 混合으로 공급하여 사육한 결과 먹이생물 종류에 따른 成長은 受精後 20일째에 *Chaetoceros* 및 *Isochrysis*의 單獨區와 *Isochrysis*+*Chaetoceros*의 混合區에서 平均體長 700  $\mu\text{m}$  이상으로 성적이 좋았으며(Fig. 1), 특히 *Isochrysis*+*Chaetoceros*의 混合區는 735  $\mu\text{m}$  로 成長이 가장 양호하였다.

먹이종류에 따른 日間成長率에 있어 受精後 9일째(6腕期)까지는 *Isochrysis*의 單獨區 및 混合區가 양호하였으며, 그 이후는 *Chaetoceros*의 단독구 및 混合區에서 양호한 日間成長率을 보이므로서 幼生初期(6腕期)에는 *Isochrysis*, 8腕초기부터는 *Chaetoceros*의 먹이효율이 높은 것으로 나타났다(Table 2).

이로써 북쪽말뚝성계 부유유생사육에서 *Chaetoceros*와 *Isochrysis*의 먹이가 成長效果가 있는 것으로 나타났으며, 더욱이 *Chaetoceros*에 *Isochrysis*를 혼합投餌한 것이 成長이 더 좋은 것으로 나타나 식물성 plankton을 혼합해서 공급하면 하나의 식물성 plankton을 공급하는 것 보다 成長이 더 빠르다(Walne 1970)고 보고한 것과 잘 일치 한다.

Thorson(1946, 1950)은 해산무척추동물의 부유기간중의 폐사원인으로는 水溫, 먹이條件, 海流에 의한 流失, 變態時 食性變化, 害賊生物 등을 들 수 있는데 이중에 가장 중요한 조건은 먹이라고 보고하였다.

유생사육에 있어 가장 폐사가 심한 단계는 4腕期에서 6腕期로 이행할 때로 盧·朴(1986)은 보라성계 飼育에서 受精後 이 단계까지 40%의 폐사를 보였다고 하였고, 川村(1973)은 幼生發育段階에서 4腕期 폐사가 顯著하다고 보고하였으며, 本 研究에서 먹이생물 종류에 따른 生存率은 모든 試驗區에서 受精後



5일 이내에 폐사가 顯著하였는데(Fig. 2), 이는 4腕期(Fig. 4)에 해당하므로서 盧·朴(1986) 및 川村(1973)의 보고와 잘 일치한다. 이 時期는 消化管이 완전히 形成되어 섭식을 시작하는 단계로서 대량 폐사가 이루어 지기 쉬우므로 먹이생물의 공급량 및 水質管理 等 飼育管理에 관한 연구가 이루어 져야 할 것으로 생각된다.

受精後 20일째의 生存率은 *Chaetoceros* 및 *Isochrysis*의 單獨區와 *Isochrysis* + *Chaetoceros*의 混合區에서 34.8~38.1%로 양호한 生存率을 보인 반면, *Pavlova*의 單獨區와 이를 혼합한 試驗區에서는 24.5~27.4%로 저조하였다.

먹이에 따른 成長과 生存에 관하여 湯川·石渡(1986)는 먹이생물 종류에 따른 공급시기가 생존에 관여한다고 하였고, Wikfors et al. (1984)은 먹이의 營養組成이 成長 및 生存에 影響을 미친다고 報告하므로서 먹이생물의 공급시기 및 그들의 生化學的 組成을 分析하여 飼育 對象種의 成長 및 生存을 높일 수 있는 適正먹이의 선택성 등의 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

發生段階別 變態期間은 飼育條件에 따라 큰 影響을 받는데 먹이에 따른 出現日數에 대하여 川村(1973)은 *Phaeodactylum tricornatum*을 공급 했을시 受精後 7~8일째 6腕期가 出現하였고, 11~12일에 8腕前期가 되었다고 하였으며, 本 研究에서는 6~8일만에 6腕期가 出現하여 먹이별 차이는 크지 않았고, 8腕 初期는 *Chaetoceros* 및 *Isochrysis*의 單獨區와 *Chaetoceros*의 混合區에서 11~13일이 所要되어 川村(1973)의 보고와 비슷하였으며, *Pavlova*의 單獨區와 混合區는 15~17일 所要되어 다른 먹이에 비하여 훨씬 늦는 것으로 나타났다.

以上 북쪽말뚱성게 부유유생 飼育에 있어 成長, 生存率 및 發生段階를 종합해 볼때, *Chaetoceros calcitrans*와 *Isochrysis galbana*는 먹이생물로서 價値가 높았으며, 이 2種을 混合공급하였을 때 더 좋은 效果를 보이므로 먹이생물의 混合供給에 의한 幼生飼育이 바람직하다고 생각된다.

## 要 約

북쪽말뚱성게 幼生期の 먹이효과를 알기 위하여 *Chaetoceros calcitrans*, *Pavlova lutheri* 및 *Isochrysis galbana*의 3개 單獨區와 이를 混合 공급한(*Chaetoceros* + *Pavlova*, *Pavlova* + *Isochrysis*, *Isochrysis* + *Chaetoceros*) 3개 시험구 등 총 6개의 시험구에 대한 成長度, 生存率 및 發育 段階別 소요일수를 조사한 결과는 다음과 같다.

먹이 종류에 따른 유생의 成長은 8腕期까지 *Isochrysis* + *Chaetoceros*의 혼합구, *Isochrysis*의 단독구 및 *Chaetoceros*의 단독구가 각각 735  $\mu\text{m}$ , 718  $\mu\text{m}$  및 701  $\mu\text{m}$  로 成長이 좋았으며 *Pavlova*의 단독구는 642  $\mu\text{m}$ 로 저조하였다. 먹이 종류별 일간성장율에 있어서 幼生初期(6腕期)에는 *Isochrysis*, 8腕 초기부터는 *Chaetoceros*의 먹이효율이 높은 것으로 나타났다.

생존율에 있어서는 *Chaetoceros*의 單獨區, *Isochrysis* + *Chaetoceros*의 混合區, *Isochrysis*의 單獨區 및 *Pavlova*의 單獨區가 각각 37.2%, 35.0%, 32.4% 및 18.4%로 나타났다. 북쪽말뚱성게의 유생발육 단계별 소요일수에 있어 6腕期까지는 먹이종류에 따른 큰차이가 없었으나, 8腕 후기까지의 소요일수는 *Chaetoceros*의 單獨區가 24일째로 가장 빨랐고 *Isochrysis*의 單獨區는 27일, *Pavlova*의 單獨區 및 混合區는 30~33일이 소요되었다.

## 參 考 文 獻

- Thorson, G., 1946. Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates, with special reference to planktonic larvae in the Sound(Resund). Medd. Komm. Dan. Fish. Hav. Plankton 4 : 1-523.
- Thorson, G., 1950. Reproduction and larval ecology of marine bottom invertebrate. Biol. Rev. 25 : 1-40.
- Walne, P. R., 1970. Studies on the food value of nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera *Oystrea*, *Crassostrea*, *Mercenaria* and *Mytilus*. Fishery Invest., Lond. 26 : 62 pp.
- Wikfors, G. H., J. W. Twarog, and R. Ukele, 1984. Influence of chemical composition of algal food sources on growth of juvenile oysters, *Crassostrea virginica*. Biol. Bull. 167 : 251-263.
- 角田信夫, 1978a. ウニ類の種苗生産に関する研究-III. 浮遊幼生の大量飼育について. 水産増殖 25 : 121-127.
- 角田信夫, 1978b. ウニ類の種苗生産に関する研究-IV. 底生移行後の稚仔の飼育. 水産増殖 25 : 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. ムラサキウニ浮遊幼生の飼育餌料の検討. 水産増殖 22 : 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-III. アカウニ浮遊幼生の飼育餌料の検討. 水産増殖 22 : 56-60.
- 盧龍吉・朴斗元, 1986. 보라성게의 人工種苗生産에 관한 研究. 水振研報 39 : 89-94.
- 柳晟奎, 1979. 淺海養殖. 새롬출판사, 605pp.
- 田鳥健一郎・福地 誠, 1989. エゾバフンウニ人工種苗生産の研究 I. 冬期間底生初期稚ウニの成長. 北海道水試研報 33 : 21-29.
- 田鳥健一郎・山下幸悦・福地 誠, 1991. エゾバフンウニ人工種苗生産の研究 II. 變態期幼生の沈着. 北海道水試研報 36 : 61-70.
- 川村一廣, 1973. エゾバフンウニの漁業生物學的研究. 北海道立水産試験場報告 16 : 1-54.
- 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.