

동해안 참가리비, *Patinopecten yessoensis*의 중간육성

박영제* · 노 섬¹⁾ · 이정용²⁾

국립수산진흥원 서해수산연구소 · ¹⁾제주대학교 해양과학대학,
²⁾국립수산진흥원 강릉수산종묘시험장

Intermediate Culture of the Scallop, *Patinopecten yessoensis* in the East Coast of Korea

Young-Je Park*, Sum Rho¹⁾ and Jeong-Yong Lee²⁾

Department of Aquaculture, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-201, Korea

¹⁾Department of Marine Biotechnology, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

²⁾Kangnung Marine Hatchery, NFRDI, Kangnung, 210-807, Korea

Optimal environmental conditions, that sustained fastest growth, lowest mortality and abnormality of the scallop *Patinopecten yessoensis*, were identified from field experiments undertaken at Chumunjin during 1991~1998. Temperature within the water column 10~30 m depth ranged between 5 and 23°C; high temperature and daily fluctuation resulted in growth retardation and heavy mortality of the scallop. Optimal salinity range was between 31.5 and 34.5‰ and water transparency 6.0 and 18.1 m, which was significantly affected by phytoplankton density. Chlorophyll concentration ranged between 0.04 and 3.51 µg/L. Low temperature and high chlorophyll concentration appear to support faster growth of the scallop.

Optimal periods of transplantation for intermediate culture were between mid July and early November: cultured under high density during July~August as a first step and under low density during mid September through early November as a second step. Optimal stocking density in square net cage (35×35 cm) for intermediate culture was 30~40 individuals per cage for main culture using lantern net and 80~100 individuals of the size of 1.5~3.0 cm shell height per cage for sowing culture. During the intermediate culture, the highest growth was realized, when the cage was held at water depth between 10 and 15 m. Water depth below 25 m, however, was best to avoid mass mortality during the periods of abnormally high water temperature and high variation of water temperature. The daily growth rate during the intermediate culture was between 0.019~0.381 mm; low in January and February but high in March and April. It is suggested that the main culture is commenced before June under low stocking density to avoid the possibility of mass mortality during summer by high water temperature.

Key words: Scallop, *Patinopecten yessoensis*, Environmental parameters, Intermediate culture, Growth, Stocking density, Abnormality, Death

서 론

참가리비는 세계적으로 성장과 품질면에서 경제적 가치가 매우 우수한 종으로 1989년 이후 상업적인 양식이 우리나라 동해안에서 성공을 거둠에 따라 1997년에는 강

원연안에서만 1,250톤(박, 1998)이 생산되어 산업화 양식으로 정착되어가고 있다.

참가리비의 양식은 자연채묘와 중간육성, 본양성 또는 바닥양성 등의 단계로 이루어진다. 자연채묘에 의해 부착된 치패는 채묘기 안에서 고수온이 지속되는 8월까지 각

*Corresponding author : scallop@nfrda.re.kr

고 1 cm 전후로 성장하게되고, 급속한 성장과 함께 내부 기관이 발달하면서 생리활성도 크게 변화한다(Maru, 1985a). 이후 치패는 죽사가 부착기에서 떨어져 저서생활로 들어갈 수 있게 되나 성패에 비해 환경 내성이 약해 서식환경이 부적합한 곳에 떨어질 경우 90% 이상이 저서생활 중 죽게되며, 어떤 곳은 거의 모두 죽는 경우도 있다(Yamamoto, 1964). 따라서 치패의 생존을 향상과 성장 촉진을 위해서는 중간육성단계를 반드시 거쳐야 하는데, 중간육성의 목적은 치패 시기의 짧은 기간 동안 각고 3~5 cm 크기의 건강한 종묘로 빠르게 성장시켜 본 양성 또는 바닥 양성용 종묘를 생산하는 데 있다. 그러나 중간육성은 치패를 고밀도로 수용하여 관리함으로써 수온과 먹이 생물 등 외부 환경에 민감한 영향을 받을 뿐만 아니라 채통내의 진주담치(*Mytilus edulis*) 등 다른 종과의 먹이 경쟁이 심해지고(Thorarinsdottir, 1991), 불가사리 등 해적 생물의 식해 또는 생리활성 저하로 때로는 폐사의 위험에 노출될 수 있다.

특히, 파도가 심하고 수심이 깊은 곳에서의 중간육성은 시설운영비 등이 내만 양식장에 비해 2~3배 이상 더 소요되기 때문에 외해양장에서 중간육성의 경제성 확보를 위해서는 채통내의 적정 수용밀도와 성장, 양성수심, 양성기간 등의 최적화를 유지하는 일이 매우 중요하다.

참가리비의 중간육성과 관련된 연구로는 국내에서는 경북 영일만을 중심으로 수하양식과 성장(李와 張, 1977; Yoo et al., 1981), 소화맹낭의 계절변화, 혈구의 형태학적 동정(張, 1991, 1993) 등이 있고, 강원연안에서는 생식주기(張 等, 1997)와 성장(박, 1998)에 관한 연구가 있다. 국외에서는 기초 생리생태 (Bourne et al., 1989; Shumway, 1991)와 성장 등에 관한 연구로 Yamamoto (1964a, 1978b), Ishihara (1966), Belogradov (1974), Imai (1977), Silina (1978), Ventilla (1982), Tomita et al. (1982), Maru (1985a), Ito et al. (1988), Wildish et al. (1988) 등 여러 연구가 있다. 한편, 중간육성 중 수용밀도와 온도, 먹이 등이 성장과 생존에 영향을 미친다는 보고는 여러 종류의 가리비 시험에서도 밝혀지고 있는데, 이들 연구로는 해만가리비(bay scallop, *Argopecten irradians irradians*)의 밀도별 성장(Rhodes and Widman, 1980, 1984), giant scallop, (*Placopecten magellanicus*)의 밀도별 성장과 생존시험(Parsons and Dadswell, 1992, 1994; Penney, 1995; Penney and McKenzie, 1996; Penney and Mills, 2000), 아일랜드 가리비(iceland scallop, *Chlamys islandica*)의 양성시험

(Wallace, 1982; Wallace and Reines, 1985) 등이 있다. 그러나 이들 연구는 주로 내만의 낮은 수심에서 2년 이내의 짧은 기간동안 이루어진 연구가 대부분이다. 최근 동해안의 참가리비 양식어장 환경은 해에 따라 변동이 매우 심해지고 있을 뿐만 아니라, 1997년 이후에는 양식어장의 환경변화와 국지적인 육상오염원 등의 영향으로 자연채묘 부진과, 성장 저하, 대량 폐사 현상이 점차 증가하고 있다. 따라서 가리비 양식의 생산성 향상과 안정화를 이루기 위해서는 서로 다른 장기간의 환경변동 조건이 성장과 생존에 미치는 영향정도를 파악하여야 하나, 이에 관한 연구는 국내외적으로 아직 없다.

우리나라 동해안은 수심이 깊고 파도가 심한 외해 수역의 단점이 있으나 북한한류가 통과하는 세계적인 청정해역으로 한해성인 참가리비의 증·양식장 개발에 비교적 좋은 여건을 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 동해안 참가리비 양식산업의 안정화와 지속적인 생산성 향상의 최적화를 위한 중간육성의 적정 서식환경 조건, 치패 이식시기 및 양성기간, 수용밀도, 성장, 양성수층, 중간육성시의 폐사, 기형패의 발생 등을 장기간에 걸쳐 파악하였다.

재료 및 방법

환경요인이 참가리비의 서식과 성장에 미치는 영향을 알기 위하여 1991년 1월부터 1998년 12월까지 주문진 연안 시험해역(Fig. 1)에서 수온, 염분, 투명도, chlorophyll-*a* 등을 조사하였다.

수온은 Van Dorn 채수기와 Nansen 채수기에 부착된 봉상 온도계 및 전도온도계(0.01℃)로 수층별(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 m 층)로 측정하였고, 일별 표층수온은 강릉수산종묘시험장의 연안 정지 관측자료를 이용하였다. 염분은 수층별(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 m 층)로 채수한 후 Inductively coupled salinometer (Watanabe 601 MK)로 측정하였고, 투명도는 Secchi disc 백색원판(직경 30 cm)으로 측정하였다.

Chlorophyll-*a*는 시료를 Van Dorn 및 Nansen 채수기로 1,000 ml씩 수층별로 채수하여 여과한 후 90% acetone 과 1%의 MgCO₃ 용액에 24시간 동안 4℃ 정도로 냉장 보관한 후에 원심분리기로 부유물을 제거한 다음 분광광도계(Milton Roy, Model Spectronic 20D)로 750 nm의 흡광도를 보정한 다음, 각 파장(664, 647, 630 nm)에서의 흡광

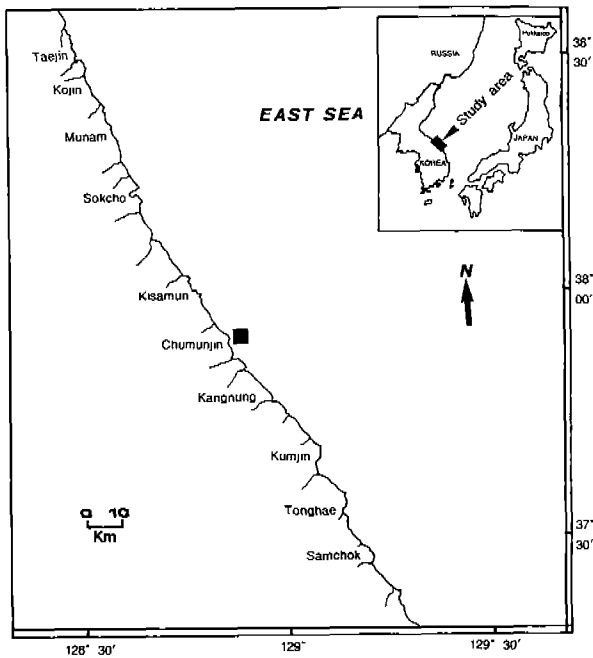


Fig. 1. The intermediate culture ground of scallop *P. yessoensis*.

도를 측정하였다 (Parsons et al., 1984).

치패의 중간육성 시험을 위한 시설물은 Fig. 2와 같이 동해안 외해 수역의 환경에 적합한 내파성 밧줄 수하식 양식 방법으로 수심 40 m 내외되는 곳에 설치하였다.

중간육성 시험을 위해 채묘기에서 분리한 치패는 시험 직전 치패 선별기로 비슷한 크기끼리 고른 다음, 1992년 10월 30일 중간육성채롱(square net cage 35×35 cm, 망목 5 mm)에 밀도별(10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 300개체), 수층별(10, 15, 20, 25, 30 m)로 이식한 후 1993년 4월 10일 본양성 이식 직전까지 매일 시험하였다. 이후에는 해에 따른 중간육성의 적정 성장 환경을 파악하

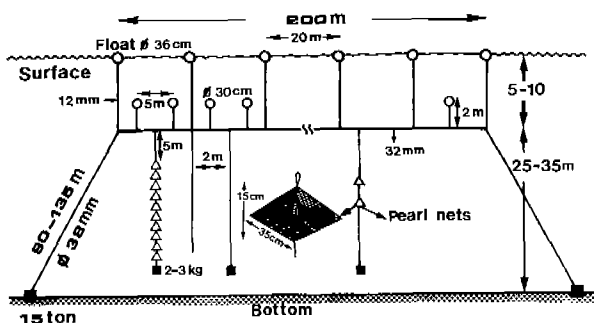


Fig. 2. Longline system for intermediate culture of scallop.

기 위하여 1993년부터 1998년까지 중간육성시기인 매년 10월부터 이듬해 4월까지 10 m 수층에서 수용밀도 30개체를 대상으로 시험하였다.

치패의 중간육성 시험 중 수층(10, 15, 20, 25, 30 m)에 따른 기형 및 폐사 개체수는 중간육성채롱당 100개체의 밀도로 실시하였으며, 수용밀도에 따른 기형 및 폐사 개체수는 표층으로부터 15 m의 수층에서 중간육성채롱당 10, 50, 100, 150, 200 및 300개체의 밀도로 실시하였다. 기형은 Fig. 11과 같이 패각의 가장자리 부식으로 V자 또는 U자 형의 굴곡이 생기거나 각정 부위가 직선으로 성장이 정지된 현상이 관찰된 개체를 대상으로 계수하였으며, 폐사는 연체부가 유실되어 없거나 외부자극에 대하여 반응을 보이지 않는 개체를 계수하였다. 수층 및 수용밀도에 따른 유의차는 기형 및 폐사 개체수의 평균을 분산분석과 Duncan's multiple range test에 의하여 검정하였다(Zar, 1984).

성장도 조사를 위한 시험 치패는 각장(shell length: SL), 각고(shell height: SH), 각폭(shell width: SW)은 vernier caliper로 0.01 cm까지, 전중량(total weight: TW)은 전자저울로 0.01 g까지 측정하였고, 이와는 별도로 해부용 시료에 대하여는 연체부 중량(meat weight: MW), 각중량(shell weight: SWe), 폐각근 중량(adductor muscle weight: AMW) 등을 성장도 조사와 같은 방법으로 조사하였다.

결 과

환경특성

1. 수온

시험해역인 강원도 강릉시 주문진 연안에서 1991년부터 1998년까지 조사한 수층별 수온은 Fig. 3과 같다.

수층별 수온은 5 m층 4.9~25.3℃, 10 m층 4.9~23.8℃, 15 m층 4.8~21.4℃, 20 m층 4.8~20.8℃ 및 30 m층 4.7~18.9℃로 10 m 상층에서 높은 수온을 나타내었다. 한편, 10 m층의 수온은 1993년(6.7~20.1℃)과 1995년(8.7~21.0℃), 1996년(6.2~21.1℃)에 낮았고, 1994년(6.4~22.9℃), 1997년(6.5~23.8℃), 1998년(8.4~22.8℃)에 높았다. 15 m 아래층의 수온은 1994년과 1998년을 제외하고는 연중 21℃ 이하였고, 표·저층 간의 수온 차가 큰 시기는 매년 4월부터 8월 사이였다. 특히 1994년 7월 중순에서 9월 상순까지 10 m 및 20 m층의 수온은 23℃ 이상이었고, 1997년은 10 m층이 3월에 7.2℃에서 4월에 12.1℃로 급격히 상승하였

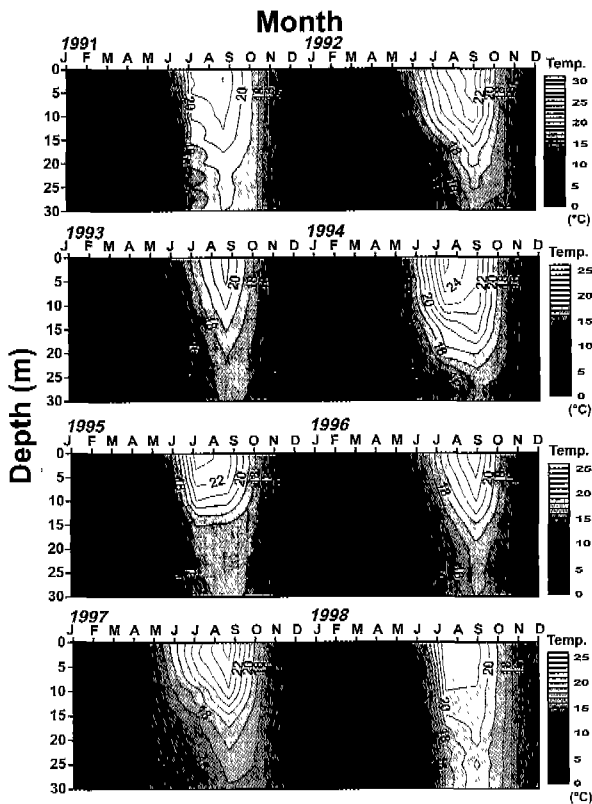


Fig. 3. Vertical distribution of water temperature at the scallop culture ground in Chumunjin.

으며, 8월은 일시적으로 23.8°C를 보였다.

한편, 중간육성시험 기간 중 10월에서 이듬해 4월까지 는 모든 해에 걸쳐 시험 수층인 10~30 m층에서는 4.7~20.3°C를 보였으며, 1~4월의 수온은 1991년 4.7~9.3°C, 1994년 5.1~7.8°C, 1996년 6.2~7.4°C로 낮았고, 1997년과 1998년은 각각 6.5~12.1°C, 8.4~12.6°C로 높았다. 그러나 해에 따른 수온변동은 10 m 수층의 경우 1월 7.3~10.6°C, 2월 6.5~9.6°C, 3월 6.2~9.8°C, 4월 6.8~12.6°C로 같은 달 의 연별 수온편차는 3.1~5.8°C로 변동폭이 매우 컸다.

2 염분

수층별 염분(Fig. 4)은 표층 31.54~34.48‰, 10 m층 32.34~34.38‰, 15 m층 32.38~34.41‰, 20 m층 32.36~34.40‰, 30 m층 32.68~34.43‰로 2월부터 4월까지 높고 8월과 9월에 낮았다. 수층별 분포는 표층은 1993년 4월을 제외하고는 7~9월에 모두 저염분을 나타냈고, 특히, 1991년 8월은 표층에서 수심 5 m 층까지 31.5~31.6‰의 저염 분을 나타내었다. 그러나 10 m 이하의 참가리비 양생 수 층은 연중 32.34~34.43‰로 서식에 적합한 염분을 보였으며, 중간육성 시험기간 중인 10월부터 이듬해 4월까지

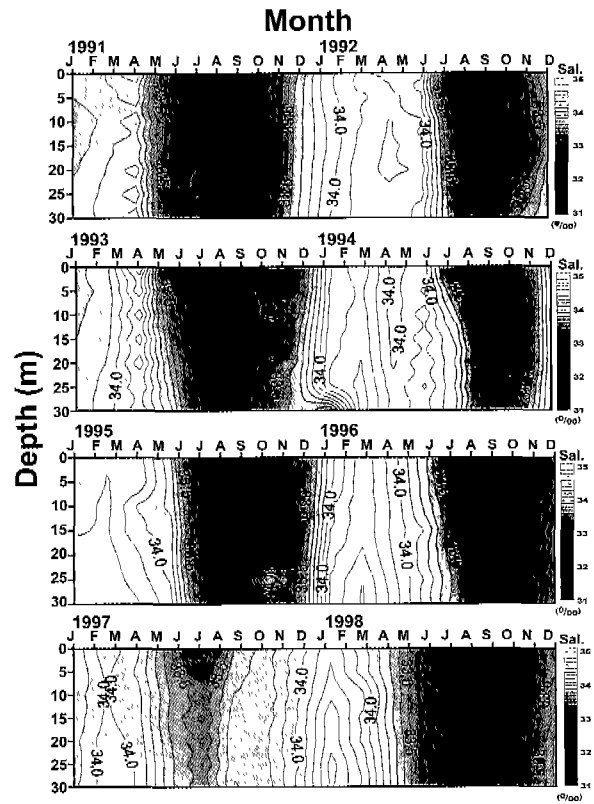


Fig. 4. Vertical distribution of salinity at the scallop culture ground in Chumunjin.

전 조사기간 동안 32.60~34.43‰로 치패의 중간육성에 적 합한 염분을 보였다.

3 투명도

투명도 분포(Fig. 5)는 6.0~18.1 m로 연별 분포는 1991년 7.5~18.1 m, 1992년 6.7~15.6 m, 1993년 7.1~13.0 m,

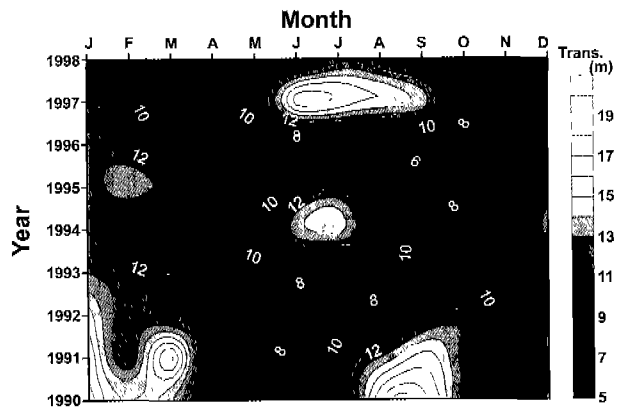


Fig. 5. Distribution of transparency (m) at the scallop culture ground in Chumunjin.

1994년 8.7~14.5 m, 1995년 6.4~13.8 m, 1996년 6.0~12.4 m, 1997년 6.3~16.0 m, 1998년 6.2~12.8 m였다. 투명도 분포는 1993년, 1996년, 1998년에 낮았고, 1994년, 1997년에 매우 높게 나타났으며, 특히 식물플랑크톤에 의해 투명도가 낮은 시기에 상대적으로 성장이 빠르게 나타났다.

4. chlorophyll-a의 농도

주문진 연안에서 수층별 chlorophyll-a의 분포는 Fig. 6과 같다. chlorophyll-a의 농도는 1992년은 0.09~2.82 $\mu\text{g/L}$, 1993년은 0.11~3.14 $\mu\text{g/L}$ 로서 2월부터 증가하기 시작하여 3~4월에는 표층부터 30 m까지 전 층에서 1.51~3.14 $\mu\text{g/L}$ 로 높은 농도를 보였고, 특히, 10~15 m층에서 높았다. 7~9월에는 표층인 0~10 m 층에서 0.09~0.58 $\mu\text{g/L}$ 로 크게 낮아졌다가 10~11월에는 0~15 m 층에서 0.68~1.76 $\mu\text{g/L}$ 로 다시 증가하여 시기별, 수층별로 분포농도 차가 컸다.

한편, 1992년부터 1998년까지 주문진 연안에서 중간육성 시험 수층인 10 m 층을 대상으로 조사한 연별, 월별 chlorophyll-a의 농도는 Fig. 7과 같다. chlorophyll-a의 분포는 전 조사기간 중 0.04~3.51 $\mu\text{g/L}$ 로 3~4월에 0.74~3.51 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높았고, 7~9월에 0.04~0.63 $\mu\text{g/L}$ 로 가

장 낮았다.

중간육성 시험기간 중인 10월부터 이듬해 4월까지의 분포량은 1992년~1993년과 1995년~1996년에 각각 0.62~3.14 $\mu\text{g/L}$, 0.86~3.51 $\mu\text{g/L}$ 로 조사기간 중 가장 높았고, 1997년~1998년의 경우에는 0.41~1.94 $\mu\text{g/L}$ 로, 가장 낮았다. chlorophyll-a의 농도는 참가리비의 성장이 빠른 해에는 2월부터 증가하기 시작하여 3~4월에 가장 높았고, 6월까지도 높게 나타났으며, 7~9월에 최저치를 보이다가 10월 이후 다시 증가하는 경향이였다. 그러나, 고수온 시기에는 5월부터 10월까지 지속적으로 낮았다.

중간육성

1. 수층별, 수용밀도별 성장

중간육성 시험기간 중 치패의 수층별, 수용밀도별 성장은 Table 1과 같다.

수심에 따른 치패의 성장은 수용밀도 30개체에서는 이식시 평균각고 1.77 \pm 0.19 cm로부터 10 m 층에서 5.68 \pm 0.29 cm, 15 m층 5.54 \pm 0.34 cm, 20 m층 5.38 \pm 0.38 cm로 20 m 층까지 성장이 빠른 반면, 25 m층 5.03 \pm 0.31 cm, 30 m층 4.99 \pm 0.41 cm로 25 m층 이하에서는 성장이 느렸다. 수용밀도 50개체에서는 이식시 평균각고 1.71 \pm 0.18 cm로부터 20 m 층에서 5.21 \pm 0.29 cm로 성장이 빨랐고, 30 m 층에서는 4.96 \pm 0.36 cm로 느렸다. 수용밀도 80개체에서는 이식시 평균각고 1.71 \pm 0.17 cm로부터 15 m 층에서 4.91 \pm 0.21 cm, 10 m 층은 4.81 \pm 0.40 cm로 15 m층과 10 m 층에서 성장이 빨랐고, 20~30 m 층에서는 성장이 느렸다. 수용밀도 200개체에서는 이식시 평균각고 1.76 \pm 0.21 cm로부터 15 m 층에서 4.33 \pm 0.38 cm, 30 m 층은 3.98 \pm 0.41 cm로 성장이 크게 저하되었다. 수용밀도 300개체에서는 표·저층에 관계없이 전 개체가 각고 4 cm 미만으로 성장이 느렸고, 특히, 30 m 층에서는 3.21 \pm 0.36 cm로 최저성장을 보였다.

중간육성 시험결과 치패의 성장은 10~15 m 수층에서 빠르게 나타났고, 25 m 이하층에서 느렸으며, 수용밀도별 성장은 고 밀도구보다 저 밀도구에서 더 빠르게 나타났다.

따라서 중간육성 시험 시작시의 평균각고 1.7 cm 내외의 치패를 10월 하순에 수용하여 이듬해 4월까지 분 양성용 증묘로 사용 가능한 크기인 각고 5 cm 이상의 증패로 성장시킬 수 있는 시험구는 중간육성채롱(square net cage 35 \times 35 cm)당 수용밀도 30개체에서는 3월 하순 이

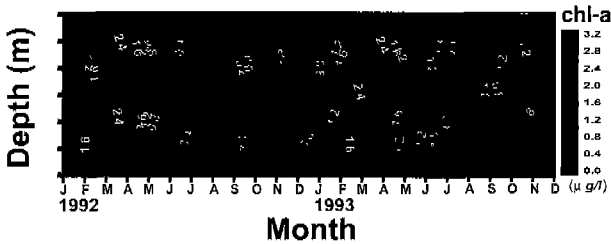


Fig. 6. Vertical distribution of chlorophyll-a (m) at the scallop culture ground in Chumunjin.

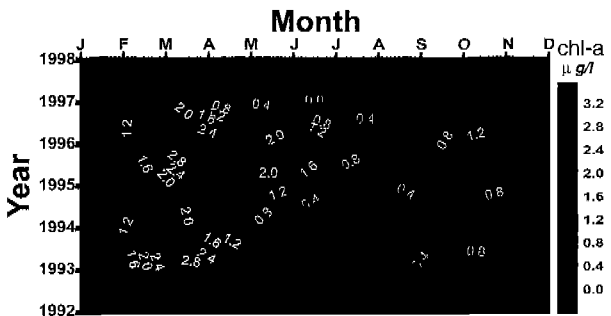


Fig. 7. Distribution of chlorophyll-a (m) at the scallop culture ground in Chumunjin.

Table 1. Growth (final shell height, cm) of scallop *P. yessoensis* during the intermediate culture at different stocking densities and water depths (October 30, 1992~April 10, 1993)

Density (ind./net)	Initial shell height (cm)	Water depth (m)				
		10	15	20	25	30
10	1.76±0.16	5.73±0.26	5.77±0.27	5.64±0.32	5.69±0.29	5.61±0.19
20	1.73±0.13	5.61±0.24	5.48±0.21	5.43±0.29	5.46±0.26	5.16±0.27
30	1.77±0.19	5.68±0.29	5.54±0.34	5.38±0.38	5.03±0.31	4.99±0.41
40	1.62±0.16	5.33±0.34	5.38±0.22	5.26±0.40	5.17±0.32	5.08±0.31
50	1.71±0.18	5.04±0.24	5.16±0.27	5.21±0.29	5.02±0.43	4.96±0.36
60	1.69±0.19	4.97±0.29	5.13±0.28	5.06±0.33	4.96±0.31	4.94±0.38
80	1.71±0.17	4.81±0.40	4.91±0.21	4.72±0.34	4.70±0.33	4.74±0.33
100	1.78±0.20	4.64±0.33	4.82±0.41	4.76±0.45	4.56±0.39	4.76±0.34
150	1.83±0.15	4.28±0.36	4.41±0.31	4.42±0.36	4.21±0.41	4.14±0.46
200	1.76±0.21	4.16±0.33	4.33±0.38	4.11±0.42	4.01±0.46	3.98±0.41
300	1.68±0.18	3.51±0.41	3.68±0.37	3.31±0.38	3.59±0.43	3.21±0.36

후, 수용밀도 50개체에서는 30 m 층의 일부를 제외하고는 거의 전 수층에서 4월 상순까지 가능하였으나 수용밀도 80개체 이상에서는 모든 시험 수층과 수용밀도에서 평균 각고 5 cm에 미달하였다.

수용밀도 200개체에서는 평균 각고 3.98~4.33 cm, 수용밀도 300개체에서는 3.21~3.68 cm로 수용밀도가 증가할수록 성장이 크게 낮았다. 따라서 이듬해 4월까지 중간 육성에 의한 각고 5 cm 이상의 본 양성용 종묘 크기로 성장이 가능한 적정 수용밀도는 채롱 1칸 당 50개체 이내였고, 수용밀도 80개체 이상에서는 본 양성용 종패 크기 (각고 5 cm)에 이르지 못하였으며, 수용밀도 300개체에서는 각고 3.5 cm 내외로 바닥 씨뿌림 양식 종묘크기 (각고 4 cm)에도 미달하였다

2 일간 성장

중간육성 시험기간 중 치패의 성장이 빠른 10 m 수층, 수용밀도 30개체에서 치패의 연별, 월별 일간성장은 Table 2와 같다.

중간육성 시험기간 중 11월부터 이듬해 4월까지의 연별 총 각고 성장량은 1992~1993년 사이가 36.3 mm로 가장 높았고, 다음으로 1995~1996년 (33.3 mm)이 높게 나타났다. 그러나 1997~1998년은 28.9 mm, 1994~1995년은 29.0 mm로 성장량이 가장 낮았다.

10 m 수층의 수용밀도 30개체에서 월별 일간 평균 각고 성장량은 0.128~0.381 mm/day로 1995년 1월에 가장 낮았고, 1993년 4월에 최대 성장을 나타내었다. 전 조사기간 중 월 평균 일간 성장량은 10월에 0.170 mm/day, 11월 0.195 mm/day, 12월 0.194 mm/day, 1월 0.153 mm/day, 2월 0.160 mm/day, 3월 0.244 mm/day, 4월 0.262 mm/day였다. 중간육성 기간 중 성장이 빠른 월은 3월과 4월로 2월 하순 이후부터 빠르게 성장하기 시작하여 4월 상순까지 매우 빠른 성장을 보였으며, 성장이 늦은 월은 1월과 2월이었다.

한편, 중간육성시험 전 기간 중 수용밀도별 평균 성장 속도는 수용밀도 50개체에서 0.205 mm/day, 100개체에서

Table 2. Daily growth (shell height, mm) of the scallop during the intermediate culture at the density of 30 individuals per cage at 10 m depth

Year	Total growth (mm)	Month						
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1992-1993	36.3	-	0.267	0.244	0.160	0.145	0.254	0.381
1993-1994	30.6	0.188	0.185	0.179	0.156	0.151	0.251	0.265
1994-1995	29.0	0.165	0.160	0.183	0.128	0.166	0.256	0.202
1995-1996	33.3	0.161	0.194	0.186	0.155	0.206	0.261	0.304
1996-1997	30.0	0.190	0.197	0.195	0.156	0.146	0.231	0.192
1997-1998	28.9	0.146	0.168	0.182	0.166	0.150	0.214	0.229

0.176 mm/day, 200개체에서 0.150 mm/day, 300개체에서 0.113 mm/day (최저 0.019 mm/day)로 수용밀도 100개체까지는 빠른 성장을 보였다. 그러나 200개체 이상의 밀도에서는 이식초기인 11월까지의 성장이 빨랐으나 11월 이후부터 성장이 크게 낮아졌고, 이듬해 4월까지도 월별 성장량이 크게 증가하지 않았다.

3. 수온과 chlorophyll-a의 변화에 따른 성장

중간육성 시험기간 중 11월부터 이듬해 4월 본 양성 직전까지 10 m 수층, 수용밀도 30개체를 대상으로 수온과 chlorophyll-a 변화에 의한 각고성장은 Fig. 8과 같다.

시험기간 중 최대성장을 보인 1992~1993년의 경우 수온 하강기인 1992년 11~12월의 각고 성장량은 0.244~0.267 mm/day로 이때 수온은 11.6~15.6°C, chlorophyll-a는 0.62~0.73 µg/L였고, 수온 상승기인 1993년 3~4월은 각고성장 0.254~0.381 mm/day, 수온 8.0~9.3°C인 반면, chlorophyll-a는 2.71~3.14 µg/L로 높았다. 다음으로 높은 성장을 보인 1995~1996년의 경우도 수온 하강기인 1995년 11월~12월의 각고 성장량은 0.185~0.194 mm/day로 이때 수온은 11.9~15.2°C, chlorophyll-a는 1.02~1.11

µg/L였고, 수온 상승기인 1996년 3~4월은 각고 성장 0.261~0.304 mm/day, 수온 6.2~6.8°C로 조사기간 중 최저 수온을 보인 반면, chlorophyll-a는 2.04~3.51 µg/L로 높았다.

한편, 성장이 가장 낮은 해인 1997~1998년의 경우에는 수온 하강기인 1997년 11월~12월의 각고 성장량이 0.168~0.182 mm/day로 이때 수온은 10.3~14.8°C, chlorophyll-a는 0.66~0.81 µg/L로 낮은 농도였고, 수온 상승기인 1998년 3~4월은 각고성장 0.214~0.229 mm/day, 수온 9.8~12.6°C, chlorophyll-a는 1.76~1.94 µg/L였지만 1월과 2월은 0.42~0.61 µg/L로 매우 낮은 농도였다. 다음으로 성장이 낮은 해인 1994~1995년의 경우 수온 하강기인 1994년 11월~12월의 각고 성장량은 0.160~0.183 mm/day로 이때 수온은 11.9~16.0°C인 반면, chlorophyll-a는 0.58~0.61 µg/L로 매우 낮은 농도였다. 수온상승기인 1995년 3~4월은 각고성장 0.202~0.256 mm/day, 수온 8.7~9.7°C, chlorophyll-a는 1.93~2.69 µg/L였지만 1월과 2월은 0.58~0.59 µg/L로 매우 낮았다.

따라서 중간 육성기간 중 치패의 성장이 빠른 해는 2~3월의 수온이 6~8°C로 매우 낮게 하강하였다가 상승하는 시기로 chlorophyll-a의 농도가 2~3 µg/L 이상으로 높은 시기였다. 반대로 성장이 늦은 해는 2~3월의 수온이 9~10°C로 지속적으로 높은 수온을 보이면서 chlorophyll-a의 농도가 1 µg/L 이하로 낮은 시기였다.

4. 상대성장

중간육성 시험기간 중 각 부위별 상대성장은 Fig. 9와 같다. 각고(SH)에 대한 각장(SL)의 성장은 $SL=1.0522SH-0.2086$ ($R^2=0.9941$)로 각고와 각장이 거의 같은 비율로 성장하였으며, 각고에 대한 각폭(SW)의 성장은 $SW=0.2790SH-0.1192$ ($R^2=0.9619$)로 매우 느렸다. 각고에 대한 전중량(TW)의 관계식은 $TW=0.0865e^{3.1270SH}$ ($R^2=0.9767$)으로 각고 4 cm 이후부터 전중량이 빠르게 증가하였으며, 각고에 대한 각중량(SWe)은 $SWe=0.0538e^{3.0844SH}$ ($R^2=0.9628$)로 전중량 증가와 비슷한 경향이였다. 한편, 각고에 대한 육중량(MW)은 $MW=0.0314e^{3.2685SH}$ ($R^2=0.9594$)로 각고 4 cm 이후부터 육중량의 증가가 빨랐고, 각고에 대한 폐각근(AMW)은 $AMW=0.0092e^{3.4058SH}$ ($R^2=0.8587$)로 나타났다.

5. 치패의 기형발생 및 폐사

중간육성 기간 중 참가리비 치패의 수층별 기형 및 폐사 개체수는 Fig. 10과 같다. 기형패의 발생량은 일정한 경향이 인정되지 않았으나, 10 m와 30 m 층은 다른 수층

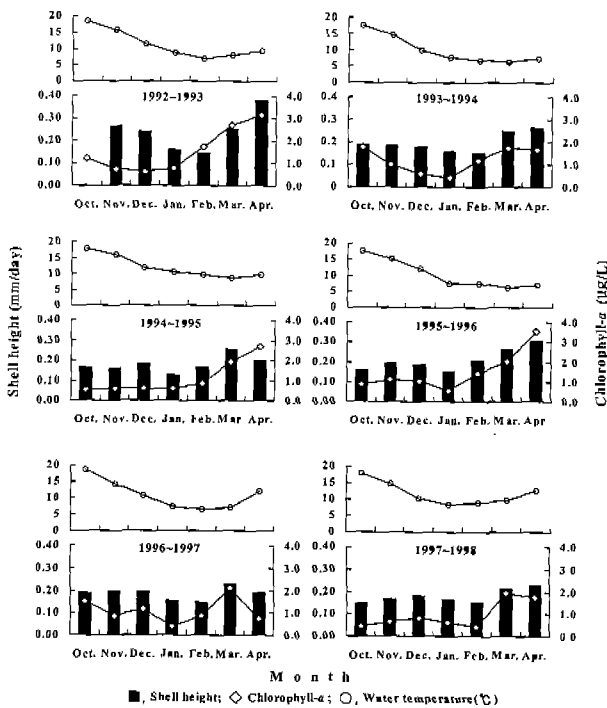


Fig. 8. Monthly variation of water temperature, chlorophyll-a and shell height of the scallop in Chumunjin during the intermediate culture from October 1992 to April 1998 (10 m depth).

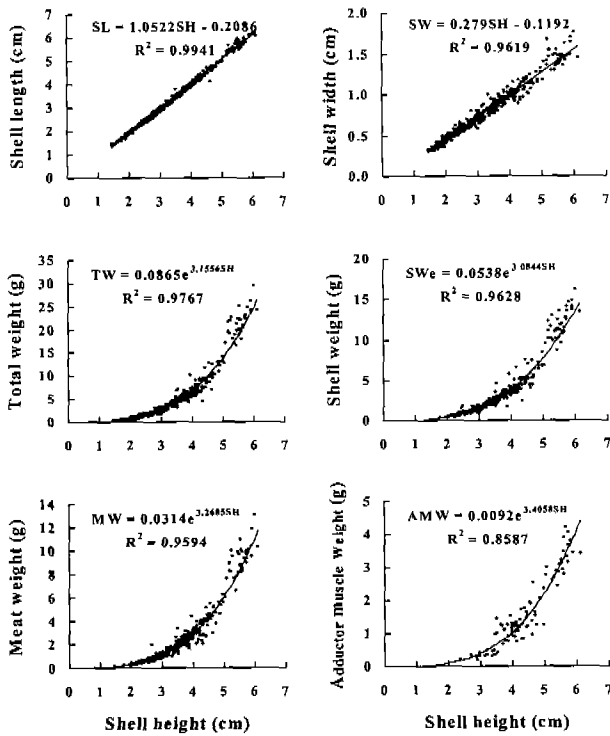


Fig. 9. Relationship between growth parameters during the intermediate culture of the scallop.

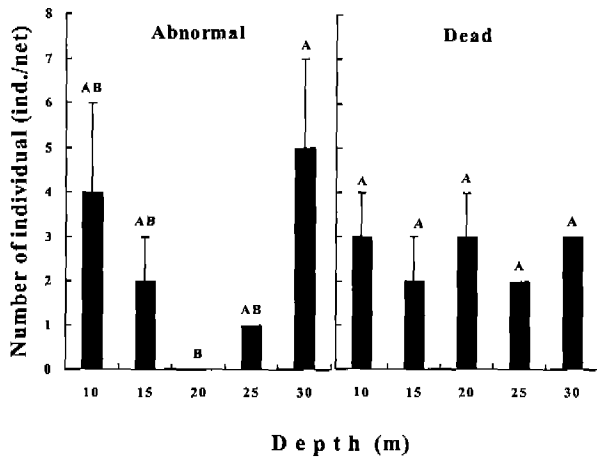


Fig. 10. Number of abnormal and dead shells during the intermediate culture of the scallop at different water depths (stocking density=100 ind./net).

보다 높게 나타났고, 20 m 층에서 유의하게 낮게 나타났다($P < 0.05$). 폐사 개체수는 대부분의 기형패가 각고 5 cm 전후에서 폐사하였으나 수층에 따른 폐사 개체수는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).

참가리비 치패의 밀도별 기형 및 폐사 개체수는 Fig. 12

와 같다. 10개체와 50개체 수용밀도에서는 기형패가 나타나지 않았으며, 100개체와 150개체 수용밀도에서는 1~7개체의 기형패가 나타났으나 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). 그러나 200개체 및 300개체의 수용밀도에서는 10개체 및 50개체와는 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 폐사 개체수도 수용밀도가 높을수록 증가하였으며, 10, 50, 100 및 150개체 수용밀도에서는 6개체 이하로서 유의한 차이를 보이지 않았으나($P > 0.05$), 200개체와 300개체구에서는 수용밀도가 낮은 채롱에 비해 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).



Fig. 11. Photographs of abnormal shells during the intermediate culture of the scallop.

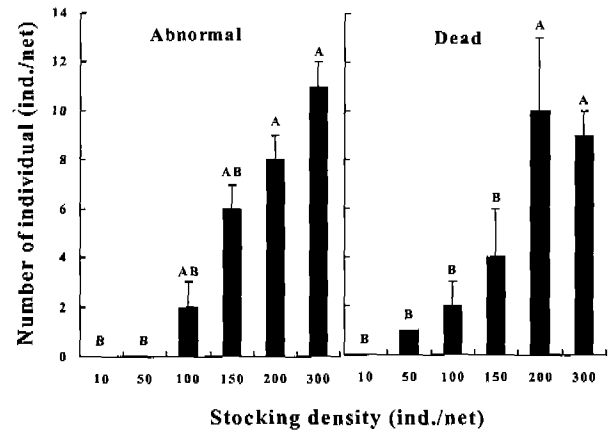


Fig. 12. Number of abnormal and dead shells during the intermediate culture of the scallop at different stocking densities (water depths=15 m).

고찰

참가리비의 중간육성에서 적정 수용밀도와 성장 및 생

존을 등은 해에 따라 변동이 심한 외해 수역의 어장환경 조건에서 양식의 경제성과 생산성을 확보하는데 매우 중요한 요소이다.

어장환경 요인 중 특히, 수온은 한해성인 참가리비의 성장에 영향을 크게 미치는 하나의 요인으로, 수온 23℃ 이상에서는 가리비의 섬모운동에 지장을 주고, 한해성이라도 5℃ 이하의 기간이 오랫동안 지속될 때에는 생존에도 영향을 미친다(Yamamoto, 1964). 시험해역에서 중간육성 주 수심층인 10~15 m 수층의 연중 수온은 4.8~23.8℃로 한해성인 참가리비의 서식에 적합한 5~23℃(Yamamoto, 1964) 내외였다. 중간육성 시험기간인 10월부터 이듬해 4월까지의 수온은 시험 수층인 10~30 m 층에서 4.7~20.3℃로 비교적 서식에 적합한 수온이 유지되었고, 성장이 빠른 해는 2~3월의 수온이 6~8℃로 매우 낮아졌다가 9~14℃ 내외로 점차 상승하는 시기였으며, 주 시험 수층인 10 m 층은 같은 달의 연별 수온편차가 3.1~5.8℃로 해에 따라 변동폭이 매우 컸다. 특히, 육상 오염원의 영향을 받지 않은 곳에서 적정수온이 유지되더라도 급격한 온도충격이 지속적으로 일어날 경우, 생리기능 저하에 의한 성장 부진 또는 생존에 일부 영향을 미칠 수 있는 것으로 추정되기 때문에 중간육성 기간 중 수온 변동이 큰 시기에는 20 m 이하의 안정된 수층으로 채종을 내려 관리하거나 적정 수용밀도 이내로 육성하는 것이 폐사를 줄이는 데 바람직할 것으로 여겨진다.

염분의 내성에 대하여 Yamamoto (1957)는 각장 10~13 mm인 치패 시기에 염분농도가 23.5‰ 이하로 낮아질 때 아가미의 섬모 운동이 중지된다 하였고, Nishioka et al. (1949)은 발생에 적합한 염분을 수온 10~15℃에서 30~40‰, 수온 12℃에서는 37‰가 최적이라 하였다. Maru (1985b)는 중간육성크기인 1년생의 개체는 염분농도 22.5‰ 이하에서 폐사가 일어나고, 섬모운동은 32.4~33.7‰에서 최적이라 하였다. 이 연구에서 시험해역의 염분분포는 31.5~34.5‰로 10 m 아래층은 중간육성에 적합한 염분 범위였다. 그러나 10 m 상층은 31‰ 이하의 저 염분에 노출될 가능성이 있는데, 염분의 큰 변동은 성장을 저해하는 원인이 됨 (Andersen and Nass, 1993)은 물론, 스트레스에 의한 생리기능 저하로 폐사에 이를 수도 있기 때문에 조기 중간 육성시 여름철의 양성 수층은 염분이 안정되어 있는 15 m 아래층으로 채종을 내려 관리하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

시험해역에서 투명도 분포는 6.0~18.1 m 범위로 대량

의 강우 또는 파도나 조류 유동, 육상 오염원 유입의 특수 환경을 제외하고는 무기성 부유현탁물질보다는 식물플랑크톤의 출현량에 의해서도 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 중간육성 시험기간 중 투명도는 4월과 10월, 11월에 낮았고, 1~2월에 높게 나타났는데, 투명도가 낮은 시기에는 chlorophyll-*a*의 농도가 증가하고 성장이 빠르게 나타나는 것으로 보아, 동해안에서의 투명도 값은 간접적으로 먹이생물인 식물플랑크톤의 분포를 추정하는 지표로 활용될 수 있을 것으로 여겨진다.

식물플랑크톤의 분포량과 먹이 질은 성장과 중량증가에 영향을 미치는데(Wallace and Reinsnes, 1984), 시험해역의 10 m 수층에서 연별 chlorophyll-*a* 분포농도는 0.04~3.51 $\mu\text{g}/\text{L}$ 로 부영양화 기준치인 연평균 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ (Yoshida, 1973; EPA, 1976)에 크게 미달하는 전형적인 빈영양 해역의 특성을 보이고 있다. 이는 마산, 진해만(조 등, 1998)의 1.4~55.3 $\mu\text{g}/\text{L}$ 에 비해서도 크게 낮고, 일본 오호츠크해의 「아바시리」, 「사로마」 연안의 참가리비 양식장에서 4~11월까지 조사한 0.8~4.6 $\mu\text{g}/\text{L}$ (藏田 등, 1989)에 비해서도 낮은 값이다. 시기적으로 chlorophyll-*a* 농도는 2월부터 증가하기 시작하여 3~4월에 최고 값에 이른 후 해에 따라서는 6월까지도 높았고, 7~9월 사이에 최저 값을 보이다가 10월 이후 다시 증가하는 경향이였다. 중간육성 기간 중 치패의 성장이 빠른 해는 2~4월로 chlorophyll-*a*의 농도가 2~3 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상으로 높은 시기였고, 반대로 성장이 늦은 해는 chlorophyll-*a*의 농도가 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이하로 낮은 시기인 것으로 보아 먹이생물량의 변동이 참가리비의 성장에 영향을 미치는 것으로 보인다.

중간육성의 적정 수용밀도와 육성 수층은 성장과 생존에 영향을 미칠 수 있을 뿐만 아니라, 본 양성 이식 후의 성장과 생존율에도 영향을 미친다(박, 1998). 특히, 성장과 수용밀도는 반비례 관계(Imai, 1977; Ventilla, 1982)로, giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Dadswell and Parsons, 1991; Penny and Mills, 2000)에서도 중간육성 수용밀도가 성장은 물론 상품크기와 출하시기 및 생존에도 관여하고 있다. 많은 조개류에서 성장률의 변화는 온도와 영양 조건에 관계(Rodhouse et al., 1981; MacDonald and Thompson, 1985; Wilson, 1987)가 있는데, Kirby-Smith and Barber (1974)는 가리비의 성장은 명확히 수온과 관련이 있으며, Rhodes and Widman (1980)은 성장은 온도에 통제될 뿐 플랑크톤에 의존하지 않는다 했다. 그러나 Broom and Mason (1978)은 수온과 플랑크톤

이 비단가리비류(*Chlamys opercularis*)의 계절성장에 동시에 영향을 미친다 하였고, 西浜(1991)은 여름철 고수온은 참가리비의 성장에 악영향을 미칠 뿐만 아니라, 고밀도 수용에 의한 성장률 감소는 한정된 먹이생물의 경쟁과 상호간의 스트레스에 기인한다고 했다. 본 연구에서도 중간육성 중 성장과 생존은 수온과 수용밀도, 계절 및 해에 따른 먹이생물 등이 관여하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 육상 오염원 등 인위적인 영향에 의한 폐죽음을 제외한다면 생존에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인중의 하나는 수용밀도보다는 과도하고 부적당한 기계장치(선별기 등)의 사용에서도 일부 영향을 받을 수도 있고(Parsons and Dadswell, 1992; Ventilla, 1982; Wildish et. al. 1988), 생존은 수용밀도에 관계없이 외부환경의 지속적인 충격에 의해서도 영향을 받는 것으로 추정된다.

중간육성 기간 중 수용밀도에 따른 10 m 수층의 일간 평균 각고 성장량은 수용밀도 10개체에서 0.247 mm/day 였는데, 이는 같은 밀도로 일본의 「사로마」호에서 1987년 9월부터 1988년 4월까지 시험한 일간 평균 성장량 0.122 mm/day (藏田 등, 1989)에 비해 월등히 빨랐다. 수용밀도 50개체에서도 일간 성장량은 0.205 mm/day로 빠르게 나타났다. 100개체에서는 0.178 mm/day, 200개체에서는 0.151 mm/day로 크게 낮아졌다. 이러한 성장차이는 강원 연안의 시험해역이 북위 38° 부근으로 남쪽에 위치한 반면, 「사로마」호는 북위 44° 의 북쪽에 위치 (장 등, 1997) 하여 한해성이라도 5°C 이하의 저수온에서는 성장이 늦어짐을 알 수 있다. 또한 캐나다의 Passamaquoddy Bay에서 giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Parsons and Dadswell, 1992)의 중간육성기간 중 성장치인 0.05~0.14 mm/day (채롱당 15~90개체 수용)에 비해서도 우리나라 동해안 참가리비의 성장이 매우 빠름을 알 수 있다.

중간육성 기간 중 치패의 성장은 1~2월에 낮았고, 3~4월에 높게 나타났으며, 수층별 성장은 10~15 m 수층에서 높았고, 25 m 이하 층에서 낮았다. 따라서 중간육성의 적정 수층은 표층에 비해 수온이 낮고, 먹이생물 양이 비교적 많은 10~15 m 수층이 좋은 것으로 판단된다. 그러나 중간육성 기간 중 18°C 이상의 고수온이 유지될 경우에는 성장이 다소 억제되더라도 표층보다 낮은 수온을 보이는 20~25 m 이하 수층으로 내려 관리하는 것이 폐사를 줄일 수 있으며, 수온 하강시에는 성장 촉진을 위해 다시 10~15 m 수층으로 수하연을 올려주는 것이 바람직할 것으로 여겨진다.

중간육성 이후 본 양성용으로 사용 가능한 종패의 크기는 강원연안의 경우, 채롱식 양성은 각고 5~6 cm, 귀매달이 양성은 6~7 cm 내외, 바닥 씨뿌림 양식용은 3~5 cm 내외의 크기가 적합한 것으로 판단된다(박, 1998). 따라서 본 시험기간동안 적정 중간육성 수용밀도는 10~50 개체까지는 평균각고 5 cm 이상으로 성장하여 본 양성용 종패로 사용이 가능하였는데, 2차 분산(9월~11월)시 폐사를 최소화시키면서 본 양성 가능한 우량 종패를 생산하기 위한 경제적인 수용밀도는 각고 2 cm 내외 크기에서 30~40개체 전후, 바닥 씨뿌림 양식용은 씨뿌림 이후의 생존율과 중간육성의 경제성을 감안할 때 80~100개체 전후가 적정한 것으로 여겨진다. 그러나 수용밀도 200개체 이상에서는 양식환경 악화시 성장 저하 및 폐사와 기형패 발생량이 증가하기 때문에 중간육성 수용밀도는 바닥 씨뿌림 양식의 경우라도 수용밀도 150개체를 초과하지 않은 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 80개체 이상의 고밀도로 이듬해 6월 이후까지 중간육성 채롱에서 관리할 경우 수온상승과 먹이경쟁 등 채롱 내의 환경악화로 폐사가 발생할 가능성이 있기 때문에 6월 이전까지는 본 양성 이식을 완료하거나 중간육성을 종료하는 것이 바람직하다.

한편, 중간육성 이식 적정시기는 채묘기 안에서 각고 0.5~1.0 cm 내외크기의 개체가 50% 이상에 도달하는 7월 중순부터 8월 중순 사이에 1차 분산하고, 9월 중순부터 11월 초순 사이에 각고 1.5~3 cm 내외로 성장한 것을 저밀도로 2차 분산하여 본 양성 이전까지 육성시키는 것이 효과적일 것으로 판단된다(Table 3). 특히, 11월중 각고 3 cm 내외로 성장한 치패를 본 양성 채롱에 10~12개체의 밀도로 수용할 경우, 채묘로부터 16개월이 경과한 이듬해 10월까지 각고 9~10 cm, 전충량 100~120 g으로 성장시킬 수 있어 조기출하가 가능할 것으로 여겨진다. 따라서 중간육성시에는 반드시 본 양성용과 바닥 씨뿌림 양식용으로 수용밀도를 구분하여 실시하는 것이 바람직하겠다.

요 약

동해안의 주문진 연안에서 1991년 1월부터 1998년 12월까지 한해성 패류인 참가리비, *P. yessoensis*의 지속적인 생산을 위한 중간육성의 서식환경, 성장, 적정 수용밀도, 육성 적수층, 이식시기, 폐사 및 기형패 발생 등에 관한 연구가 수행되었다.

북한한류의 영향을 받는 연구해역에서 참가리비의 주

Table 3. Optimal conditions for intermediate culture of scallop, *P. yessoensis* at Kangwon province

Date	Operation	Stocking method	No. of shells per net or rope	Size of scallop (cm)	Weight (g)	Net mesh size(mm)
mid Jul. ~mid Aug. (1st sorting)	beginning of intermediate culture	square net cage (35×35cm)	200~300	0.5~1.0	-	2~5
mid Sep. ~early Nov. (2nd sorting)	intermediate culture	"	30~40 (80~100 ^{**})	1.5~3.0	0.5~3.4	5~10
Mar.~May (3rd sorting)	hanging and sowing culture	lantern net	10~13	5~6	18~30	20
		sowing culture	15~20 shells/m ²	3~5	3.4~17.9	-
		multi ear -suspended	450~600	6~7	30~45	-

^{**}For sowing culture

서식층인 10~30 m 층의 수온은 4.7~23.8℃로 고수온을 보인 1994년과 1997년을 제외하고는 참가리비의 생육에 적합한 5~23℃ 범위였다. 그러나 고수온과 함께 일교차가 크고 불규칙한 변동이 지속되는 시기에 나타나는 성장 저하 및 폐사 현상은 수온과 일부 관련이 있는 것으로 보인다. 염분은 31.5~34.5‰로 생육에 비교적 적합하였고, 투명도는 6.0~18.1 m로 일반적으로 식물플랑크톤의 출현량에 따라 변화하였다. Chlorophyll-*a*의 농도는 0.04~3.51 µg/L로 빈영양 해역의 특성을 보이고 있으며, 해에 따른 변동이 크고, 특히, 여름철에 현저히 감소하는 시기에 참가리비의 폐사가 일부 나타나는 것으로 보아 수온과 함께 참가리비의 성장을 지배하는 하나의 제한인자임을 시사한다.

치패의 중간육성 이식 가능시기는 7월 중순부터 11월 초순사이로 7~8월(1차)에 고밀도로 이식한 후 9월 중순~11월 초순(2차)에 저밀도로 분산하는 것이 성장과 생존율을 향상시킬 수 있는 것으로 여겨진다. 중간육성채롱(square net cage 35×35 cm)에 의한 치패의 적정 수용밀도는 각고 1.5~3 cm 내외 크기에서 본 양성용은 30~40 개체, 바닥 씨뿌림 양성용은 80~100개체가 적합하였다. 중간육성 기간 중 수층별 성장은 10~15 m 층에서 좋았고, 25 m 이하 층에서 느렸다. 그러나 수온변동이 크고, 고수온이 지속되는 시기에는 적정밀도로 분산하여 25 m 이하 수층에서 관리하는 것이 폐사를 줄일 수 있었다. 중간육성 기간 중 치패의 일간 성장량은 0.019~0.381 mm/

day로 1~2월에 낮았고, 3~4월에 높았다. 특히, 수용밀도 50개체 이상으로 중간육성 시에는 여름철에 폐사할 위험성이 증가하므로 반드시 6월 이전에 낮은 밀도로 본 양성을 시작하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Andersen, S. and K. E. Naas, 1993. Shell growth and survival of scallop (*Pecten maximus* L.) in a fertilized, shallow seawater pond. *Aquaculture* 110 : 71-86.
- Belogradov, E. A., 1974. Growth of the sea scallop *Mizuhopecten yessoensis* in submerged cages. *Fish. Mar. Ser. Can. Transl. Ser.* 3266 : 4 pp.
- Broom, M. J. and J. Mason, 1978. Growth and spawning in the Pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. *Mar. Biol.* 47 : 277-285.
- Bourne, N., C. A. Hodgson and J. N. C. Whyte, 1989. A manual for scallop culture in British Columbia. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1964 : 215 pp.
- Dadswell, M. J. and G. J. Parsons, 1991. Potential for culture of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* using natural spat. pp. 300-307. (in) *An International Compendium of Scallop Biology and Culture*, (eds.) S. E. Shumway and P. A. Sandifer. *World Aquaculture Society, World aquaculture Workshops*. no. 1.
- Ishihara, A., 1966. The propagation and rearing of the scallop, *Pecten yessoensis* at district fisheries improvement and dissemination station (Japan). *Can.*

- Trans. Fish. Aquat. Sci. No. 5394. 82 pp.
- Imai, T., 1977. Aquaculture in shallow seas: progress in shallow sea culture. Part II. The evolution of scallop culture. Translation from original Japanese. National Technical Information Service, Springfield, VI, USA : 261-364.
- Ito, H., H. Moriya and T. Sasaki, 1988. Larval distribution and offshore spat collection technology of Japanese scallop in Hokkaido's coasts. Spring Meeting Japan. Sci. Soc. Fish. 255 pp.
- Kirby-Smith, W. W. and R. T. Barber, 1974. Suspension feeding aquaculture system: effects of phytoplankton concentration and temperature on growth of the bay scallop. *Aquaculture* 3 : 135-145.
- MacDonald, B. A. and R. J. Thompson, 1985. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. I. Growth rates of shell and somatic tissue. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25 : 279-294.
- Maru, K., 1985a. Ecological studies on the seed production of scallop, *Patinopecten yessoensis* (JAY). *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* 27 : 1-53.
- Maru, K., 1985b. Tolerance of scallop, *Patinopecten yessoensis* (JAY) to temperature and specific gravity during early developmental stages. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* 27 : 55-64.
- Nishioka, C., G. Yamamoto, S. Nagamine, T. Kinoshita and S. Nomura, 1949. Studies on the scallop of Mutsu Bay. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser.* 18 : 177-184.
- Parsons, T. R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. 173 pp.
- Parsons, G. J. and M. J. Dadswell, 1992. Effect of stocking density on growth, production, and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate suspension culture in Passamaquoddy Bay, New Brunswick. *Aquaculture* 103 : 291-309.
- Parsons, G. J. and M. J. Dadswell, 1994. Evaluation of intermediate culture techniques, growth, and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in Passamaquoddy Bay, New Brunswick. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2012 : vii-29.
- Penney, R. W. 1995. Effect of gear type and initial stocking density on production of meats and large whole scallops *Placopecten magellanicus*, using suspension culture in Newfoundland. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2079 : v-9.
- Penny, R. W. and C. H. McKenzie. 1996. Seasonal change in the body organs of cultured sea scallop, *Placopecten magellanicus*, and coincidence of spawning with water temperature, seston, and phytoplankton dynamics. *Can. Tech. rep. Fish. Aquat. Sci.* 2104 : iv-22.
- Penny, R. W. and T. J. Mills, 2000. Bioeconomic analysis of a sea scallop, *Placopecten magellanicus*, aquaculture production system in Newfoundland, Canada. *J. Shellfish Res.* 19 : 113-124.
- Rhodes, E. W. and J. C. Widman, 1980. Some aspects of the controlled production of the bay scallop (*Argopecten irradians*). *Proc. World Maricult. Soc.* 11 : 235-246.
- Rodhouse, P. G., B. Ottway and G. M. Burnell, 1981. Bivalve production and food chain efficiency in an experimental nursery system. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 61 : 243-256.
- Rhodes, E. W. and J. C. Widman, 1984. Density-dependant growth of the bay scallop, *Argopecten irradians*, in suspension culture. *Int. Counc. Explor. Sea, C.M.* 1984/K 18, 8pp.
- Silina, A. V., 1978. Determination of age and growth rate of the yezo scallop by the culture of its shell surface. *Biol. Morya* 5 : 39 pp.
- Shumway, S. E. 1991. Scallops: biology, ecology, and aquaculture. Elsevier Press, New York. 1095pp.
- Tomita, K., K. Tajima, M. Uchida, M. Mori and T. Wakui, 1982. On the population of scallop, *Patinopecten yessoensis* (JAY), in Sarufutsu, Hokkaido. *J. Hokkaido Fish. Exp. Stn.* 39 : 111-125.
- Thorarinsdottir, G. G., 1991. The Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller) in Breidafjordur, west Iceland. I. Spat collection and growth during the first year. *Aquaculture* 97 : 13-23.
- Ventilla, R. F., 1982. The scallop industry in Japan. pp. 309-350. (in) *Mar. Biol.* 20. Academic Press, London.
- Wallace, J. S., 1982. The culture of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller). I. Spat collection and growth during the first year. *Aquaculture* 26 : 311-320.
- Wallace, J. S. and T. G. Reinsnes, 1984. Growth variation with age and water depth in the Iceland scallop (*Chlamys islandica*, Pectinidae). *Aquaculture* 41 : 141-146.
- Wallace, J. S. and T. G. Reinsnes, 1985. The significance of various environmental parameters for growth of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (Pectinidae) in hanging culture. *Aquaculture* 44 : 229-241.
- Wilson, J. H., 1987. Environmental parameters controlling growth of *Ostrea edulis* L. and *Pecten maximus* L. in suspended culture. *Aquaculture* 64 : 119-131.
- Wildish D. J., A. J. Wilson, W. Young-Lai, A. M. DeCoste, D. E. Aiken and J. D. Martin, 1988. Biological and economic feasibility of four grow-out methods for the culture of giant scallops in the Bay of Fundy.

- Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1658 : 1-22.
- Yamamoto, G., 1957. Tolerance of the scallop spats to suspended silt, low salinity and sudden temperatures changes. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 23 : 78-82.
- Yamamoto, G., 1964. Scallop culture in Mutsu Bay. Suisan Zoyoshoku Soshu, (Tokyo), 6 : 77 pp.
- Yoshida, Y., 1973. Changes in biological production in low trophic levels pp.92-103. (in) Fisheries Series, 1. In: Fisheries Series, 1. Koseisha Koseikaku, Tokyo. 92-103 pp.
- Yoo, S. K., H. Y. Ryu and K. Y. Park, 1981. The growth of the culture scallop, *Patinopecten yessoensis*. Bull. Korean Fish. Soc. 14 : 221-226.
- Zar, J. H., 1984. Biostatistical analysis. 2nd. Prentice-Hall, 718 pp.
- 박영제, 1998. 참가리비, *Patinopecten yessoensis*의 양식 생물학적 연구. 제주대학교 이학박사학위 논문, 185pp.
- 李輔橫 · 張聖益, 1977. 가리비 양식에 관한 연구. (1) 자연체 묘 및 수하양식시험. 수진연보, 16 : 165-178.
- 張榮振, 1991. 가리비, *Patinopecten yessoensis* 消化盲囊의 季節變化. 한국양식학회지, 4 : 19-30.
- 張榮振, 1993. 가리비, *Patinopecten yessoensis* 血球의 形態學的 同定과 機能. 한국양식학회지, 6 : 1-12.
- 張榮振 · 林漢奎 · 朴榮濟, 1997. 東海岸 養殖産 참가리비, *Patinopecten yessoensis*의 生殖週期. 한국양식학회지, 10 : 133-141.
- 조경제 · 최만영 · 광승국 · 임성호 · 김대운 · 박종규 · 김영의, 1998. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절 변동. 한국해양학회지 바다, 3(4) : 193-202.
- 藏田護 · 千川裕 · 西浜雄二, 1989. ホタテガイの攝餌量の 關する研究. 北海道立網走水産試験場 1988年度 事業報告, 157~177.
- 西浜雄二, 1991. 湧別~網走沖 ホタテガイ漁場の海洋條件, 1990年度 北海道立網走水産試験場 事業報告, 176-181.