

육상수조에서 돌기해삼, *Stichopus japonicus*의 성장 및 생존율

김철원¹, 허준욱^{2*}

한국농수산대학, 생물모니터링센터

Survival and Growth of Sea Cucumber(*Stichopus japonicus*) in Indoor Tank

C. W. Kim¹ and J. W. Hur^{2*}

¹Korea National College of Agriculture and Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54874, Korea

²Bio-Monitoring Center, B-325, 232 Gareum-ro, Sejong-si, 30121, Korea

Abstract

We assessed the effects of population density on the growth and survival rate of sea cucumber(*Stichopus japonicus*) in indoor tank. Growth of *S. japonicus* in high density breeding was slow overall, and body weight on 250, 350 and 500 individual/m² group were 31.9g, 26.8g and 21.5g, respectively. The growth rate of body weight was 3.5~5.1 times according to the density of water, and the survival rate was 44.2~50.1%. The growth and survival rate were increased as decreasing the storage density. During the breeding season, small individuals tend not to be large and constantly culled, so it is necessary to set up the sorting period (etc.), and divide *S. japonicus* into groups of similar size.

Key words : Density, Growth, Sea cucumber, *Stichopus japonicus*, Survival rate

* 교신저자 한국농수산대학 dvmpys@korea.kr

I. 서론

우리나라의 돌기해삼(*Stichopus japonicus*) 생산량은 1990년 2,491톤(65억)으로부터 1995년 1,892톤, 2001년 900톤, 2002년 833톤으로 감소하였다. 생산량은 이후 조금씩 증가하는 추세를 보였으며, 2000년대 중반부터 인공종묘생산 기술이 개발되었고, 해삼 자원의 방류사업을 지속적으로 시도하였다. 이 결과로 2005년에는 1,136톤, 2007년 2,936톤, 2010년 2,687톤, 2011년도에는 6,125톤으로 증가하였다. 이에 따른 해삼 생산금액도 점차적으로 증가하는 경향을 나타냈다(강 등, 2012).

해삼은 극피동물문 해삼강에 속하는 해양 무척추동물로 약효가 인삼과 같다고 하여 이름이 붙여졌다. 우리나라 전 연안에 분포하며 수심 10 m 이내의 다양한 저서환경에 서식한다. 수온 17°C 이하에서 먹이활동이 왕성하고, 21°C 이상에서는 먹이활동을 중지하며, 24°C 이상이 되면 하면을 한다. 우리나라에 서식하는 해삼은 4과 14종으로 알려져 있다(Lee and Park, 1999; 강 등, 2012).

해삼은 부가가치가 매우 높은 양식 대상으로 해양수산부 10대 전략 품종이며 산업화를 위한 기술개발이 필요한 상황이다. 특히 거대 소비 시장인 중국에서는 해삼이 샹크스핀급의 보양식으로 각광 받아왔고, 경제성장과 맞물려 최근 소비량이 급증하고 있다. 이처럼 수출 잠재력이 큰 전략 품종이기 때문에 생산량 증대를 위하여 계획 생산 및 생물의 관리가 용이한 육상양식 대량 생산 양식기술 개발과 현장에서 적용 가능한 표준 모델 개발이 필요하다. 지금까지 국내에서는 육상수조 양식기술은 미진한 상태로 안정적인 계획 생산을 위해서는 개발이 필요한 실정이다. 국내의 해삼양식은 살포식과 축제식 위주로 진행되고 있으나 큰 성과를 거두지 못하고 있다(탄해수산연구소, 2011, 2012).

향후 국내외 해삼 소비량이 지속적으로 증가될

것으로 보이기 때문에 빠른 시일 내에 우리나라 해삼 양식 기술을 발전시킬 수 있는 사육방법 및 기술의 확보가 이루어 져야 한다. 이전에 서해안 육상 수조식 양식장에서는 어류 종묘생산 및 중간육성을 많이 실시하였다. 그러나 현재는 종묘생산 기술의 발전으로 종묘생산 및 중간육성을 대규모로 시행하고 있어 많은 육상 수조 양식장이 휴경하고 있다(장 등, 1995). 이러한 시설을 육상 수조식 해삼 양식에 활용하여 성장 및 경제성 평가를 연구하여, 가치가 있다면 어업인들에게 많은 이득이 될 수 있을 것이다. 그러나 현재 이러한 사육방법 및 기술이 확보되어 있지 못한 상황이 라 연구가 필요하다.

육상 수조 양식은 안정적인 계획 생산과 생물의 관리가 용이하여 효율적인 운영이 가능한 양식기술이다. 육상 수조양식은 축제식과 씨뿌림 양식에 비하여 생산성은 낮지만 관리적 측면에서는 장점이 있으며, 타 양식품종(전복, 넙치 등)의 양식장을 재활용 가능하여 경제적 측면의 효율성이 높다(강 등, 2012). 따라서 육상양식과 식품·가공 단지화를 통하여 새로운 일자리 창출과 더불어 수출 전략형 산업으로 육성할 필요성이 있다.

본 연구에서는 육상 수조식 양식장에서 해삼의 밀도에 따른 성장 및 생존율을 조사하여 효과적인 사육기술 개발 및 고밀도 육상 양식 기술 개발을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

사육수조는 28.6톤 PP원형수조 3개를 이용하였으며, 은신처 기질은 시험 시작 시부터 2014년 3월까지 전복파판(크기 60×50×15cm, 20장)을 이용하고, 이후부터는 자체 제작한 shelter를 이용하였다. 시험에 사용된 해삼종묘는 전남 완도군 완도읍 개인 양식장에서 생산된 평균체중 6.2±3.5g 이었다.

고밀도 사육시험은 사육밀도를 달리한 실험구를 설정하였고, 사육밀도는 250마리/m², 350마리/m², 500마리/m²로 수조당 총 7,500마리, 10,500마리, 15,000마리였다.

해수는 자연해수를 30 µm의 모래여과기 및 10 µm의 필터백으로 2차 여과시킨 다음 사육수조에서 매일 50%를 환수하는 반수식 방식으로 사육하였다. 사육수조 청소는 5일 마다 실시하였고, 해수를 전량 환수 및 수조 바닥을 깨끗이 청소하였다. 사육수조의 수질측정은 수온, 염분, 용존산소, pH를 YSI (556MPS)를 이용하여 사료 공급 전 측정하였고, 총유기탄소(total organic carbon, TOC), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 총질소 및 총인을 매월 1회 분석하였다. 공기공급은 용존산소량이 5 ppm 이상 유지되도록 기포하였으며, 각 수조마다 해삼 성장에 적합하게 수조 위에 검은 차광막(차광률 95%)을 설치하여 항상 어둡게 해주었다.

해삼 공급 사료는 배합사료와 해조류(지충이, 미역 및 다시마 분말 등)를 6:4의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 발효대두박, 효모분, 새우살, 글루텐분, 칼슘, 항산화제, 면역강화제 및 미량원소 등은 사료 전체 중량의 약 0.5%씩 혼합하여 사용하였다. 배합사료 성분은 단백질 ≥13.0%, 지질 ≥2.0%, 조섬유 ≤5.0%, 조회분 ≤50.0, 칼슘 1.0~4.5% 및 인 ≥0.8%인 중국산 사료를 사용하였다. 각 수조에 공급되는 사료량은 밀도와 성장에 따라 달리하였으며, 최초 공급량은 2.0kg/50마리/m² 이었다. 그리고 성장함에 따라 공급량을 증가하여 12월 말에는 4.0kg/50마리/m² 씩 공급하였다. 해삼 사료는 발효를 위하여 1일 전에 제조하여 공기를 공급하여 다음날 공급하였다. 공급은 발효 사료를 망(망목 50µm)으로 걸러서 크기가 일정한 먹이를 매일 오전 10시와 오후 17시에 공급하였다. 사료 공급 후 해수 유입을 중단하였으며, 약 2~3시간 후에 해수를 유수하였다.

해삼의 성장조사는 매일 1회 무작위로 100마리

씩 측정하였으며, 이때 해삼 크기별 선별하였다. 150일 및 240일째는 전량 측정을 실시하였으며, 생존율 및 사료효율 등을 분석하였다. 사료 섭취율, 일간 성장률, 체중 성장률, 사료 전환효율 및 일간 사료 섭취율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{사료 섭취율} = \frac{(\text{총 사료 공급량} \times 100)}{(\text{사육일수} \times \text{수용 개체수}) \times 1000}$$

$$\text{일간 성장률} = \frac{((\text{종료 시 평균무게} - \text{개시 시 평균무게}) \times 100)}{(\text{사육일수}) / 100}$$

$$\text{체중 성장률} = \frac{(\text{종료 평균체중} - \text{개시 평균체중}) / \text{개시 평균체중} \times 100}{\text{사육일수}}$$

$$\text{사료 전환효율} = \frac{\text{일간 성장률} \times 100}{\text{일간 사료 섭취율}}$$

$$\text{일간 사료 섭취율} = \frac{(\text{사료 섭취량} \times 100)}{(\text{처음 총 무게} + \text{종료 무게} - \text{죽은 무게}) / 2} \times \text{사육일수}$$

III. 결과 및 고찰

해삼 사육수조의 수질환경 조사 결과는 Table 1 및 2와 같다. 수온은 2013년 12월 13일에 9.4°C로 가장 낮았으며, 2014년 8월 21일에 26.3°C까지 상승하였다. 이후 지속적으로 감소하여 2014년 11월 28일에는 12.5°C를 나타내었다. 염분은 사육기간 동안 30.7~32.9ppt를 나타내었다. 5월부터 염분이 다소 낮아진 경향을 보이다가 9월 이후 상승하였으며, 해삼 사육에 지장을 줄 수 있는 염분은 아니었다. 용존산소는 사육 기간 동안 7.0~11.6mg/L의 범위를 나타냈으며, 수온이 낮은 시기에 다소 높은 값을 보였으나, 해삼이 성장하는데 지장을 줄 수 있는 값은 아니었다. pH는 7.1~8.9의 범위로 모든 수조에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 일반적인 해수에서 나타나는 pH 값을 보여주었다. 전체적으로 pH 값은 해삼 성장에 문제가 없는 것으로 나타났다.

Table 1. Water temperature, salinity, dissolved oxygen(DO) and pH values on sea cucumber, *Stichopus japonicus*

Parameters	Density breeding		
	250 individual/m ²	350 individual/m ²	500 individual/m ²
Temperature (°C)	9.4~26.3	9.4~26.3	9.4~26.2
Salinity (ppt)	31.2~32.9	30.7~32.9	31.2~32.9
DO (mg/L)	7.0~11.4	7.1~11.6	7.1~11.5
pH	7.1~8.7	7.2~8.8	7.2~8.9

Table 2. TOC, COD, total nitrogen and phosphorus on sea cucumber, *Stichopus japonicus*

Parameters	Economical high-density breeding		
	250 individual/m ²	350 individual/m ²	500 individual/m ²
TOC (mg/L)	2.45~3.66	2.62~3.86	2.33~4.03
COD (mg/L)	3.45~4.70	3.93~6.26	4.02~7.28
Total nitrogen (mg/L)	0.87~1.26	0.95~1.60	0.85~1.56
Total phosphorus (mg/L)	0.07~0.10	0.06~0.12	0.06~0.11

TOC의 경우 모든 실험구에서 2.33~4.03 mg/L의 범위를 나타내었다. 최저값과 최대값은 500마리/m² 실험구에서 나타났다.

COD는 사육기간 동안 전체 실험구에서 3.45~7.28mg/L의 범위로 나타났으며, 고밀도 사육 실험구에서 비교적 높게 나타났는데 이것은 사육 중 사료 공급에 따른 결과로 보인다. 총질소는 수용밀도에 따른 고밀도 사육 실험구는 0.85~1.60 mg/L로 나타나 비슷한 결과를 보였다. 총인인 경우 전체 수조에서의 범위는 0.06~0.12mg/L로 나타났다.

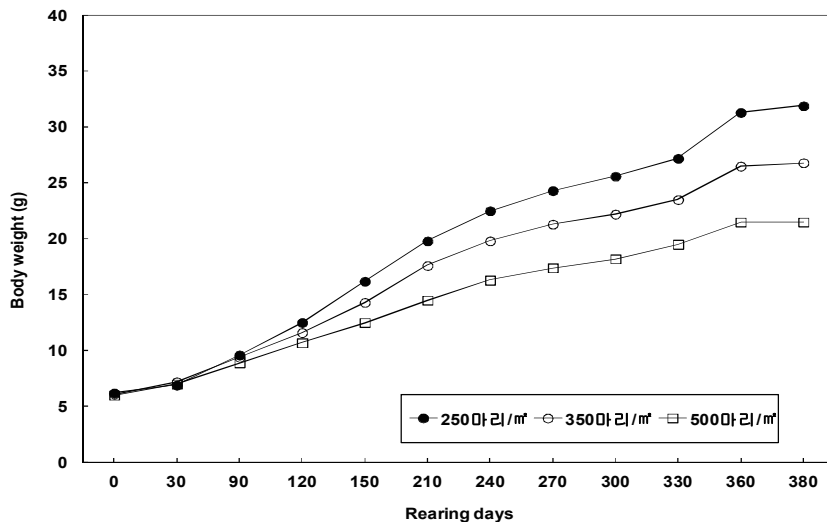
해삼의 생태는 수온에 따라 크게 활동기와 하면기로 나누어지는데 활동기는 10~16°C이고, 하면기는 24°C 이상이라고 보고하였는데 본 연구에서도 유사한 수온범위가 나타났다(강 등, 2012). 해삼은 염분 28~34ppt에서 가장 안정적인 서식 및 성장을 나타낸다고 하였는데, 본 연구에서는 염분 31~33ppt로 안정적인 서식염분이 조성되었다(강 등, 2012). 용존산소는 5.0mg/L 이상일 때 해삼의 서식에 적합하고, pH는 8.3~8.8이 안정적인 서식범위라고 보고하였으며 본 연구에서는

pH7.1~8.9 및 용존산소농도 7.0~11.6으로 나타나 해삼의 고밀도 양식에 대한 안정적인 환경이 조성되었다(강 등, 2012). 그 외 해삼의 서식 조건에 대한 해외의 선행연구 결과들을 조사한 결과, 중국은 산둥지역의 해삼양식단지에서 방류 해삼 서식지 조건을 10~15°C로 우리나라와 같은 조건에서 해삼의 서식에 적합하다고 하였다(강 등, 2012). 일본의 아오모리현 수산종합연구소에서는 2~10°C가 되는 시기가 방류 해삼의 서식 조건에 부합한다고 보고하였다(靑森県水産業技術センター, 2012a 및 2012b). 중국에서는 염분이 27 ppt 이상의 조건이 방류 해삼의 서식 조건으로 적합하다고 보고하였다(강 등, 2012).

수용밀도에 따른 해삼의 성장을 조사한 결과, 250마리/m² 실험구는 시험개시 시 6.2±3.5g에서 30일 후 6.9±3.8g, 90일째 9.6±4.7g, 120일째 12.5±5.8g, 150일째 16.2±7.1g, 210일째 19.8±6.6g, 240일째 22.5±10.9g, 270일째 24.3±11.5g, 300일째 25.6±9.8g, 330일째 27.2±10.3g, 360일째 31.3±13.2g으로 성장하였으며, 실험 종료 시인 380일째에는 31.9±18.3g으로 확

Table 3. Growth of sea cucumbers, *Stichopus japonicus* in different density breeding

Day (date) after growing	250 individual/m ²		350 individual/m ²		500 individual/m ²	
	Mean body weight (g)	Growth rate per day (%/day)	Mean body weight (g)	Growth rate per day (%/day)	Mean body weight (g)	Growth rate per day (%/day)
0 (2013. 10. 26)	6.2±3.5	-	6.2±3.5	-	6.2±3.5	-
30 (2013. 11. 24)	6.9±3.8	0.04	7.2±2.5	0.05	7.0±2.7	0.04
90 (2014. 1. 23)	9.6±4.7	0.06	9.4±4.7	0.06	8.9±4.2	0.05
120 (2014. 2. 26)	12.5±5.8	0.05	11.6±5.3	0.05	10.7±4.9	0.04
150 (2014. 4. 3)	16.2±7.1	0.07	14.3±6.1	0.05	12.5±5.5	0.04
210 (2014. 5. 26)	19.8±6.6	0.08	17.6±7.2	0.06	14.5±6.0	0.05
240 (2014. 7. 2)	22.5±10.9	0.08	19.8±9.1	0.07	16.3±7.3	0.05
270 (2014. 8. 5)	24.3±11.5	0.07	21.3±9.7	0.06	17.4±9.1	0.04
300 (2014. 9. 5)	25.6±9.8	0.06	22.2±9.5	0.05	18.2±8.4	0.04
330 (2014. 10. 4)	27.2±10.3	0.06	23.5±9.1	0.05	19.5±8.0	0.04
360 (2014. 11. 7)	31.3±13.2	0.07	26.5±11.0	0.06	21.5±8.8	0.04
380 (2014. 11. 28)	31.9±18.3	0.07	26.8±14.6	0.05	21.5±16.4	0.04

**Fig. 1. Change of body weight in high density breeding of sea cucumbers, *Stichopus japonicus***

인되었다. 350마리/m² 실험구는 30일 후 7.2±2.5g, 90일째 9.4±4.7g, 120일째 11.6±5.3g, 150일째 14.3±6.1g, 210일째 17.6±7.2g, 240일째 19.8±9.1g, 270일째 21.3±9.7g, 300일째 22.2±9.5g, 330일째 23.5±9.1g, 360일째 26.5±11.0g 및 380일 경과 후 26.8±14.6g으로 성장하

였다. 500마리/m² 실험구는 개시 시 6.2±3.5g에서 30일 후 7.0±2.7g, 90일째 8.9±4.2g, 120일째 10.7±4.9g, 150일째 12.5±5.5g, 210일째 14.5±6.0g, 240일째 16.3±7.3g 및 270일째 17.4±9.1g, 300일째 18.2±8.4g, 330일째 19.5±8.0g, 360일째 21.5±8.8g 및 380일 경과 후에는

Table 4. Survival rate of sea cucumber, *Stichopus japonicus* in different density breeding

Day (date) after growing	250 individual/m ²		350 individual/m ²		500 individual/m ²	
	Population (individual)	Survival rate (%)	Population (individual)	Survival rate (%)	Population (individual)	Survival rate (%)
0 (2013. 10. 26)	7,500	100	10,500	100	15,000	100
30 (2013. 11. 24)	-	-	-	-	-	-
90 (2014. 1. 23)	-	-	-	-	-	-
120 (2014. 2. 26)	-	-	-	-	-	-
150 (2014. 4. 3)	5,741	76.5	7,727	73.6	10,400	69.3
210 (2014. 5. 26)	-	-	-	-	-	-
240 (2014. 7. 2)	4,545	60.6	6,069	57.8	8,110	54.1
270 (2014. 8. 5)	-	-	-	-	-	-
300 (2014. 9. 5)	-	-	-	-	-	-
330 (2014. 10. 4)	4,273	57.0	5,620	53.5	7,480	49.9
360 (2014. 11. 7)	-	-	-	-	-	-
380 (2014. 11. 28)	3,758	50.1	4,997	47.6	6,633	44.2

21.5±16.4g으로 성장하였다. 380일간의 일간성장률(%/일)은 250마리/m² 실험구가 0.07, 350마리/m²는 0.05 및 500마리/m² 실험구에서 0.04로 수용밀도가 높을수록 성장이 느린 것으로 나타났다(Table 3, Fig. 1). 전체적으로 380일 동안 사육한 결과 250마리/m² 실험구는 약 5.1배, 350마리/m² 실험구는 약 4.3배 및 500마리/m² 실험구에서는 3.5배의 성장을 보여, 수용밀도가 낮을수록 빠른 성장을 보였다. 또한 사육 기간 동안 작은 개체는 지속적으로 크지 않고 큰 것에 비하여 도태되는 경향을 보여주었다.

밀도 사육 실험구의 개체수 및 생존율을 살펴보면, 250마리/m² 실험구는 시험 개시 시 7,500마리에서 150일 후 5,741마리로 76.5%의 생존율을 보였으며, 240일째 4,545마리 및 생존율 60.6%를 나타내었다. 이후 330일째 조사에서는 4,273마리로 생존율 57.0%를 나타냈으며, 380일 경과 후에는 3,758마리 및 생존율 50.1%로 확인되었다. 350마리/m² 실험구는 10,500마리에서 150일 후 7,727마리로 생존율 73.6%를 나타냈으며, 240일째는 6,069마리 및 생존율 57.8%, 330일째는 5,620마리 및 생존율 53.5%였고, 380일

경과 후에는 4,997마리로 생존율 47.6%를 나타내었다. 500마리/m² 실험구에서는 시험 개시 시 15,000마리였으며, 150일째 10,400마리로 69.3%의 생존율을 보였고, 240일 후 측정결과 8,110마리로 생존율 54.1%를 나타내었다. 330일째 조사에서 7,480마리로 49.9%의 생존율을 보였으며, 380일째에는 6,633마리가 생존하여 44.2%로 확인되었다. 전체적으로 수용 밀도가 높은 실험구에서 생존율이 낮았으며, 250마리/m² 실험구와 500마리/m² 실험구의 최종 생존율 차이는 5.9%로 나타났다(Table 4). 4월 이후 일부 개체에서 피부괴사병이 발병 하였으나, 확산되지는 않았으며, 개체수 및 생존율에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 확인되었다.

해삼 육상수조 사육의 수용밀도에 따른 380일간 성장률 및 사료효율에 관한 결과는 Table 5와 같다. 2013년 10월 26일 입식 시 개체의 평균체중은 모든 실험구에서 6.2±3.5 g이었다. 전체 무게는 250마리/m² 실험구가 46,500g, 350마리/m² 실험구가 65,100g 및 500마리/m² 실험구가 93,000g 이었다. 사육 380일 후 평균체중은 250마리/m² 실험구가 31.9g, 350마리/m² 실험구가

26.8g 및 500마리/m² 실험구가 21.5g으로 나타났고, 전체 무게는 250마리/m² 실험구가 120,000g, 350마리/m² 실험구가 142,600g 및 500마리/m² 실험구가 134,000g으로 증가하였다.

사료섭취율은 250마리/m² 실험구가 27.9%, 350마리/m² 실험구가 28.9% 및 500마리/m² 실험구가 27.9%로 나타나 350마리/m² 실험구에서 가장 높은 값을 보였다. 일간성장률은 250마리/m² 실험구가 0.07%, 350마리/m² 실험구가 0.05% 및 500마리/m² 실험구가 0.04%로 250마리/m² 실험

구에서 가장 높은 성장률을 보였고, 500마리/m² 실험구가 가장 낮은 값을 나타내었다. 일간사료섭취율은 250마리/m² 실험구가 211.1%, 350마리/m² 실험구가 246.4% 및 500마리/m² 실험구가 296.6%로 수용밀도에 따라 비례하는 경향을 보였다. 사료전환효율을 살펴보면 250마리/m² 실험구가 0.03%, 350마리/m² 실험구가 0.02% 및 500마리/m² 실험구가 0.01%로 수용밀도가 낮을수록 효율이 높은 것으로 나타났다.

Table 5. The effect of breeding density on growth rate and feed efficiency of sea cucumber, *Stichopus japonicus*

Parameters		250 individual/m ²	350 individual/m ²	500 individual/m ²
Initial (0 day)	Body weight(g)	6.2	6.2	6.2
	Total body weight (g)	46,500	65,100	93,000
	Population (individual)	7,500	10,500	15,000
380 day	Body weight(g)	31.9	26.8	21.5
	Total body weight (g)	120,000	142,600	134,000
	Population (individual)	3,758	4,997	6,633
Total feed intake(kg)		794	1,151.3	1,588
Feed intake (%)		27.9	28.9	27.9
Specific growth rate (%)		0.07	0.05	0.04
Daily feed intake (%)		211.1	246.4	296.6
Feed efficiency (%)		0.03	0.02	0.01
Weight growth rate (%)		424.5	332.3	246.8

체중성장률의 경우는 250마리/m² 실험구가 424.5%, 350마리/m² 실험구가 332.3% 및 500마리/m² 실험구가 246.8%로 수용밀도에 따라 성장의 차이를 보였다.

본 연구에서는 전체적으로 250마리/m² 실험구의 해삼이 성장률 및 사료효율에서 가장 양호한 결과를 보였으며, 수용밀도가 높아짐에 따라 효율이 낮아지는 것으로 나타났다. 밀도는 생물의 생존 및 성장 등에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다(Rowlanda et al., 2006; 문 등, 2017). 즉 입식 밀도가 높으면 생물의 성장이

감소하고, 수질을 악화시킬 뿐만 아니라 용존산소가 낮아져서 생물의 스트레스가 증가되어 사망의 원인이 된다(문 등, 2017). 반면, 입식 밀도가 낮으면 해삼의 서식 공간이 너무 커져서 효율적인 양성이 어렵다(Liu et al., 2002; Li et al., 2007; 문 등, 2017).

Dong et al. (2010)은 27.95~300.5g/0.1m³의 초기 입식 밀도 조건에서 돌기 해삼의 성장을 비교한 결과, 20마리/100L (104g/0.1m³)에서 해삼의 일간성장률이 1.16%/일로 성장률이 가장 높게 나타났으며, 이 밀도의 범위에서 낮거나 높은

실험구에서는 오히려 해삼의 성장률이 낮게 나타났다. 한편, Slater and Carton (2007)은 초기 평균 무게가 109.1g인 해삼 (*Australostichopus japonicus*)을 대상으로 초기 입식 밀도에 대해 조사한 결과, 2.5~5마리/m² 범위에서 해삼이 최대 로 성장하였으며, 해삼의 성장에 적합한 적정 초기 밀도는 220~550g/m²로 나타났다. 아울러, Battaglione et al. (1999)은 초기 입식 밀도가 6~32g/m²인 해삼 (*Holothuria scabra*)의 경우 입식 밀도가 약 225g/m²에 도달하면 성장이 감소한다고 하였다. 또한 해삼은 초기 입식 밀도 33.8 g/m²에서 밀도가 317g/m²로 증가하면 일간성장률이 0.4%로 최대로 나타났으나, 그 이후에는 점차 성장이 감소하는 경향이 나타났다 (Pitt et al., 2004). 상기와 같이 해삼의 적정 수용 밀도를 구명하기 위한 연구가 비교적 많이 진행되었으며, 결론적으로 초기 입식 밀도가 낮을수록 해삼의 성장률이 높게 나타났다(Battaglione et al., 1999; Pitt et al., 2004; Slater and Carton, 2007; 문 등, 2017). 즉, 본 연구도 이전 연구와 같이 해삼의 성장에 요구되는 임계 성장 밀도가 존재한다는 사실을 증명하였다.

IV. 적요

돌기해삼의 성장과 생존에 가장 효과적이며 경제성이 있는 사육밀도를 조사하였는데 체중 성장은 250, 350과 500 개체/m² 실험구에서 각각 31.9±18.3g, 26.8±14.6g과 21.5±16.4g으로 성장하였고, 실험 시작할 때 보다 250마리/m² 실험구는 약 5.1배, 350마리/m² 실험구는 약 4.3배 및 500마리/m² 실험구에서는 3.5배의 성장을 보여 수용밀도가 낮을수록 빠른 성장을 보였다. 생존율은 250마리/m² 실험구는 50.1%로 가장 높게 나타났으며 350마리/m² 실험구는 47.6% 그리고 500마리/m² 실험구에서는 44.2%로 낮게 나타났

다. 실험기간동안 성장과 생존율은 사육밀도가 낮을수록 높아지는 것으로 나타났으며 일정시기와 일정크기에 따른 선별이 필요할 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

1. 강석중, 강승완, 강정하, 정우철, 진상대, 최병대, 한종철. (2012). 최신 해삼양식기술. Aquainfo(주). 1-425.
2. 문선주, 권인영, 김태호. (2017). 해상에서 VIE 추적 조사에 의한 양성 기구의 수용 밀도 및 개체 크기별 해삼(*Apostichopus japonicus*)의 성장 비교. 한국어업기술학회지. 53(1): 49-59.
3. 장영진, 김승현, 양한춘. (1995). 반폐쇄식 순환여과 사육시스템에서의 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 양식. 한국수산과학회지. 28(4): 457-468.
4. 탄해수산자원연구소. (2011). 중국과 러시아의 공동 해삼양식. p. 1
5. 탄해수산자원연구소. (2012). 중국의 해삼양식 산업의 현황과 전망. 1-15 (<http://www.tharri.com>).
6. Battaglione SC., JE. Seymour and C. Ramofafia. (1999). Survival and growth of cultured juvenile sea cucumbers, *Holothuria scabra*. Aquaculture 178(3), 293-322.
7. Dong S., M. Liang, Q. Gao, F. Wang, Y. Dong and X. Tian. (2010). Intra-specific effects of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) with reference to stocking density and body size. Aquacult. Res. 41(8), 1170-1178.
8. Lee C. S. and Y. J. Park. (1999). Influence of food and density on the growth and survival of sea cucumber,

- Stichopus japonicus*. J Aquacult, 12, 39-45 (in Korean with English abstract).
9. Li X, S. Dong, Y. Le and Y. Li. (2007). The effect of stocking density of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* on rice and crab seed yields in rice-crab culture systems. Aquaculture 273, 487-493.
 10. Liu X., B. Gu and X. Zhang. (2002). Analyses and counter measures on common problems occurring in hatcheries of sea cucumber. Mod. Fish Mes. 26-27.
 11. Pitt R., NDQ. Duy, TV. Duy and HTC. Long. (2004). Sandfish (*Holothuria scabra*) with shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) co-culture tank trials. SPC beche-de-mer Information Bull. 20, 12-22
 12. Rowlanda, S. J., C. Mifsuda, M. Nixona and P. Boydb. (2006). Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch (*Bidyanus bidyanus*) in cages. Aquaculture 253, 301-308.
 13. Slater MJ. and AG. Carton. (2007). Survivorship and growth of the sea cucumber *Australostichopus mollis* in poly-culture trials with green-lipped mussel farms. Aquaculture 272(1), 389-398.
 14. 青森県水産業技術センター. (2012a). ナマコの生態と資源管理. 8-10.
 15. 青森県水産業技術センター. (2012b). ナマコ種苗放流マニュアル. 1-17.
 16. 崔相. (1963). ナマコの研究. 海文堂. 東京, 日本, p. 25-35.