

육상 다단식 사육시스템을 이용한 어린 돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)의 수용밀도에 따른 성장과 생존

김태익 · 손맹현* · 조재권** · 고경동*** · 진영국†
(국립수산과학원 남해수산연구소 · *국립수산과학원 수산방역과 ·
국립수산과학원 양식관리과 · *전라남도 해양수산과학원)

Effects of Stocking Density on Growth and Survival of Sea Cucumber, *Apostichopus japonicus* in the Indoor Multiple Tank

Tae-Ik KIM · Maeng-Hyun SON* · Jae-Kwon CHO** · Gyeong-Dong GO*** · Young-Guk JIN†
(South Sea Fisheries Research Institute, NIFS · *Fish Disease Control Division, Aquaculture Research Institute, NIFS · **Aquaculture Management Division, Aquaculture Research Institute, NIFS · ***†Jeollanam-do Ocean & Fisheries Science Institute)

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of stocking density on growth and survival of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* in the indoor multiple tank for 12 weeks. There were six treatments (stocking densities) in this experiment, i.e. 1, 2, 3, 4, 5 and 10 individuals per 10 L plastic aquarium (W41×H24×D11 cm, represented as D1, D2, D3, D4, D5 and D10, respectively). Each treatment had ten replicates. The results showed growth variation of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* decreased with the increase of stocking densities. After the end of the experiment, no significant differences ($P>0.05$) between D1~D5 treatment group whereas significant differences ($P<0.05$) between D1 and D10 treatment group. Survival rate showed D1~D10 were 90%, 90%, 100%, 95%, 94% and 72%, respectively. Especially, significant differences ($P>0.05$) between D1~D5 and D10 treatment group. The results indicated optimum of stocking density for sea cucumber, *Apostichopus japonicus* within five individuals per 10 L plastic aquarium (0.05 individuals/m²).

Key words : *Apostichopus japonicus*, Growth, Survival, Density, Indoor multiple tank

I. 서론

해삼은 극피동물문(Echinodermata), 해삼강(Holothuroidea)에 속하며, 전 세계적으로 1,400여 종이 기록되어 있고(Takahashi and Okumura, 2012),

식용으로 사용할 수 있는 것은 약 40여 종이다. 그 중 상업적으로 가치가 높은 종은 돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)으로 우리나라 전 연안과 중국, 일본, 북한, 러시아에 주로 분포한다. 돌기해삼 분포의 북쪽 한계는 러시아의 사할린섬, 미

† Corresponding Author : 061-690-8976, jyg4jj@korea.kr

* 이 연구는 국립수산과학원 남해수산연구소 “전복 가두리 양식 생산성 향상 및 표준화 연구” (R2016006) 과제의 일환으로 추진되었습니다.

국의 알래스카 해안이며, 남쪽 한계는 일본의 다네가섬이다. 중국에서는 산둥성, 요녕성, 하북성 및 강소성에 주로 분포한다(FAO, 2012).

해삼은 조간대 얇은 곳에서부터 수심 30 m까지 서식하며, 성장함에 따라 수심이 깊은 곳으로 이동한다. 어린 해삼은 깊은 곳에서 찾기 힘들며, 다 자란 해삼은 5~15 m 수심에 분포하고, 15 m 이심에서는 그 수가 점차 줄어든다(謝忠明 and 隋錫林, 2004). 해삼은 지역에 따라 차이가 있지만 일반적으로 수온이 18°C 이상이 되면 운동이 활발하지 못하고 소화관이 위축되며(하면전기), 25°C 이상이 되면 소화관이 퇴축되고 운동을 전혀 하지 않는다(Yu and Song, 1999; Yang et al., 2005).

세계 해삼류 생산량은 2013년도에 232,102톤으로 중국의 생산량에 힘입어 매년 증가하고 있으며, 이중 돌기해삼이 84.5%를 차지하고 있다. 돌기해삼의 국별 생산량은 중국이 83.5%인 193,705톤, 일본이 4.6%인 10,613톤, 한국이 0.9%인 2,112톤이다(FAO, 2013). 현재 세계적으로 해삼 소비량은 매년 증가하고 있고, 한중 FTA 체결로 2024년부터 중국 수출관세가 없어짐에 따라 수출의 확대가 예상되지만 국내 생산량은 2007년도 2,936톤에서 2015년도 2,211톤으로 감소하였다(Fisheries Information Service, MOF). 현재 국내 생산은 주로 방류에 의한 재포획 양식에만 의존하고 있어 생산량의 급속한 증가는 기대하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 최근 해삼양식을 위한 시험연구를 추진하고 있으나 아직까지 산업적으로 초기 수준에 머물러 있다.

해삼에 대한 연구결과들은 국외의 경우 생태, 생식, 양식 등 다양하게 보고되고 있다(Tanaka 1958; Sui, 1989; Xing and Chia, 1997; Byrne, 2001; Yang et al., 2006; Ji et al., 2008). 국내의 경우 유생의 성장과 생존(Lee and Park, 1999), 생식(Park et al., 2007), 사육기질에 따른 해삼의 성장 및 체조성(Seo et al., 2009), 해삼과 전복의 복합양식에 따른 성장 및 생존(Jin et al., 2011), 사료(Jin

et al., 2016) 등의 연구결과들이 꾸준히 보고되고 있지만 생산량을 증가시킬 수 있는 육상양식에 관한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 또한 조절된 사육환경에서 제시된 결과들이 대부분을 차지하고 있어 실제 산업현장에서 손쉽게 적용하기에는 경제적 부담 등이 따른다.

따라서 본 연구는 사육수의 인위적 제어 없이 육상 다단식 사육시스템을 이용해 어린 돌기해삼의 적정 수용밀도, 성장 및 생존율에 대한 기초 자료를 확보하여 향후 육상에서 해삼의 단위면적당 생산성을 높이기 위한 연구를 수행하는데 도움이 되고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 종 및 기간

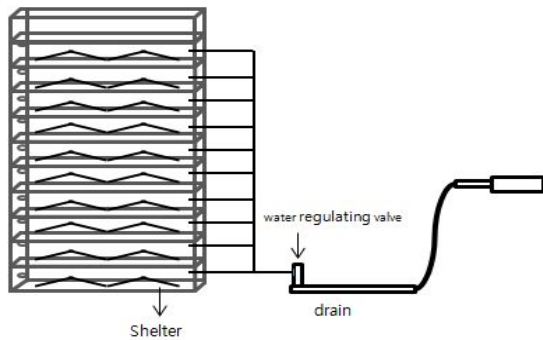
실험에 사용된 어린 돌기해삼은 전라남도 완도군 소재의 해삼 종묘생산 업체에서 2013년 5월 17일 채란하여 사육한 어린 돌기해삼을 2013년 12월 24일 구입하여, 2014년 1월 26일까지 FRP 사각수조(250×120×80 cm)에서 순치하였으며, 순치기간 동안의 수온은 6.3~9.0°C 이었다. 실험 기간은 2014년 1월 27일부터 4월 22일까지 총 12주였으며, 평균체중(습중량) 4.3~4.5 g, 250마리를 이용하였다.

2. 실험방법

가. 육상다단식 사육시스템 제작

육상 다단식 사육시스템에 사용된 수조는 약 10 L의 PVC 사각수조(내부: 41×24×11 cm) 10개를 쌓고 각 수조 측면에 주수구(높이 10 cm, 지름 Ø 5 mm)를 천공하여 투명 PVC 재질의 호스(지름 Ø 4 mm)를 연결한 다음 자연압의 해수를 흘려주었다(수조 내 유효수량 9.8 L, 은신처를 제외한 단면적 0.23 m²). 수조 반대쪽 측면에는 배수구(높이 8 cm, 지름 Ø 5 mm)를 천공하여 해수가 배수될 수 있도록 하였다. 또한 수조에 연결된 주수

구 호스 말단부분에 공기공급용 밸브를 장착하여 주수량을 조절할 수 있도록 하였다. 유수량은 분당 0.5 L로 먹이공급 시간(3시간)을 제외하면 1일 64회전 이었다. 각 수조 내에는 해삼이 은신할 수 있도록 육상 전복치패 생산용 골판 1장을 절단하여(32×20×4 cm)넣어 주었으며, 공기는 공급하지 않았다([Fig. 1] 참조).



[Fig. 1] Diagram of raising of *Apostichopus japonicus* in the multiple stage tank.

나. 사육환경

해수는 고압 모래여과 된 해수를 사용했으며, 수온과 조도 측정은 HOBO Pendant temp/light(UA-002-64)를 수조에 넣고 1시간 간격으로 측정하였다. 그 외 염분, 용존산소, pH는 다항목 측정기(YSI 600QS, USA)를 이용하여 매일 오전 10시에 측정하였다.

다. 어린 돌기해삼의 사육밀도

사육수조 10단을 하나의 사육밀도별 실험구로 설정하여 각 수조 당(단면적 0.23 m²) 어린 돌기해삼을 1마리, 2마리, 3마리, 4마리, 5마리, 10마리 실험구로 나눠서 10반복 실험을 하였다. 실험 시작시 사육밀도별 실험구간의 단위체적당 해삼의 생체량은 각 실험구간에 유의한 차이를 보였다($P<0.05$)(Table 1) 참조).

라. 먹이종류 및 공급량

먹이 종류는 배합사료(중국 교령), 스피루리나(중국 해남), 밀가루(백설), 대두박과 콘글루텐밀(국립수산과학원 사료연구센터), 생물다당(중국 건양), 건효모(중국 남방), 수산효모(중국 건양), 수산용 영양제(참신약품) 등 총 9종을 사용하였다.

먹이는 <Table 2>와 같은 비율로 사료 I 을 해수와 혼합하여 5분간 끓인 후 망목 500 μm 거름망으로 거른 후 사료 II와 섞어서 하루 동안 띄워놓은 후 공급하였다. 먹이는 매일 15시에 해삼 습중량의 3%를 기준으로 공급하였으며, 먹이 공급 전 잔량을 파악하여 공급량을 조절하였고, 4주마다 해삼의 생체량만큼 사료의 기본 공급량을 늘려 공급하였다. 먹이 공급방법은 해수 공급장치 연결부위가 분리될 수 있도록 하여 수중펌프(1마력)로 1일 1회 공급하였다. 공급 후 먹이가 충분히 가라앉도록 3시간 동안 해수 공급을 중단한 후 다시 해수를 공급하였다. 수조 청소는 3~4일 간격으로 해주었다.

<Table 1> Initial wet weight and the biomass of *Apostichopus japonicus* in different stocking density treatments(mean±SE)

Density codes*	Initial wet weight(g)	Biomass(g L ⁻¹)
D1	4.41±0.21	0.44±0.0210 ^a
D2	4.37±0.23	0.87±0.0450 ^b
D3	4.31±0.26	1.29±0.0790 ^c
D4	4.36±0.25	1.74±0.0990 ^d
D5	4.44±0.29	2.22±0.1470 ^e
D10	4.45±0.28	4.45±0.2830 ^f

* D1 means one sea cucumbers per 10 L plastic tank, D2 means two sea cucumbers per 10 L plastic tank and so on. The value with different scripts within column means significantly different from each other ($P<0.05$).

<Table 2> Ingredients and composition of the ratio of *Apostichopus japonicus* diets

Diets	Ingredients	Composition of the ratio(%)
I	Assorted feed	35
	Soybean meal	20
	Corn gluten meal	15
	Wheat flour	10
	Spirulina	5
II	Biological polysaccharide	3
	Dry yeasts	3
	Marine yeasts	4
	Aquatic nutrient	5

마. 성장과 생존율

체중성장은 각 실험구별로 해삼 개체별 습중량을 전자저울(WESS WK-5A, 단위 0.1 g)로 측정 후 평균값을 사용하였다. Specific growth rate (SGR, %/day)는 아래와 같은 식으로 구하였다.

Specific growth rate(SGR, %day⁻¹)

$$= 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / T$$

(W1: 실험 시작시 해삼 습중량, W2: 실험 종료시 해삼 습중량, T: 총 사육일수)

생존율은 청소할 때 마다 생존개체를 파악하였다.

바. 먹이의 일반성분

일반성분은 AOAC(2000) 방법에 따라 수분은

상압가열건조법(135℃, 2시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소 정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법, 조지방은 샘플을 12시간 동안 동결 건조한 후 Soxhlet system1046(TacatorAB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

배합사료와 각 사료원료들의 일반성분 분석 결과는 <Table 3>과 같다.

사. 통계분석

결과의 통계처리는 SPSS version 18(SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 Two-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test(Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

<Table 3> Nutrient contents of ingredients in *Apostichopus japonicus* diets

Ingredients	Moisture(%)	Crude protein(%)	Crude lipid(%)	Crude ash(%)
Assorted feed	2.9	17.8	0.4	37.2
Soybean meal	11.0	47.2	1.9	6.0
Corn gluten meal	10.0	59.8	1.0	2.2
Wheat flour	11.4	14.3	0.8	2.5
Spirulina	5.0	63.3	1.6	7.7
Biological polysaccharide	10.1	38.1	0.1	7.6
Dry yeasts	10.1	40.0	0.9	4.2
Marine yeasts	8.1	50.3	1.0	6.3
Aquatic nutrient	31.0	4.1	0.7	17.5

Ⅲ. 결 과

1. 사육환경

2014년 1월 27일부터 4월 22일까지 총 12주간 1시간 간격으로 수온과 조도를 측정한 결과, 수온은 1월 27일 7.5℃에서 실험시작 후 6주까지는 8℃ 전후에서 머물다가 이후 계속 상승하여 4월 22일에 14.6℃를 보였으며, 전 사육기간의 평균수온은 10.4℃이었다. 조도는 0 Lux으로 빛이 완전히 차단된 것으로 나타났다. 실험기간 동안의 염분은 33.9~35.5 psu, 용존산소는 7.0~10.6 mg/L, pH는 8.1~8.3로 나타났다(<Table 4> 참조).

2. 성장

어린 돌기해삼의 사육기간에 따른 수용밀도별 체중성장은 [Fig. 2]와 같다. 사육기간이 경과할수록 수용밀도별 실험구간의 성장 차이가 커지는 경향을 보였다. 평균체중 4.3~4.5 g의 어린 돌기해삼을 12주간 사육한 결과, 1마리 실험구(D1)에서 14.0±7.1 g, 2마리 실험구(D2) 12.1±7.3 g, 3마리 실험구(D3) 11.3±5.1 g, 4마리 실험구(D4) 11.4±5.8 g, 5마리 실험구(D5) 8.8±4.4 g, 10마리 실험구(D10) 7.8±4.3 g으로 성장하였고, 수용밀도가 낮을수록 체중성장이 빠른 경향을 보였다. 개시기부터 사육 8주까지는 모든 수용밀도별로 성장 차이는 없었지만($P>0.05$), 사육 12주째 1~5마리 실험구(D1~D5)와 10마리 실험구(D10)와는 유

의한 성장 차이를 보였다($P<0.05$). 1~5마리 실험구(D1~D5)간에는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

동일한 수용밀도에서 사육기간별 체중성장 결과는 [Fig. 3]과 같다. 수용밀도에 관계없이 사육기간이 경과할수록 전 실험구간에서 체중 성장이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 수용밀도 D1과 D2 실험구의 경우 사육 8주까지는 유의한 체중성장의 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), 12주째는 8주와 유의한 차이를 보였다($P>0.05$). 수용밀도 D3~D10의 실험구에서는 4주마다 체중성장의 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

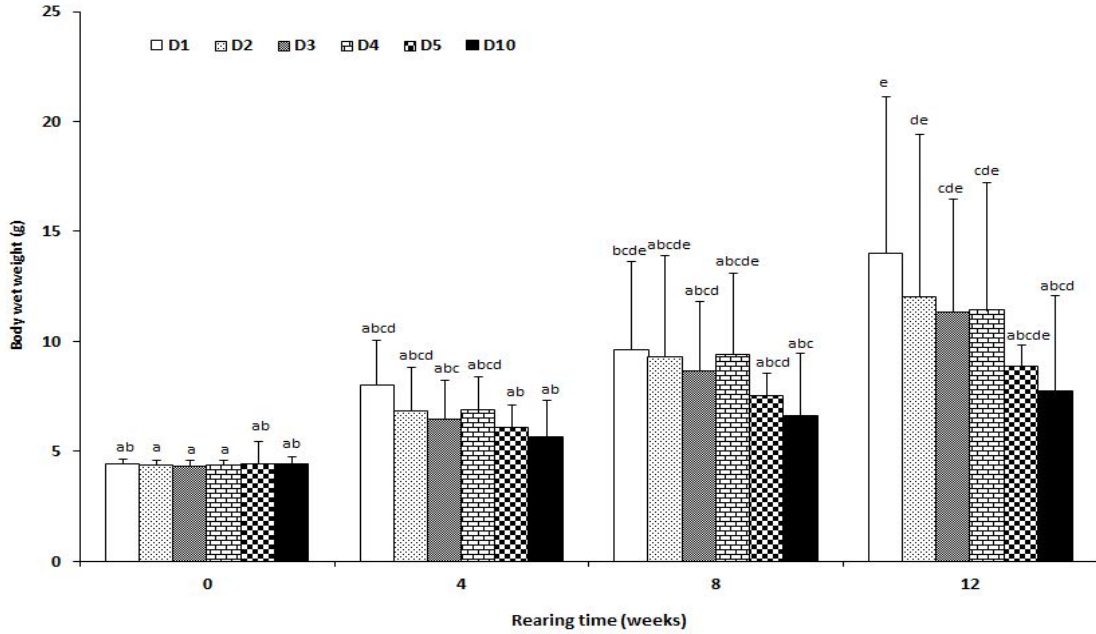
어린 돌기해삼을 수용밀도를 달리하여 12주간 사육한 SGR(%d⁻¹) 결과는 [Fig. 4]와 같다. SGR(%d⁻¹)은 D1 실험구에서 2.5로 가장 높았고, D2 실험구 2.0, D3 실험구 1.9, D4 실험구 1.8, D5 실험구 1.1, D10 실험구에서 0.8로 수용밀도가 높을수록 낮은 값을 보였다. 수용밀도 D1~D5 실험구는 체중성장에 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). D10 실험구의 경우 D2~D5와 유의한 차이를 보이지 않았지만($P>0.05$), D1 실험구와는 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

3. 생존

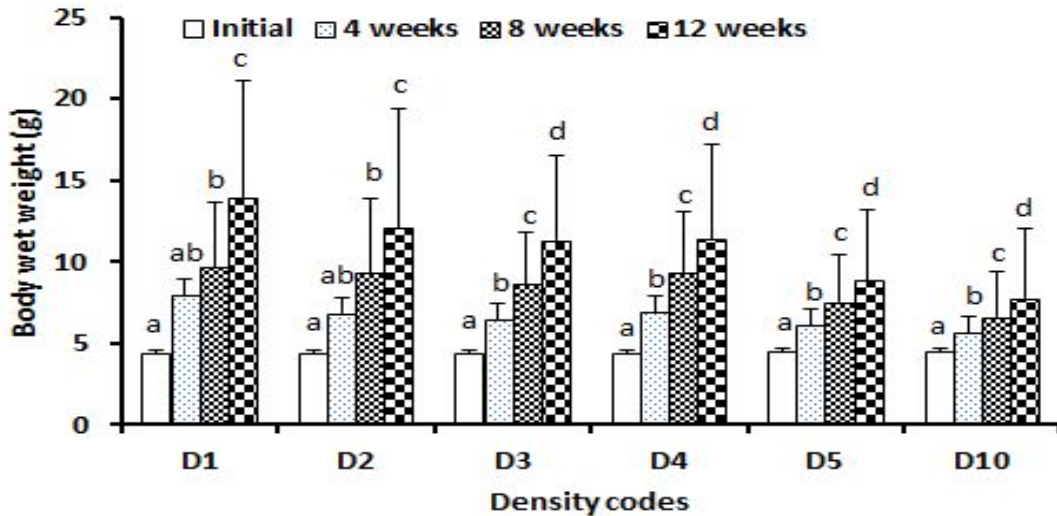
어린 돌기해삼의 사육기간에 따른 수용밀도별 생존율은 <Table 5>와 같다. 개시기부터 사육 4주까지 전 실험구에서, 사육 8주째 D1~D3 실험구에서 그리고 12주째 D3 실험구에서 생존율은 100%였다.

<Table 4> Water temperature, salinity, DO(dissolved oxygen) and pH in the experimental period

Rearing time (weeks)	Water temperature (°C)	Salinity (psu)	Do (mg/L)	pH
0~4	8.0±0.6	35.1±0.2	8.9±0.9	-
4~8	9.6±0.9	34.6±0.9	8.3±0.8	8.2±0.1
8~12	13.2±0.9	34.3±0.1	8.9±0.8	8.2±0.1

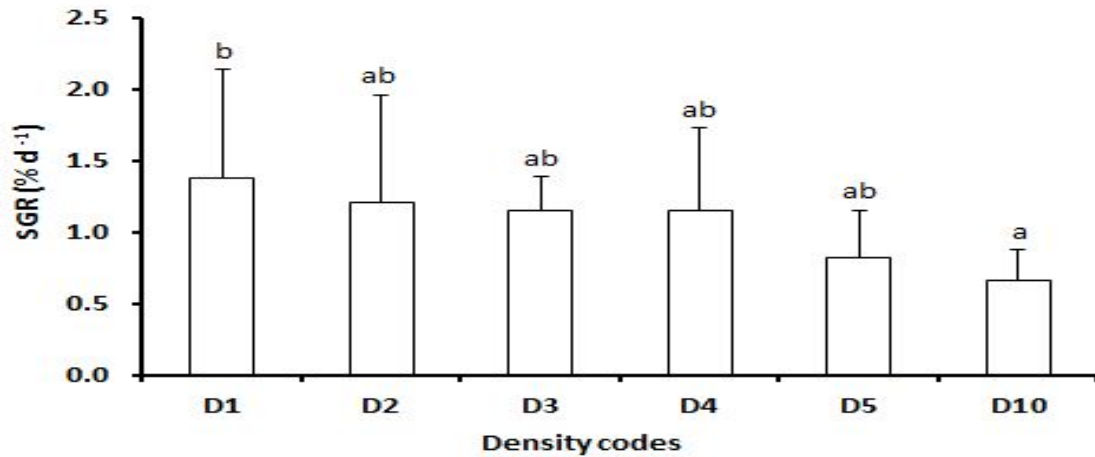


[Fig. 2] Growth of body weight of *Apostichopus japonicus* in different rearing times. Different letters indicate significant differences between treatments at the same time ($P < 0.05$) and bars represent standard errors of the means.



[Fig. 3] Growth of body weight of *Apostichopus japonicus* in different density treatments. Different letters indicate significant differences between treatments at the same time ($P < 0.05$) and bars represent standard errors of the means.

육상 다단식 사육시스템을 이용한 어린 돌기해삼 (*Apostichopus japonicus*)의 수용밀도에 따른 성장과 생존



[Fig. 4] Specific growth rates(SGR) of *Apostichopus japonicus* in different density treatments. Different letters indicate significant differences($P<0.05$) and bars represent standard errors of the means.

<Table 5> The survival rate(%) of *Apostichopus japonicus* in different density treatments

Density codes	Rearing time(weeks)			
	0 (Din/Iin)	4 (Din/Iin)	8 (Din/Iin)	12 (Din/Iin)
D1	100.0 ^a (0/10)	100.0 ^a (0/10)	100.0 ^{ab} (0/10)	90.0 ^{ab} (1/10)
D2	100.0 ^a (0/20)	100.0 ^a (0/20)	100.0 ^a (0/20)	90.0 ^{ab} (2/20)
D3	100.0 ^a (0/30)	100.0 ^a (0/30)	100.0 ^a (0/30)	100.0 ^a (0/30)
D4	100.0 ^a (0/40)	100.0 ^a (0/40)	97.5 ^a (4/40)	95.0 ^{ab} (2/40)
D5	100.0 ^a (0/50)	100.0 ^a (0/50)	94.0 ^{ab} (3/50)	94.0 ^{ab} (3/50)
D10	100.0 ^a (0/100)	100.0 ^a (0/100)	82.0 ^{bc} (18/100)	72.0 ^c (28/100)

* Din: dead individuals number, Iin: initial individuals number

12주째 수용밀도별 최종 생존율은 D1과 D2 실험구에서 90%, D4 실험구에서 95%, D5 실험구에서 94%였다. D10 실험구는 8주째에 82%, 12주째 72%로 가장 낮은 생존율을 보였다. 개시기부터 사육 4주까지는 모든 실험구에서 수용밀도에 따른 생존율이 유의한 차이를 보이지 않았지만 ($P>0.05$), 사육 8주째 D2~D4와 D10 실험구와는 차이를 보였다($P<0.05$). 사육 12주째 D1~D5 실험구간에는 유의한 차이가 없었으나($P>0.05$), D1~D5 실험구와 D10 실험구와는 차이를 보였다($P<0.05$).

IV. 고찰

동물의 성장에 영향을 미치는 요인들은 환경, 유전, 사회적 상호작용 등 매우 다양하다 (Seymour 1984; Sloman et al., 2000; Qian et al., 2002). 해삼은 수온의 변화에 따라 성장에 많은 영향을 받으며, 해삼의 성장 적정수온은 Dong et al.(2006)은 12~18℃, Yu and Song(1999)은 15~18℃, Yang et al.(2005)은 14~15℃, Chen et al.(2007)은 15℃, 그리고 Kang et al.(2012)은 8~15℃로 보고하였다. Dong et al.(2006)은 수온 1

2°C부터 24°C까지 3°C간격으로 실험구를 설정하여 평균체중 9.02 ± 0.56 g 어린 돌기해삼을 39 L 수조에 4마리씩 넣고 70일 동안 사육한 결과, 수온별 SGR(%day⁻¹)은 12°C에서 1.41, 15°C에서 1.48, 18°C에서 1.48, 21°C에서 1.42 그리고 24°C에서 0.99로 18°C까지는 수온이 높아질수록 빠른 성장을 보였으나 21°C 이상에서는 수온이 높을수록 성장이 늦어지는 경향을 보였다. 이 실험에서 사육밀도는 약 1마리/10 L로 본 실험의 D1 실험구와 사육밀도는 같지만 SGR은 2.5로 본 실험에서 성장이 빠른 것으로 나타났다. 이는 수온의 차이, 실험방법, 먹이종류 및 공급량 그리고 사육기간 등이 달라 차이가 있는 것으로 생각된다.

염분농도는 해삼의 생존과 성장에 영향을 미치며, 염분농도가 서서히 감소 할 경우 생존에 적합한 환경을 찾아 이동하지만, 급격한 염분농도 감소는 대량 폐사가 일어난다(Liao, 1997; Dong et al., 2008). Kim et al.(2013)은 염분농도 25~35 psu에서 해삼의 생존에 영향을 미치지 않으며, Chen et al.(2007)은 적정 염분농도는 29~33 psu이고, 최적 염분농도는 32 psu로 보고하였다. 본 실험기간 동안의 수온은 7.1~15.2°C로 대부분 해삼이 성장하기 적합한 수온으로 사육기간이 경과할수록 성장이 이루어졌으며, 염분농도는 33.9~35.5 psu로 Jin et al.(2013)이 보고한 염분농도 범위 내에 있어 염분농도가 해삼의 생존과 성장에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

해삼 성장에 있어 수용밀도는 개체의 성장과 생존율을 좌우하는 중요한 요인이며(Dong et al., 2010), 수용밀도가 높을수록 성장이 늦다고 보고되고 있다(Pei et al., 2012; Yokoyama, 2013). Pei et al.(2012)은 40 L 수조에 평균체중 약 7 g 크기의 어린 돌기해삼을 1, 2, 4, 6, 8마리씩 수용하여 수온 17°C에서 40일간 사육한 결과, 수용밀도가 높을수록 SGR의 값이 낮아지는 경향을 보였으며, 수용밀도 4마리와 8마리에서 SGR은 각각 약 1.0과 0.7로 보고하였다. 본 실험결과에서 동일한 밀도인 D1과 D2의 SGR은 2.5와 2.0으로 Pei et

al.(2012)의 결과보다 성장이 빠른 것으로 나타났다. Dong et al.(2010)은 100 L 수조에서 평균체중 5.12~6.11 g 크기의 어린 돌기해삼을 5, 10, 20, 30, 40, 50마리씩 수용하여 수온 17°C에서 50일간 사육한 결과, 20마리/100 L에서 평균체중이 가장 높은 값을 보였으며, 이를 20마리를 전후로 감소하는 동물 개체군의 Allee의 효과로 볼 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 Allee의 효과가 나타나지 않았으며, Dong et al.(2006)과 Pei et al.(2012)의 연구결과와 같이 사육밀도가 증가할수록 낮은 SGR 값을 보였다.

Dong et al.(2010)은 수용밀도에 의한 생존율을 조사하기 위해 100 L의 유리수조에서 사육수의 환경조건을 수온 17 ± 0.5 °C, 염분 28~30 psu, DO 5.0 mg/L 이상, pH 7.8~8.2로 해삼의 생존에 영향이 없는 조건으로 맞춘 후 수용밀도 5, 10, 20, 30, 40 및 50마리를 설정하여 50일 동안 사육한 결과 수용밀도 5~20마리까지는 100%의 생존율을 보였고, 수용밀도 30마리 이상에서는 시간이 지남에 따라 최대 80%까지 생존율이 감소함을 보고하였다. 본 연구 역시 수용밀도에 의한 생존율의 차이는 있지만, 밀도가 높을수록 생존율이 감소하는 경향을 보이고 있었다. 특히 D10 실험구에서 생존율의 유의적인 감소가 나타났으며, 수질 및 먹이 부분이 미치는 영향은 적어 보인다. 요각류 및 기생충은 관찰되지 않았고, 폐사한 해삼이 대부분 체표가 하얗게 벗겨지는 것으로 보아 마찰 등으로 인한 피부 손상 부위에 세균 등 2차 감염이 이루어졌을 것으로 보이지만 이 부분에 대한 추가 실험을 진행하지 않아 정확히 언급하기는 힘들다.

본 연구에서 해삼 육상양식의 경우 육상수조 내 수용밀도는 수조의 바닥 및 옆면 등을 고려했을 때 0.05마리/m² 이내가 가장 양호한 결과를 보였다. 또한 본 사육시스템으로 고밀도 사육이 가능함을 확인하였으며, 향후 해삼의 육상수조식 양식연구에 중요한 참고자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

V. 요약

12주 동안 육상 다단식 사육시스템을 이용하여 어린 돌기해삼의 성장, 생존율 및 적정 수용밀도를 알아보고자 하였다. 10 L 사육수조에 습중량 4.3~4.5 g의 어린 돌기해삼을 1, 2, 3, 4, 5 및 10 마리씩 수용하여(각각 D1, D2, D3, D4, D5, D10으로 표기) 수용밀도별로 10단씩 쌓아 실험을 하였다. 체중성장과 생존율은 매 4주마다 조사하였다. 어린 돌기해삼의 수용밀도에 따른 성장은 수용밀도가 낮을수록 빠른 경향을 보였으며, 개시기부터 사육 8주까지는 수용밀도에 따른 성장의 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). 사육 12주째는 D1~D5 실험구간에는 유의한 차이가 없었으나($P>0.05$), D1과 D10간에는 유의한 차이를 보였다($P<0.05$). 생존율은 모든 실험구에서 12주째 72~100%로 수용밀도 D1~D5 실험구간에는 유의한 차이가 없었으나($P>0.05$), D1~D5와 D10 실험구와는 차이를 보였다($P<0.05$). 따라서 육상 다단식 사육시스템을 이용한 어린 돌기해삼의 적정 수용밀도는 성장과 생존율을 고려할 때 0.05마리/ m^2 이내로 판단된다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 17th edition. Cunniff, p ed. Association of official analytical chemists, Inc, Arlington, VA, U.S.A.
- Byrne, M.(2001). The morphology of autotomy structures in the sea cucumber, *Eupentacta quinquesemita* before and during evisceration. Journal of Experimental Biology, 204, 849~863.
- Chen, Y. · Gao, F. · Liu, G. S. · Shao, L. P. and Shi, G. F.(2007). The effects of temperature, salinity and light cycle on the growth and behavior of *Apostichopus japonicus*. Journal of Fisheries of China, 5, 687~691 (in Chinese with English abstract).
- Dong, S. · Liang, M. · Gao, Q. · Wang, F. · Dong, Y. and Tian, X.(2010). Intra-specific effects of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* with reference to stocking density and body size. Aquaculture research, 41, 1170~1178.
- Dong, Y. W. · Dong, S. L. and Meng, X. L.(2008). Effects of thermal and osmotic stress on growth, osmoregulation and Hsp70 in sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka. Aquaculture, 276, 179~186.
- Dong, Y. W. · Dong, S. L. · Tian, X. L. · Wang, F. and Zhang, M. Z.(2006). Effects of diel temperature fluctuations on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. Aquaculture, 255, 514~521.
- 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>.
- Ji, T. · Dong, T. and Dong, S.(2008). Growth and physiological responses in the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka: Aestivation and temperature. Aquaculture, 283, 180~87.
- Jin, F. · Choi, J. K. · Jeong, U. C. · Anisuzzaman, Md. · Ryu, C. H. · Choi, B. D. and Kang, S. J.(2016). Effects of fermented fecal solid diets on growth of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 49(2), 161~167.
- Jin, Y. G. · Oh, B. S. · Park, M. W. · Cho, J. K. · Jung, C. C. and Kim, T. I.(2011). Survival and Growth of the Abalone, *Haliotis discus hannai* and Sea Cucumber, *Stichopus japonicus* Co-cultured in Indoor Tank. Korean Journal of Malacology, 27(4): 331~336. (in Korean)
- Kang, S. J. · Kang, S. W. · Kang, J. H. · Jeong, W. C. · Jin, S. D. · Choi, B. D. and Han, J. C.(2012). Sea cucumber aquaculture technology. Aquainfo, 426pp.
- Kim, T. I. · Park, M. W. · Cho, J. K. · Son, M. H. and Jin, Y. G.(2013). Survival and histological change of integumentary system of the juvenile sea

- cucumber, *Apostichopus japonicus* exposed to various salinity concentrations. JFMSE, 25(6), 13620~1365.
- Lee, C. S. 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, (in Korean).
- Liao, Y. L.(1997). Fauna Sinica: Phylum Echinodermata Class Holothuroidea. Science Press, Beijing, 21~37.
- Park, K. J. · Park, Y. J. · Kim, S. K. · Choi, S. D. · Kim, Y. G. and Choi, N. H.(2007). Histological study on the reproductive cycle of *Stichopus japonicus* in the West coast of Korean. Journal of Aquaculture, 20, 26~30, (in Korean).
- Pei, S. · Dong, S. · Wang, F. · Tian, X. and Gao, Q.(2012). Effects of density on variation in individual growth and differentiation in endocrine response of Japanese sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka. Aquaculture, 356~357, 398~403.
- Qian, X. · Cui, Y. · Xie, S. · Lei, W. · Xiong, B. and Yang, Y.(2002). Individual variations in growth, food intake and activity in juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* Gray. Journal of Applied Ichthyology, 18, 695~698.
- Seo, J. Y. · Kim, D. G. · Kim G. U. · Cho, S. S. · Park, H. G. and Lee, S. M.(2009). Effect of different substrates in the rearing tank on growth and body composition of juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Journal of Aquaculture, 22(1), 118~121. (in korean)
- Seymour, E. A.(1984). High stocking rates and moving water solve the grading problem. Fish Farmer, 7, 12~14.
- Sloman, K. A. · Gilmour, K. M. · Taylor, A. C. and Metcalfe, N. B.(2000). Physiological effects of dominance hierarchies within group of brown trout, *Salmo trutta*, held under simulated natural conditions. Fish Physiology and Biochemistry, 22, 11~20.
- Sui, X.(1989). The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Oceanology and Limnology, 20, 314~321.
- Takahashi, A. and Okumura, S.(2012). Holothuroidea. 成山堂. Japan. www.seizando.co.jp. 227p. (in Japan)
- Tanaka Y.(1958). Seasonal changes occurring in the gonad of *stichopus japonicus*. Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 9, 29~36.
- Xing, J. and Chia, F. S.(1997). Heavy metal accumulation in tissue/organs of a sea cucumber, *Holothuria aeucoopilota*. Hydrobiologia, 352, 17~23.
- Yang, H. S. · Yuan, X. · Zhou Y. · Mao Y. · Zhang T. and Liu, Y.(2005). Effects of body size and water temperature on food consumption and growth in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Slenka) with special reference to aestivation. Aquaculture Research, 36, 1085~1092.
- Yang, H. · Zhou, Y. · Zhang, T. · Yuan, X. · Li, X. · Liu, Y. and Zhang, F.(2006). Metabolic characteristics of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka during aestivation. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 330, 505~510.
- Yokoyama, H.(2013). Growth and food source of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured below fish cages: Potential for integrated multi-trophic aquaculture. Aquaculture 372~375, 28~38.
- Yu, D. and Song, B.(1999). Variation of survival rates and growth characteristics of pond cultural juvenile *Apostichopus japonicus*. Journal of Fisheries Sciences of China, 6, 119~120, (in Chinese with English abstract).
- 謝忠明 · 隋錫林(2004). 海參 海胆增養植技術. 金盾出版社. 257p. (in Japan)

-
- Received : 03 August, 2016
 - Revised : 21 September, 2016
 - Accepted : 27 September, 2016