



돌기해삼(*Apostichopus japonicus*) 부유유생의 생존과 성장에 미치는 수온, 염분 및 수용밀도의 영향

문선주 · 진영국* · 양세희** · 김태익†

(국립수산과학원 남해수산연구소 · *국립수산과학원 서해수산연구소 · **연안생태과학기술 · †국립수산과학원 남동해수산연구소)

Effects of Water temperature, Salinity and Stocking Density on Larva Survival and Growth of Sea Cucumber, *Apostichopus japonicus*

Sun-Joo MOON · Young-Guk JIN* · Se-Hee YANG** · Tae-Ik KIM†

(South Sea Fisheries Research Institute, NIFS · *West Sea Fisheries Research Institute, NIFS · **Marine Ecology Science and Technology, · †Southeast Sea Fisheries Research Institute, NIFS,)

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of water temperature, salinity and stocking density on larvas survival and growth of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* for 16 days. Early auricularia larva(average length 480.9±81.8 μm) was exposed four treatments(water temperature; 15, 20, 25, 30 °C), six treatments(salinity concentration; 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu), four treatments(stocking densities; 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 ind./mL) in this experiment, after then observed required time(days), survival rate and growth to larva developmental stage(early auricularia~doliolaria). For experiment seawater, used 40 L aquarium tank(40×30×35 cm). In this results, optimum to rearing condition(water temperature, salinity and stocking density) of larvas sea cucumber, *Apostichopus japonicus* indicated water temperature of 21 °C(LC₅; 21.8 °C), salinity of 30 psu(LC₅; 30.27 psu, below 0.25 ind./mL(LC₅; 0.11 ind./mL). Further research is needed, the results of this study could become a useful for increase seed production of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*.

Key words : *Apostichopus japonicus*, Larva, Survival, Growth, Water temperature, Salinity, Density

1. 서론

오래전부터 고급 식재료로 각광받고 있는 해삼은 그 수요가 갈수록 증가하고 있다. 전 세계에 약 1,400여 종의 해삼이 서식하고 있으며(Takahashi & Okumura, 2012), 그 중 가장 상업적 가치가 높은 돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)은

우리나라를 비롯해 중국, 일본, 러시아 등의 서부태평양에 주로 분포하고 있다(FAO, 2012).

세계 해삼류 생산량(238,140톤, 2014) 중 돌기해삼의 생산량은 211,665톤으로 대부분 중국에서 양식으로 95%가 생산된다. 중국의 양식 생산량은 2010년 130,303톤, 2012년 170,830톤, 2014년 200,969톤으로 꾸준히 증가하고 있으나(FAO,

† Corresponding author : 055-860-7701, rlxodlr10@korea.kr

* 이 연구는 국립수산과학원 남동해수산연구소 “남해안 개체군 양식방법 연구(R2018009)”에 의해 추진되었음.

2014), 우리나라의 경우 2010년 2,687톤, 2012년 1,945톤, 2014년 2,148톤, 2016년 2,386톤으로 중국에 비해 약 1% 수준에 그치고 있다. 해삼 양식의 근간을 이루는 종묘생산량은 중국의 경우 2012년 584억 마리, 2014년 746억 마리를 생산하였지만, 우리나라의 경우 약 3천만 마리로 추정되고 있어 중국에 비해 0.05% 이하의 매우 낮은 생산량을 보이고 있다.

안정적인 종묘생산을 위해서는 초기생활사에 미치는 수온, 염분, 수용밀도, 먹이 등 다양한 요인들에 대한 적정범위를 구명하는 것이 매우 중요하다. 국외의 경우 해삼의 산란에 관한 연구(Sui, 2004; Huang & Wang, 2007), 초기생활사의 구분(Liao, 1987; Wang et al., 2010; Hu et al., 2010), 수온 및 염분이 해삼 유생의 성장과 생존에 미치는 영향(Li et al., 2011), 부착기 유생의 저질 선택(Li et al., 2010) 등 매우 체계적인 연구가 축적되어 있으며, 연구결과를 실제 산업현장에 적용하고 있다. 하지만 해삼 부유유생에 대한 연구들은 적정 사육기간인 7일로 한정되어 있는 경우가 대부분이다. 국내 상업적 해삼 종묘생산은 주로 중국의 생산 기술자들을 고용해 자국에서 습득한 기술정보를 바탕으로 생산하고 있으며, 국내 서식환경에 맞는 기초연구는 찾아보기가 힘들다.

생물의 서식환경 중 수온, 염분 농도, 수용밀도 등은 생존과 성장에 직접적인 영향을 미치는 가장 기초적이면서도 중요한 요인 중 하나이며, 그 중에서도 해삼과 같이 부유유생 시기를 보내는 종들에게는 매우 민감하게 작용한다. 또한 같은 종이라 할지라도 서식 지역 및 환경에 따라 적정 범위가 다양하게 나타난다.

따라서 본 연구는 국내 서식하고 있는 돌기해삼의 초기생활사 중 부유유생 시기의 생존과 성장에 미치는 수온, 염분 농도 및 수용밀도의 영향을 관찰함으로써 국내 환경에 맞는 적정 범위를 구명함과 동시에 산업현장에 적용할 수 있는 기초자료를 확보하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 종 및 기간

실험에 사용된 어미 돌기해삼은 전라남도 완도군 보길면 백도리 해상가두리에 사육하던 돌기해삼 14마리(평균 체중 279.5 ± 72.7 g)를 국립수산물학원 남해수산연구소(전남 여수) 생물사육동으로 운송 후 약 한 달 동안 순치하여 채란에 사용하였다. 2015년 5월 28일 어미 돌기해삼을 수온상승자극법(수온 $15 \rightarrow 21^\circ\text{C}$)으로 산란을 유도하여 채란한 후, 정상적인 난 발생과정을 거쳐 2015년 5월 31일 평균 $480.9 \pm 81.1 \mu\text{m}$ 의 초기 아우리콜라리아 유생을 확보하여 실험에 사용하였다. 실험 기간은 2015년 5월 31일부터 6월 15일까지 16일 동안 실시하였다.

2. 실험방법

가. 실험수조 및 사육환경

실험에 사용된 수조는 40 L 사각 유리수조(40×30×35 cm)를 사용하였다. 모든 실험구는 다항목 수질측정기(YSI 600QS)를 이용하여 매일 오전 10시 수질을 측정하였고, 이를 기준으로 각 실험환경에 맞게 수온 및 염분을 조절하였다. 사육해수는 0.5 μm 카트리지 필터로 여과하여 사용하였으며, 실험기간동안 사육해수의 교환은 없었다. 공기는 약하게 공급하였다.

나. 수온별 실험

수온별 실험은 냉각기(대일, DBC-200)와 히터(Aquarium Heater, PH-150)를 이용하여 수온을 조절하였다. 실험 수온을 유지하기 위하여 아크릴 수조 안에 실험용 사각 유리수조를 넣은 후 아크릴 수조 안의 담수를 냉각 또는 가열시킴으로써 유리수조의 수온을 유지하는 방법으로 유생이 받는 직접적인 수온영향을 최소화시켰다.

실험구는 다항목수질측정기를 이용하여 15, 20, 25, 30 $^\circ\text{C}$ 로 구분하였고, 최적 염분 농도가 30~31

pus로 보고(Qui, 2013)되고 있는 점을 감안해 염분농도는 30 psu, 밀도는 0.25 마리/mL로 수용하였다.

다. 염분별 실험

염분 농도별 실험은 증류수와 천일염을 사용하여 염분 농도를 조절하였다. 실험구는 다항목수 질측정기로 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu로 구분하였으며, 최적 수온이 20~21°C로 보고(Sui, 1990)되고 있는 점을 감안해 수온은 20°C, 밀도는 수온별 실험과 동일한 0.25 마리/mL로 수용하였다.

라. 수용밀도별 실험

수용밀도별 실험은 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 마리/mL로 구분하였으며, 수온은 20°C, 염분 농도는 30 psu로 조절하였다.

마. 먹이종류 및 공급량

먹이는 중국산 제품을 사용하였으며, 건효모, 홍효모, 염조 및 EM을 1:1:0.8:10의 비율로 혼합하여 공급하였다. 건효모는 긴 과립형태의 펠렛으로 각종 조류와 배합하여 폐류 양식에 사용하는 천연효모이며, 홍효모는 *Rhodotorula* 종으로 담홍색의 카로티노이드 색소를 생산하며, 아스타잔틴, 비타민 B류, 칼슘, 인 등의 함량이 높아 유생의 변태 및 생존율을 높이는데 사용된다. 염조는 *Dunaliella salina* 농축분말로 어미의 성숙 촉진, 유생의 성장, 변태 및 생존율 향상에 효과가 있다. EM은 유용미생물군(Effective Micro-organism)의 약칭으로 약 80여종의 미생물이 들어 있어 복합 수질조절제로 사용된다. 먼저 건효모, 홍효모 및 염조에 여과해수를 첨가하여 1시간 후 망목 300 μ m 물러가체를 통과한 먹이생물에 EM을 추가하여 3회/일 공급하였다. 공급량은 초기 아우리쿨라리아 유생에게 사육수의 1 ppm 농도로 공급 한 후 지속적인 현미경 관찰을 통해 위속의 먹이가 15~20개 이하로 떨어지지 않도록 적절히 조절하였다.

바. 부유유생 단계별 소요일수, 생존 및 성장

돌기해삼은 총 3단계의 유생기(아우리쿨라리아 유생, 돌리올라리아 유생, 펜탁툴라 유생)를 거치며, 부착기 유생인 펜탁툴라 유생은 부착생활로 관찰이 어려워 아우리쿨라리아 유생에서 돌리올라리아 유생까지 조사하였다([Fig. 1] 참조). 아우리쿨라리아 유생은 초기, 중기 및 후기로 나누어 관찰하였다. 유생 발달단계는 Hu et al.(2010)과 Qiu et al.(2013)의 연구결과를 참고하여 구분하였다.

부유유생 단계별 소요일수는 각 단계별 유생의 점유율이 50% 이상 관찰되었을 때를 기준으로 하였다. 생존율 조사는 수용 후 24시간 동안은 2시간 간격으로 조사하였으며, 24시간 경과 후부터는 매일 오전 10시에 100 mL씩 3반복으로 샘플하여 조사된 개체수를 생존율로 환산하였다. 유생의 길이 측정은 Motic Images Plus 2.0 프로그램을 이용하였다.

실험결과에 통계처리는 SPSS 13.0(SPSS, Inc, Chicago, IL) program을 사용하여 Two-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test(Duncan, 1955)로 평균값 간의 유의성을 검증하였다. 실험환경에 가장 영향을 적게 받는 사육환경을 조사하기 위해 각 실험구별 생존율을 기초로 노출에 따른 치사농도(Lethal Concentration; LC)를 구하였다. 치사농도는 자연사망률을 감안하여 LC₅값으로 나타내었다.

III. 결과

1. 사육환경

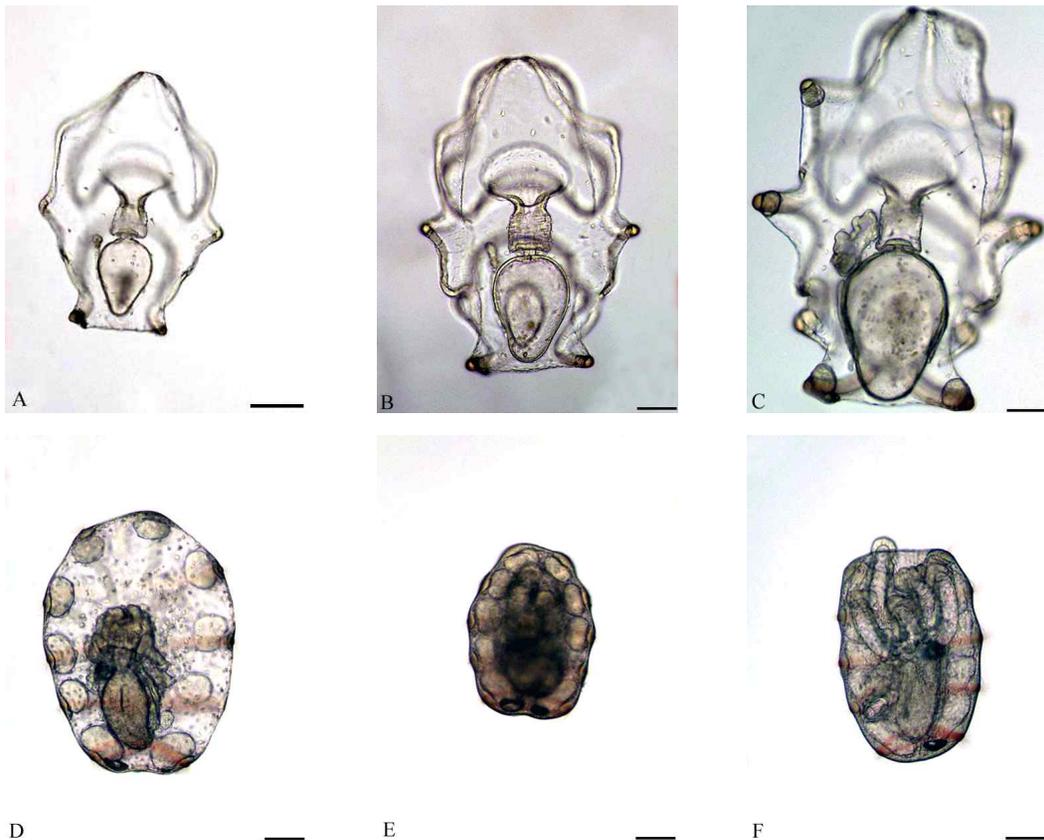
수온별 실험구의 실험기간 동안 사육환경은 수온의 경우 15, 20, 25, 30°C 실험구가 각각 15.0~15.3°C, 19.8~20.3°C, 24.9~25.2°C, 30.0~30.5°C 이었고, 염분 농도는 모든 실험구가 29.7~30.7 psu이었다. 용존산소는 15°C 실험구의 경우 7.7~8.5 mg/L, 20°C 실험구가 6.7~7.4 mg/L, 25°C 실험구가 5.9~7.0 mg/L, 30°C 실험구가 5.2~5.4

mg/L로 수온이 높을수록 낮아지는 경향을 나타냈지만, 최소 5.0 mg/L 이상의 값을 보였다.

염분 농도별 실험구의 경우 실험기간 동안 염분 농도 변화는 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu 실험구에서 각각 14.9~15.0 psu, 20.0~20.3 psu, 25.0~25.2 psu, 30.0~30.4 psu, 35.1~35.2 psu,

40.0~40.5 psu로 조사되었다. 수온은 19.9~21.3℃, 용존산소는 6.4~7.7 mg/L로 나타났다.

수용밀도별 실험구의 경우 실험기간 동안 사육 환경의 변화는 모든 실험구에서 수온은 19.5~21.5℃, 염분 농도는 30.0~30.3 psu, 용존산소는 6.0~7.2 mg/L의 범위를 보였다.



[Fig. 1] Larva development of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. A: Early auricularia stage, Calcareous ossicles in the posterior of the body appears and digestive tract developed. Also able to feed. B: Mid auricularia stage, Further development of left somatocoel and hydrocoel. Hydrocoel expanded, hyaline spheres appear. C: Late auricularia stage, Five pairs of hyaline spheres, hydrocoel into finger-like branches, which will develop into circular canal. D: Early doliolaria stage, Metamorphosis between auricularia and doliolaria. E: Doliolaria stage, F: Pentacula stage. Primary tentacles and swim with ciliary band; only 2~3 tentacles functional; critical period for finding substrate. Additional buccal podia develop, crucial stage for substrate selection. Scale bar: 100 μ m.

2. 수온에 따른 부유유생 발달 단계별 소요 일수, 생존 및 성장

수온에 따른 부유유생 발달 단계별 소요일수, 생존 및 성장은 <Table 1>과 같다.

25°C 실험구에서 초기 아우리쿨라리아 유생에서 돌리올라리아 유생까지 발달하는데 소요일수는 6일로 가장 빨랐고, 20°C 실험구에서 10일, 15°C 실험구에서 13일로 수온이 낮을수록 발달이 늦었다.

생존율의 경우 중기 아우리쿨라리아 유생 단계는 18시간 내에 전 개체가 폐사한 30°C를 제외하고 모든 실험구에서 90%의 생존율을 보였으며, 후기 아우리쿨라리아 유생 단계로 가면서 80%대로 감소하였다. 그 후 돌리올라리아 유생 단계에서 15°C 실험구는 26%로 20°C와 25°C 실험구 40%와 유의적인 차이를 보였다($P<0.05$). 수온에 따른 돌기해삼 유생의 LC_5 는 21.83°C로 나

타났다.

유생의 성장은 15°C 실험구의 경우 중기 아우리쿨라리아 유생이 $578.1\pm66.3 \mu\text{m}$, 후기 아우리쿨라리아 유생이 $780.1\pm45.0 \mu\text{m}$, 돌리올라리아 유생이 $498.0\pm65.3 \mu\text{m}$ 로 20°C와 25°C 실험구에 비해 아우리쿨라리아 유생의 크기는 가장 작았고, 돌리올라리아 유생은 가장 큰 것으로 조사되었다. 20°C 실험구의 경우 중기 아우리쿨라리아 유생이 $617.3.1\pm35.3 \mu\text{m}$, 후기 아우리쿨라리아 유생이 $790.5\pm59.0 \mu\text{m}$, 돌리올라리아 유생이 $451.5\pm66.0 \mu\text{m}$ 로 나타났다. 25°C 실험구의 경우 중기 아우리쿨라리아 유생이 $630.6\pm65.2 \mu\text{m}$, 후기 아우리쿨라리아 유생이 $805.2\pm62.0 \mu\text{m}$, 돌리올라리아 유생이 $341.5\pm 15.7 \mu\text{m}$ 로 15°C와 20°C 실험구에 비해 아우리쿨라리아 유생은 가장 크고($P>0.05$) 돌리올라리아 유생은 가장 작았다($P<0.05$).

<Table 1> Required time(days), survival rate and growth to larva developmental stage on the various water temperature of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*

	Water temperature(°C)	Early auricularia	Mid auricularia	Late auricularia	Doliolaria
Required time(days)	15	0	1	11	13
	20	0	1	9	10
	25	0	1	5	6
	30	0			
Survival rate(%)	15	100 ^a	90 ^a	84 ^{ab}	26 ^d
	20	100 ^a	90 ^a	84 ^{ab}	40 ^c
	25	100 ^a	90 ^a	86 ^{ab}	40 ^c
	30	100 ^a	0 ^{*b}		
Growth(μm)	15	480.9±81.1 ^b	578.1±66.3 ^b	780.1±45.0 ^d	498.0±65.3 ^b
	20	480.9±81.1 ^b	617.3±35.3 ^{bc}	790.5±59.0 ^d	451.5±66.0 ^b
	25	480.9±81.1 ^b	630.6±65.2 ^{bc}	805.2±62.0 ^d	341.5±15.7 ^a
	30	480.9±81.1 ^b			

* All larval died within 18h at 30°C

• Different letters indicate significant differences between treatments at the same time($P<0.05$)

3. 염분농도에 따른 부유유생 발달 단계별 소요일수, 생존 및 성장

염분농도에 따른 부유유생 발달 단계별 소요일수, 생존 및 성장은 <Table 2>와 같다.

초기 아우리쿨라리아 유생에서 돌리올라리아 유생단계까지 소요일수는 20 psu 실험구에서 11일, 25와 30 psu 실험구에서 6일로 모든 실험구 중 가장 빨랐으며, 35 psu 실험구는 8일, 40 psu 실험구는 9일이 소요되었다.

생존율은 15 psu 실험구에서 초기 아우리쿨라리아 유생 수용 후 12시간 만에 전 개체가 사망하였고, 20 psu 실험구는 중기 아우리쿨라리아 유생 단계에서 34%를 보인 후 점차 감소하여 돌리올라리아 유생 단계에서 3%의 매우 낮은 생존율을 보였다. 25, 30 및 35 psu 실험구에서는 후기 아우리쿨라리아 유생까지 100%의 생존율을 보인 후 돌리올라리아 유생으로 변태하면

서 각각 55%, 64% 및 50%의 생존율을 보였다. 그러나 실험구 간 유의할 만한 차이는 나타나지 않았으나($P>0.05$), 20 psu와 40 psu 실험구와는 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 40 psu 실험구는 중기 아우리쿨라리아 유생까지 100%의 생존율을 보인 후 점차 감소하여 돌리올라리아 유생 단계에서 14%로 조사되었다. 염분농도에 따른 돌기해삼 유생의 LC_5 는 30.27 psu로 나타났다. 유생의 성장은 30 psu 실험구에서 후기 아우리쿨라리아 유생이 $815.1\pm 81.2 \mu\text{m}$ 로 가장 컸으며, 다른 실험구와 유의한 차이를 보였고($P<0.05$), 돌리올라리아 유생의 크기는 $320.0\pm 30.3 \mu\text{m}$ 로 가장 작았다. 20 psu 실험구에서 후기 아우리쿨라리아 유생 크기는 $718.9\pm 114.4 \mu\text{m}$ 로 모든 실험구 중 가장 작았으며, 개체간의 크기 차이가 크게 나타났고, 돌리올라리아 유생의 크기는 $386.4\pm 56.8 \mu\text{m}$ 로 가장 크게 나타났다.

<Table 2> Required time(days), survival rate and growth to larva developmental stage on the various Salinity concentration of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*

	Salinity(psu)	Early auricularia	Mid auricularia	Late auricularia	Doliolaria
Required time(days)	15	0			
	20	0	4	10	11
	25	0	1	5	6
	30	0	1	5	6
	35	0	1	7	8
	40	0	1	8	9
Survival rate(%)	15	100 ^a	0 ^{*e}		
	20	100 ^a	34 ^{cd}	13 ^d	3 ^e
	25	100 ^a	100 ^a	100 ^a	55 ^e
	30	100 ^a	100 ^a	100 ^a	64 ^{bc}
	35	100 ^a	100 ^a	100 ^a	50 ^e
	40	100 ^a	100 ^a	82 ^{ab}	14 ^d
Growth(μm)	15	480.9 \pm 81.1 ^{ab}			
	20	480.9 \pm 81.1 ^{ab}	594.6 \pm 80.0 ^{bc}	718.9 \pm 114.4 ^{cd}	386.4 \pm 56.8 ^{ab}
	25	480.9 \pm 81.1 ^{ab}	544.4 \pm 62.4 ^{bc}	753.7 \pm 65.9 ^{cd}	357.7 \pm 42.7 ^{ab}
	30	480.9 \pm 81.1 ^{ab}	628.6 \pm 72.1 ^{bc}	815.1 \pm 81.2 ^e	320.0 \pm 30.3 ^a
	35	480.9 \pm 81.1 ^{ab}	544.0 \pm 44.2 ^{bc}	769.4 \pm 61.8 ^{cd}	349.4 \pm 41.1 ^a
	40	480.9 \pm 81.1 ^{ab}	513.8 \pm 26.5 ^{bc}	751.0 \pm 71.7 ^{cd}	361.0 \pm 77.1 ^{ab}

* All larval died within 12h at 15 psu

• Different letters indicate significant differences between treatments at the same time($P<0.05$)

30 psu 실험구를 중심으로 염분농도가 높거나 낮을 경우 후기 아우리쿨라리아 유생 크기가 작았으며, 반면 돌리올라리아 유생 단계에서는 큰 경향을 보였다.

4. 수용밀도에 따른 부유유생 발달 단계별 소요일수, 생존 및 성장

수용밀도에 따른 부유유생 발달 단계별 소요일수, 생존 및 성장은 <Table 3>과 같다.

초기 아우리쿨라리아 유생에서 돌리올라리아 유생단계까지 소요일수는 모든 실험구에서 6일이 소요되어 실험구간의 차이는 없었다.

생존율은 수용밀도 0.25 mg/L 실험구의 경우 후기 아우리쿨라리아 유생 단계까지 100%로 전 실험구 중 가장 생존율이 높았으며, 0.5 mg/L 실험구와는 유의한 차이가 없었으나(P>0.05), 1.0 과 2.0 mg/L 실험구와는 유의한 차이를 보였다(P<0.05). 한편 돌리올라리아 유생 까지는 생존율이 68%였다. 0.5 mg/L 실험구는 중기 아우리쿨라리아 유생 단계까지 100%를 보인 후 점차 감

소하여 돌리올라리아 유생 단계에 47%를 나타냈다. 1.0과 2.0 mg/L 실험구는 중기 아우리쿨라리아 유생까지 각각 76%와 56%로 1.0과 2.0마리/mL 실험구간의 생존율 차이는 없었으나(P>0.05) 이후 점차 감소하여 돌리올라리아 유생 단계에서 급격히 낮아져 각각 13%와 11%를 보였다. 유생의 수용밀도가 높을수록 생존율이 낮았으며, 수용밀도에 따른 돌기해삼 유생의 LC₅는 0.11마리/mL로 조사되었다.

유생의 성장은 가장 낮은 밀도인 0.25 mg/L 실험구의 경우 후기 아우리쿨라리아 유생의 크기가 771.2±54.1 μm로 가장 컸으며, 다른 모든 실험구와는 유의한 차이를 보였고(P<0.05), 돌리올라리아 유생은 322.2±54.9 μm로 가장 작았다. 1.0 과 2.0 mg/L 실험구의 경우 후기 아우리쿨라리아 유생의 크기는 각각 663.1±9.8 μm와 636.4±18.7 μm로 밀도가 가장 높은 2.0 mg/L 실험구가 가장 작았으며, 돌리올라리아 유생의 크기는 400 μm 이상으로 나타났다. 유생의 수용밀도가 높을수록 아우리쿨라리아 유생의 크기는 작고 돌리올라리아 유생은 큰 경향을 보였다.

<Table 3> Required time(days), survival rate and growth to larva developmental stage on the various stock density of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*

	Density (ind./mL)	Early auricularia	Mid auricularia	Late auricularia	Doliolaria
Required time(days)	0.25	0	1	5	6
	0.5	0	1	5	6
	1.0	0	1	5	6
	2.0	0	1	5	6
Survival rate(%)	0.25	100 ^a	100 ^a	100 ^a	68 ^{bc}
	0.5	100 ^a	100 ^a	97 ^a	47 ^{cd}
	1.0	100 ^a	61 ^{bc}	55 ^{cd}	13 ^e
	2.0	100 ^a	37 ^d	33 ^d	11 ^e
Growth(μm)	0.25	480.9±81.1 ^b	540.1±47.0 ^b	771.2±54.1 ^d	322.2±54.9 ^a
	0.5	480.9±81.1 ^b	522.4±11.4 ^b	680.7±38.4 ^c	384.9±40.5 ^{ab}
	1.0	480.9±81.1 ^b	508.1±53.2 ^b	663.1±29.8 ^c	407.4±92.5 ^b
	2.0	480.9±81.1 ^b	491.1±77.0 ^b	636.4±18.7 ^c	402.3±65.7 ^b

• Different letters indicate significant differences between treatments at the same time(P<0.05)

IV. 고찰

생물의 사육환경 중 수온, 염분 농도 및 수용 밀도는 대사작용에 밀접한 영향을 미치기 때문에 전 생활사 단계 중 유생시기에 가장 중요한 환경요인으로 작용한다(Kim & Hong, 2004; Rowlanda et al., 2006; Ma et al., 2009; Li & Li, 2010).

돌기해삼의 유생은 수온 20~21°C에 노출된 아우리쿨라리아 유생의 경우 11일 만에 돌리올라리아 유생으로 발달하고, 수온 24°C에서는 8일 만에 돌리올라리아 유생으로 발달한다고 보고되고 있다(Li et al., 2011). 또한 다양한 수온에 노출된 아우리쿨라리아 유생의 생존율 및 성장은 수온 21°C를 기준으로 높거나 낮을 때 감소하며, 21°C 이하의 수온보다는 25°C 이상의 고수온에서 감소폭이 더 크게 나타난다고 보고되고 있다(Liu, 2008; Li et al., 2011; Qui, 2013). 실험구의 수온 차이는 있지만, 본 결과에서도 수온 25°C를 기준으로 수온이 낮을수록 후기 아우리쿨라리아 유생까지 도달하는 소요일수가 늦어졌으며, 생존 및 성장도 20°C와 25°C에서 가장 좋은 결과를 보여 주었다. 해삼 유생사육을 위한 최적 수온은 20~21°C로 보고되고 있는데(Sui 1990), 이는 본 부유유생의 수온별 연구결과에서 LC₅값이 21.83°C임을 볼 때 유사한 결론을 내릴 수 있을 것으로 보인다.

돌기해삼 유생의 최적 염분농도는 약 30~31 psu 이며, 변태가 가능한 염분농도는 일부를 제외하고 26~35 psu라고 알려져 있다(Qui, 2013). 또한 Li et al.(2011)은 돌기해삼의 유생은 염분농도 15 psu 이하와 40 psu 이상에서는 생존이 불가능하다고 하였으며, 염분농도 13 및 17 psu에서 사육한 유생들이 각각 12시간 및 36시간 내에 폐사하고(Wang et al., 2009), 20 psu 이하에서는 생존하더라도 변태에 영향을 받는다고 보고하였다(Qiu, 2013). 본 연구 결과에서는 30 psu에

서 개체들의 성장과 생존율이 가장 양호한 결과를 보였으며, LC₅값이 30.27 psu로 나타나 Qui(2013) 연구결과와 유사한 결과를 보였다. 그러나 40 psu에서도 생존율은 낮지만 생존이 가능하고 20 psu와 40 psu에서도 돌리올라리아 유생으로 변태가 가능한 결과들은 기존 연구결과들과 어느 정도 차이를 보이고 있다. 이는 서식 지역 환경에 따른 차이로 보여지지만, 자세한 결론을 얻기 위해서는 추후 다양한 연구가 필요할 것으로 보인다.

또한 부유유생의 각 단계별 생존율에서 수온과 염분 농도 모두 높거나 낮은 실험구를 제외하고 대부분 돌리올라리아 유생시기에 가장 낮은 값을 보였으며, 특이한 수질변화가 발견되지 않아 부유유생 단계 중 변태시기에 수온과 염분이 가장 민감하게 작용하는 것으로 추정된다.

일반적으로 후기 아우리쿨라리아 유생의 크기는 750~950 μm , 돌리올라리아 유생은 320~380 μm 로 보고되고 있으나(Hu et al., 2010; Qiu et al., 2015), 실험여건에 따라 각 단계별 유생의 크기는 비슷한 조건이라 할지라도 많은 차이를 보이고 있다. 해삼 유생 단계에서 변태는 D1 유사 도파민 수용체가 관여하는 것으로 보고되고 있으나(Matsuura et al., 2009), 보다 정확한 기작은 알려지지 않아 본 연구에서 나타난 실험 염분농도에 따른 후기 아우리쿨라리아 유생과 돌리올라리아 유생 간 크기의 상관관계를 설명하기는 쉽지 않다.

본 연구에서 수용밀도에 따른 유생 단계별 소요일수는 모든 실험구간에 차이는 없었지만, 생존율 및 유생의 크기는 밀도가 낮을수록 양호한 결과를 보였다. 이는 Lee & Park(1999)과 Li & Li(2010)의 연구결과와 동일한 경향을 보이고 있었음을 볼 때 아우리쿨라리아 유생의 적정 수용밀도는 0.25마리/mL 이하가 가장 적당할 것으로 보인다.

V. 요약

돌기해삼 부유유생의 적정 수온, 염분 농도 및 수용밀도를 알아보기 위한 실험을 하였다. 실험에 사용한 아우리쿨라리아 유생은 전남 완도 군 해상 가두리 양식장에서 사육한 어미 돌기해삼을 이용하여 채란한 후 부화한 유생을 사용하였다. 수온은 15, 20, 25, 30℃, 염분 농도는 15, 20, 25, 30, 35, 40 psu, 수용밀도는 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 마리/mL로 실험구를 설정하였다. 유생 단계별 소요일수, 생존 및 성장을 초기 아우리쿨라리아 유생 단계에서부터 돌리올라리아 유생 단계까지 관찰하였다. 실험결과 부유유생의 발달 단계별 소요일수, 생존 및 성장을 고려할 때 돌기해삼 부유유생의 적정 사육환경은 염분 농도별(수온 21℃) 실험결과를 감안하여 수온 21℃(LC₅; 21.83℃), 염분 30 psu(LC₅; 30.27 psu), 수용밀도는 0.25 마리/mL 이하(LC₅; 0.11 마리/mL)로 판단된다. 이 결과들은 해삼 종묘생산 현장에서 매우 요긴하게 사용될 수 있을 것이다.

References

- FAO.(2012). Commercially important sea cucumbers of the world. FAO species catalogue for fishery purposes No. 6.
- FAO.(2013). Global statistical collections. <http://www.fao.org/fishery/statistics/en>.
- Fisheries information service. Ministry of oceans and fisheries. <http://www.fips.go.kr>.
- Hu, C. · Xu, Y. · Wen, J. · Zhang, L. · Fan, S. and Su, T.(2010). Larval development and juvenile growth of the sea cucumber, *Stichopus sp.* Aquaculture, 300, 73~79.
- Huang, H. and Wang, Y.(2007). The current situation, existing problems and prospect in the aquaculture of *Apostichopus japonicus*. Journal of Fisheries of China, 10, 50~53, (in Chinese).
- Kim, K. B. and Hong, S. Y.(2004). Effects of temperature of larval growth and survival in the wrinkled swimming crab, *Liocarcinus corrugatus*. Journal of Korean Fisheries Society, 37, 186~191.
- Lee, C. and Park, Y. J.(1999). Influence of food and density on the growth and survival of sea cucumber, *Stichopus japonicus*. Journal of Aquaculture, 12, 39~45.
- Li, L. · Li, Q. and Kong, L.(2010). The effect of different substrates on larvae settlement in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Journal of World Aquaculture Society, 41, 123~130.
- Li, L. · Li, Q. · Sun, X. and King, L.(2011). Effects of temperature and salinity on larval growth, survival and development of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. North American Journal Aquaculture, 73, 296~303.
- Liao, C.(1987). Metamorphosis and living habit of the larvae of the sea cucumber, *Stichopus japonicus selenka*. Journal of Shandong College Oceanology, 17, 85~94. (in Chinese)
- Liu, G.(2008). Artificial breeding of thermotolerant strain of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Doctoral Thesis. Graduate University of Chinese Academy of Sciences. (in Chinese with English summary)
- Ma, C. W. · Son, C. S. and Park, W.(2009). Survival rate and growth of larvae and early juveniles in the swimming crab, *Portunus trituberculatus* (Miers) reared in the laboratory. Journal of Korean Fisheries Technology, 45, 251~259.
- Matsuura, H. · Yazaki, I. and Okino, T.(2009). Induction of larval metamorphosis in the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* by neurotransmitters. Fisheries Science, 75, 777~783.
- Qiu, T.(2013). Research and application of key technical principles of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* ecological seed breeding. Doctoral Thesis. University of Chinese Academy of Sciences, (in Chinese with English summary).
- Rowlanda, S. J. · Mifsuda, C. · Nixon, M. and Boydb, P.(2006). Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch, *Bidyanus bidyanus* in cages. Aquaculture, 253, 301~308.
- Sui, X.(1990). Sea cucumber breeding and aquaculture technology. Ocean press, Beijing, (in

- Chinese)
- Sui, X.(2004). The advancement and outlook of cultural breeding and aquatics technique of *Apostichopus japonicus*. Journal of Fisheries Sciences of China, 23, 29~31, (in Chinese).
- Takahashi, A. and Okumura, S.(2012). Holo-thuroidea. 成山堂. Japan. www.seizando-.co.jp. 227p, (in Japan).
- Wang, J. · Cong, W. · Jiang, Y. and Zhang, J.(2010). Effects of benthic diatom species and density on settlement and ontogenetic development of feeding organs in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Journal of Dalian Ocean University, 25, 232~298, (in Chinese).
- Wang, J. · Zhang, X. · Jiang, Y. · Zhang, J. and Li, G.(2009). Growth and survival of larval and juvenile sea cucumber, *Apo- stichopus japonicus* exposed to abrupt decline in salinity. Journal of Dalian Ocean University, 24, 139~145.
-
- Received : 31 January, 2018
 - Revised : 28 February, 2018
 - Accepted : 13 March, 2018