

고수온에서의 해삼(*Apostichopus japonicus*) 성장과 체지방 조성

정우철 · Anisuzzaman Md · Feng Jin · 최종국 · 한종철¹ · 최병대 · 강석중*

경상대학교 해양식품생명과학과, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소

Effect of High Water Temperature on the Growth and Lipid Compositions of the Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

U-Cheol Jeong, Anisuzzaman Md, Feng Jin, Jong-Kuk Choi, Jong-Cheol Han¹, Byong-Dae Choi and Seok-Joong Kang*

Department of Seafood and Aquaculture Science, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Tongyeong 52440, Korea

The optimum growth temperature of sea cucumber is 18°C, above 20°C, the appetite declines and the digestive tract is atrophied. At 25°C or more, it is known that the digestive tract is degenerated as growth is stopped by minimizing metabolic activity. Because of these physiological and ecological characteristics, the growth period of sea cucumber *Apostichopus japonicus* is relatively short in the natural environment of Korea where four seasons are clear. Therefore, maintenance of water temperature in sea cucumber culture is very important. This experiment was conducted to investigate the growth and lipid compositions of sea cucumbers at high temperature. Results showed that the growth and survival rates of sea cucumber were not significantly different until 26°C (P>0.01). The fatty acid compositions of total lipid of sea cucumber tended to increase with saturated fatty acid content and decrease with n-3 fatty acid content at higher water temperature.

Key words: Sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, Recirculating aquaculture system, High water temperature, Growth

서론

돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)은 주로 우리나라의 모든 연안, 중국 랴오닝 성의 대련 연해, 일본 홋카이도 연안 그리고 러시아 오희츠크 해역까지 북동 태평양 한대 전역에 분포하고 있으며, 한국과 중국 그리고 일본에서 중요한 수산양식생물이다(Slater and Carton, 2007; Jin et al., 2016a). 해삼은 예로부터 바다의 인삼으로 불리어지고 있으며, 최근 소비가 확대되면서 중국을 중심으로 새로운 양식 대상 종으로 각광 받고 있다(Jin et al., 2016b). 특히 중국에서 해삼을 먹는 음식문화가 발달되어 있어 전 세계 약 90%의 해삼을 소비하고 있다(Wen et al., 2016; Shahabuddin et al., 2017). 해삼 공급량이 수요를 충족시키지 못하고 있으며, 이러한 수요 공급의 불균형은 중국 해삼양식 뿐만 아니라 일본과 우리나라의 해삼양식을 유발시키는 촉

진제가 되었다(Yu et al., 2014). 우리나라에서 해삼은 마을어장의 대표적인 어획 대상종이며, 생산량이 1990년에는 2,491톤이나 달하였으나 연안어장의 환경변화, 해안매립 등으로 산란장과 서식장이 축소됨에 따라 2002년에는 833톤까지 격감하였다. 이에 2000년대 중반부터 인공종자 생산기술이 개발되었고, 해삼 자원을 효율적으로 이용하고 자원을 증강하기 위하여 국가와 지자체의 노력으로 2017년에는 2,045톤으로 빠르게 증가하였지만, 그 수요에 비해 생산량은 턱없이 부족한 상태이다(Anisuzzaman et al., 2018). 이를 극복하기 위해서는 해삼 양식 산업이 규모의 산업으로의 전환이 필요하며 생산에서 가공으로 연결되는 물량의 안정적인 대량 확보가 선결과제이다. 현재 생산된 종자는 연안어촌계의 자원증강을 위한 씨뿌림 양식용으로 사용되고 있으며, 서해안의 대규모 연안 간석지를 이용하여 대량생산이 가능한 축제식 양식용으로는 종자 가격 등의 문제로

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9154 Fax: +82. 55. 648. 3089

E-mail address: sjkang@gnu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0400>

Korean J Fish Aquat Sci 52(4), 400-407, August 2019

Received 1 July 2019; Revised 22 July 2019; Accepted 24 July 2019

저자 직위: 정우철(연구교수), Anisuzzaman Md(연구원), Feng Jin(연구원), 최종국(연구원), 한종철(연구사), 최병대(교수), 강석중(교수)

인하여 연결되지 못하고 있다(Kang, 2012).

돌기해삼은 극피동물문 해삼강에 속하는 무척추동물로서 기존의 양식생물과는 달리 양식생태학적으로 복잡한 유생생활과 하면(夏眠)을 하는 생태적 특징 때문에 양식기술 개발에 많은 어려움이 있다. 수정란에서 아우리쿨라리아, 돌리올라리아, 펜탁툴라, 착저 유생 및 어린 유생 시기를 거치는 복잡한 유생단계와 그 단계별 먹이생물의 종류와 급여방법은 기초생물학적 기술개발에 힘입어 어느 정도의 알고리즘이 정립된 상태이다(Kang, 2012). 그러나, 수온생태에 관해서는 겨울철에는 동면하고 여름철에는 하면한다는 자연상태에서 일어나는 일반생태학적인 관점에 머물러 있다. 지금까지 수온과 관련된 생태학적 지식으로 최적성장 수온은 10-18°C이며(Li et al., 2002; Dong et al., 2006), 수온이 낮은 겨울철에는 동면을 하고, 수온이 25°C 이상 되는 시기에는 대사활동을 최소화시켜 성장을 멈추거나, 소화관이 퇴화되어 하면하는 것으로 알려져 있으며(Liu et al., 1996; Yang et al., 2006; Ji et al., 2008), 해삼의 이런 생태적인 특성 때문에 사계절이 뚜렷한 우리나라의 자연환경에서는 해삼의 성장기간이 짧아 해삼 양성이 불리한 것으로 인식되고 있다(Jeong et al., 2016a). 그러나 현재 인공종자생산 현장에서는 양식장마다 각기 다른 수온 범위에서 양성을 하고 있으며, 30°C의 고수온에서도 섭이 활동 및 생존하며 그 결과도 다르게 나타나고 있기 때문에 해삼인공종자 생산의 최적수온에 대하여 혼란이 생기고 있다.

해삼종자 생산에 있어서 수온 관리는 무엇보다도 중요하고, 특히 수온 변화에 따라서 동면과 하면을 겸하는 해삼의 생리적 특성을 고려하면 수온에 대한 이해는 매우 중요하다. 또한 변온성 동물인 해삼은 수온 변화에 따른 세포 내 체액 항상성 유지를 위해 지방산의 변화에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Fredalina et al., 1999). 따라서 본 연구는 해삼종자 생산 현장에서 일어나고 있는 암묵지(暗黙智)를 객관화시키기 위하여 고수온에서 어린 해삼 사육을 디자인하였으며, 수온에 따른 체지방 조성 변화도 함께 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험해삼

실험에 사용한 해삼(*Apostichopus japonicus*)은 경남 고성군 삼산면 소재의 해삼 종자 배양장에서 양식 중이던 어미 해삼으로부터 산란시켜서 유생 시기를 거쳐 어린 해삼까지 자체 사육한 크기가 비슷한 해삼 1,000마리를 분양 받아 사용하였다. 실험실로 운반된 해삼은 penicillin계열의 polymycin을 사용하여 30 ppm에서 20분간 약욕 처리 후 사용하였다. 실험해삼은 실험 시작 전 3주일 동안 실험수조에서 예비 사육을 실시하였으며, 이 때 실험에 사용한 해삼의 평균 습증량은 4.60 ± 0.08 g을 사용하여 15마리씩 사용하였으며, 모든 실험구는 3반복으로 하였다.

실험사료

실험에 사용한 사료는 해삼 종묘 배양장에서 사용 중인 분말 상품사료(Qingdao hiford ecology technology Inc., China)를 사용하였다. 사료의 성분조성은 수분 10.0%, 조단백질 23.0%, 조지방 2.0%, 탄수화물 10.0% 그리고 조회분 55.0%였다. 사료 공급량은 해삼 평균 증량의 3-5%를 기준으로 매일 저녁 8시경 1회/일 공급을 하였으며, 사료를 공급할 때 사료가 수중에 퍼져서 발생하는 수질의 혼탁을 막기 위해서 유리관 피펫을 사용하여 수조 바닥 층에 깔아주는 방법으로 공급하였다. 사육수조 내 배설물 및 사료찌꺼기 제거는 매일 오후 6시에 사이펀으로 제거하였다.

사육관리

실험에 사용된 사육장치는 순환여과시스템을 이용하였다. 전체 시스템의 수량은 12,000 L로 순환펌프(PH-350M, Wilo Inc., Korea)를 이용하여 시스템 전체 순환율은 30회전/일이었으며, 수온조절은 냉각기(DA-3000W, Dae-il Inc., Korea)와 터타늄히터(2.0KW, Sewon Inc., Korea)를 이용하여 사육수온을 $18.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 조절하였다. 사육에 사용한 수조는 유효수량은 50 L로 직사각형 아크릴재질로서 크기는 60 (length) × 30 (width) × 35 (height) cm이고, 사육수조 바닥은 6%의 경사도를 가지고 있으며 배출구 반대편의 주입수에 의하여 해삼변이 배출구 쪽으로 모이도록 하였다. 배출구에는 PVC 파이프(직경 16 mm)를 설치하여 무결망(망목사이즈, 3 mm)으로 걸면을 둘러싸서 사용하였다. 침전조는 원추형 FRP원형수조(직경 150 cm × 높이 130 cm, 유효수량 1,000 L) 2개를 직렬방식으로 사용하였으며 바닥은 2%의 경사로 수집된 중앙에 집적된 고형물인 펄과 잔류된 사료는 매일 한 번씩 제거하였다. 생물학적여과조는 제1여과조와 제2여과조 2개를 설치하였다. 제1여과조는 여과재를 굴괘각(좌각과 우각의 비율 1:1)을 사용하였으며, 수류의 흐름은 역여과방식으로 하였고, 제2여과조의 여과재는 선라이트골판(65 × 60 cm) 800여장을 교차시켜서 사용하였으며, 총 여과재의 표면적(biofilter media surface)은 624 m²였고, 수류의 흐름은 정여과방식으로 하였다. 수위 조절용 탱크는 여과조에서 여과된 사육수, 헤드탱크에서 남은 여분의 사육수와 보충된 해수를 받아들여서 수위를 자동으로 조절하게 하였다. 보충수는 증발, 누수, 고형오물의 청소 목적으로 전체수량의 7-10%를 보충하였다. 사육수조의 수온조절은 히터(HB-100, Periha Inc., China)를 이용하여 각각 18°C, 22°C, 26°C 그리고 30°C로 하였으며, 사육조 순환율은 5-10회전/일이었다. 수온과 pH는 pH meter (PH-20N, Istek Inc., Korea), 용존산소는 DO meter (YSI-58, YSI, USA) 그리고 염분농도는 EC meter (CM-21P, Japan)를 사용하여 1회/일 측정하였다. TAN (total ammonia nitrogen)는 ammonia meter (Palintest, Nessler, England)로 측정하였으며, TSS (total suspended solid)는 진공여과법으로 2회/주 측정하였다.

성장도 측정

성장은 4주 간격으로 12주간 측정하였으며, 측정 전일은 절식 시킨 후, 각 수조의 해삼을 수집하여 전 개체의 습중량을 측정하여 증체율(weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day) 그리고 생존율(survival rate, %)을 산정하였으며, 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Weight gain WG (g)} = W_2 - W_1$$

$$\text{Specific growth rate (SGR) (\%/d)} = [(\ln W_2 - \ln W_1) / T] \times 100$$

$$\text{Survival rate (SR) (\%)} = (N_2 / N_1) \times 100$$

위 식에서 W_1 은 초기 생체량, W_2 는 최종 생체량, T 는 사육기간, N_1 은 최초개체수, N_2 는 최종생존 개체수이다.

일반성분 분석

일반성분은 AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조회분은 직접회화법으로 측정하였으며, 조지방은 chloroform과 methanol을 2:1 비율로 혼합한 용액을 용매로 한 Bligh and Dyer (1959)추출법에 준하였다. 수분은 상압가열 건조법으로 10°C의 건조기(Dongwon, dry oven, Korea)에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 직접회화법으로 60°C 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. 탄수화물 함량은 시료의 수분, 단백질, 지질 및 회분의 함량을 뺀 값으로 하였다.

Total Lipid 추출

해삼 시료 약 50 g에 혼합추출용매(chloroform:methanol=2:1, v/v)를 시료의 2배량 넣고, 세포분쇄기(Homogenizer AM-12, Nihonseiki Kaisha Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄(15,000 rpm, 5분)한 다음 압소에서 하루 동안 방치하였다. 이를 여과한 다음 잔사물은 버리고, 여액(추출용매와 지방혼합물)을 분액깔때기에 넣어, 층 분리가 일어나면 아래층(chloroform 층)을 계층제(Na_2SO_4)를 통해 탈수시켜 받은 다음 진공회전농축기(Rotavapor R-114, BUCHI, Swiss)로 40°C 이하에서 추출용매를 완전히 증발시킨 후 총 지질을 얻었다.

지방산조성 분석

추출된 총 지질 100 mg을 cap tube에 넣고 0.5 N NaOH-methanol용액을 가하여 질소 충전한 후 100°C에서 8분간 검화하였다. 방냉 후 BF_3 -methanol를 이용하여 fatty acid methyl ester (FAME)로 methylation한 후 isooctane 2 mL에 녹여 이를 capillary column (Omegawax-320, 30 m × 0.25 mm i.d., Supelco Co., Bellefonte, PA, USA)이 장착된 gas chromatography (Glarus 600, PerkinElmer, USA)로 지방산을 분석하였다. Carrier gas는 헬륨을 사용하였고, injector 온도는 250°C, detector (FID) 온도는 270°C로 각각 설정하였다. 이때 column 온도는 180°C에서 8분간 유지하고, 3°C/min 속도로 230°C/min까지 증가시킨 후, 항온상태에서 10분간 유지하였으며 split rate는 1:50으로 설정하였다. 지방산의 동정은 표준품 menhaden oil을 동일 조건으로 분석한 후, ECL (equivalent chain length) 법으로 동정하였다(Ackman, 1969).

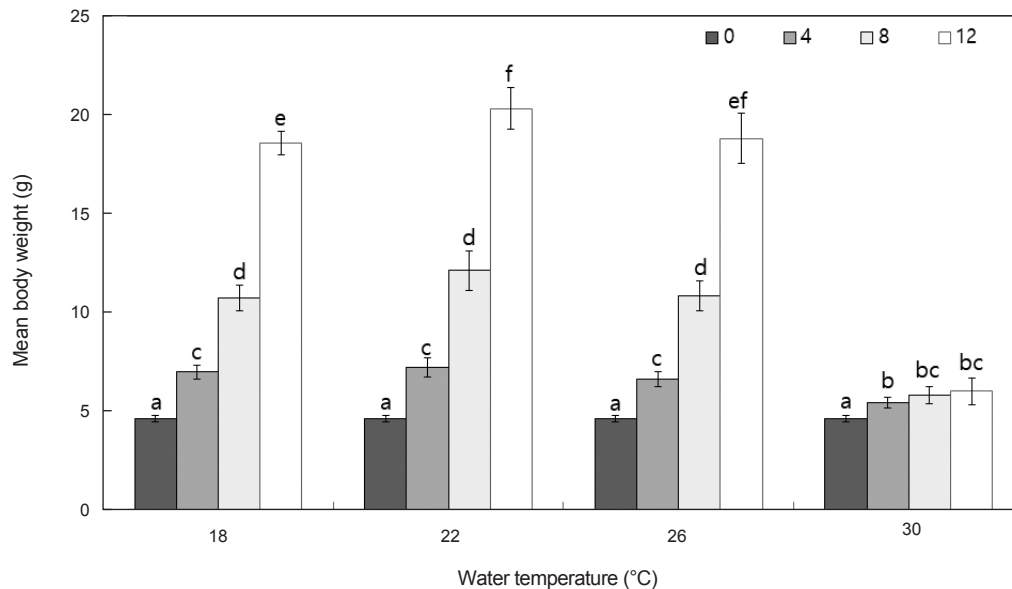


Fig. 1. Mean weight of sea cucumber *Apostichopus japonicus* grown at different water temperature for 12 weeks. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

통계처리

통계처리는 SPSS version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 사용하여 one-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncans multiple range test (Duncan, 1955)로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

결 과

성장도

수온에 따른 해삼 성장 결과는 Table 1과 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 실험 초기 평균 습중량 4.60 g의 해삼을 수조당 18°C, 22°C, 26°C 그리고 30°C로 사육하였다. 사육 수온이 18°C 구에서는 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 6.96 g, 10.72 g 그리고 18.54 g으로 성장하였으며(P<0.05), 증중량은 각각 51.4%, 133.0% 그리고 303.1%로 나타났다(P<0.05). 이 때 일간성장률은 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 0.6431, 0.6561 그리고 0.7207%/day이었다. 사육 수온이 22°C 구에서는 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 7.20 g, 12.10 g 그리고 20.30 g으로 성장하였으며(P<0.05), 증중량은 각각 56.6%, 163.1% 그리고 341.2%로 증가하였다(P<0.05). 이 때 일간성장률은 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 0.6957, 0.7502 그리고 0.7674이었다. 사육 수온이 26°C 구에서는 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 6.60 g, 10.81 g 그리고 18.79 g으로 성장하였으며(P<0.05), 증중량은 각각 43.5%, 135.0% 그리고 308.5%로 나타났다(P<0.05). 이 때 일간성장률은 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 0.5601, 0.6625 그리고 0.7275%/day이었다. 사육 수온이 30°C 구에서는 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 5.40 g, 5.80 g 그리고 5.99 g이었으며, 증중량은 각각 17.4%, 26.2% 그리고 30.2%로 나타났다(P<0.05). 이 때 일간성장률은 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 0.2489, 0.1802 그리고 0.1364%/day이었다.

수온에 따른 해삼 생존율은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 사육 수온이 18°C 구에서는 4, 8 그리고 12주 경과 후 각각 100%, 95.6% 그리고 95.6%였으며, 사육 수온이 22°C 구에서는 각각 100%, 95.6% 그리고 95.6%로 나타나 18°C에서의 해삼과 22°C 구에서의 해삼의 생존율은 차이가 없는 것으로 나타났다(P<0.05). 사육 수온이 26°C 구에서는 4, 8 그리고 12주 경과 후

각각 95.6%, 91.1% 그리고 88.9% 이었으며(P<0.05), 사육 수온이 30°C 구에서는 각각 91.1%, 82.2% 그리고 75.6%로 나타났다(P<0.05). 수온에 따른 생존율은 사육 수온이 높아짐에 따라 생존율은 낮아지는 것으로 나타났다.

사육수질

사육기간 동안 순환여과시스템 사육수질은 염분농도 33.5-33.8 psu, 용존산소 6.38-6.62 mg/L, pH는 pH 8.01-8.13, 총 암모니아는 0.120-0.208 mg/L로 나타났으며, 총 부유물질은 7.02-7.56 mg/L이었다. 사육기간 동안 순환여과시스템 내 사육수조의 수온은 18±0.5°C, 22±0.5°C, 26±0.5°C 그리고 30±0.5°C로 유지되었으며, 염분농도 33.5-33.8 psu, 용존산소 6.12-6.58 mg/L, pH는 pH 8.00-8.12, 총 암모니아는 0.132-0.268 mg/L로 나타났으며, 총 부유물질은 7.38-8.06 mg/L이었다.

일반성분

수온에 따른 해삼의 일반성분 분석 결과는 Table 2에 나타낸 바와 같다. 사육 수온이 18°C 실험구 해삼의 경우 수분함량 91.8%, 조단백질 3.73%, 지질 0.58% 그리고 조회분 2.72%이었으며, 22°C 실험구 경우 수분함량은 91.2%, 조단백질 3.78%, 지질 0.62% 그리고 조회분 2.98%이었다. 사육 수온이 26°C 실험구 해삼의 경우 수분함량 91.7%, 조단백질 3.92%, 지질 0.51% 그리고 조회분 2.76%였으며, 30°C 실험구 경우 수분함량은 91.3%, 조단백질 3.88%, 지질 0.53% 그리고 조회분 2.82%였다. 사육 수온에 따른 수분함량 91.2-91.8%, 조단백질 3.7-3.9%, 지질 0.5-0.6% 그리고 조회분 2.7-3.0%로 나타났다.

지방산 조성

수온에 따른 해삼의 총 지질 지방산 조성은 Table 3에 나타낸 바와 같다. 사육 수온이 18°C 실험구 해삼의 주요지방산 조성은 16:1n-7, 20:4n-6, 20:5n-3, 16:0 그리고 18:0 순으로 각각 12.40%, 11.15%, 10.29%, 7.16% 그리고 7.14%로 나타났으며, 사육 수온이 22°C 구 해삼 주요지방산은 16:1n-7, 20:4n-6, 20:5n-3, 16:0 그리고 18:0 순으로 각각 12.19%, 10.96%, 9.25%, 8.76% 그리고 7.88%로 나타났다. 그리고 사육 수온이 26°C 실험구 해삼 주요지방산 조성은 16:0, 20:4n-6, 18:0,

Table 1. Growth performance of *Apostichopus japonicus* cultured at different water temperature for 12 weeks

Temperture (°C)	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	WG ¹ (%)	SGR ²	FC ³	Survival ⁴ (%)
18	4.60±0.06	18.54±0.59 ^a	303.1	0.7207	3.304	95.6
22	4.60±0.09	20.30±1.06 ^b	341.2	0.7674	3.278	95.6
26	4.60±0.06	18.79±1.26 ^a	308.5	0.7275	3.673	88.9
30	4.60±0.08	5.99±0.66 ^a	30.2	0.1364	-	75.6

¹WG (Weight gain, %)=[(final sea cucumber weight-initial sea cucumber weight)/initial sea cucumber weight]×100. ²SGR (Specific growth rate, %/day)=[(loge final sea cucumber weight-loge initial sea cucumber weight)/days]×100. ³FC (Feed coefficient)=dry feed intake/wet weight gain. ⁴Survial rate (%)=(final sea cucumber /initial sea cucumber)×100.

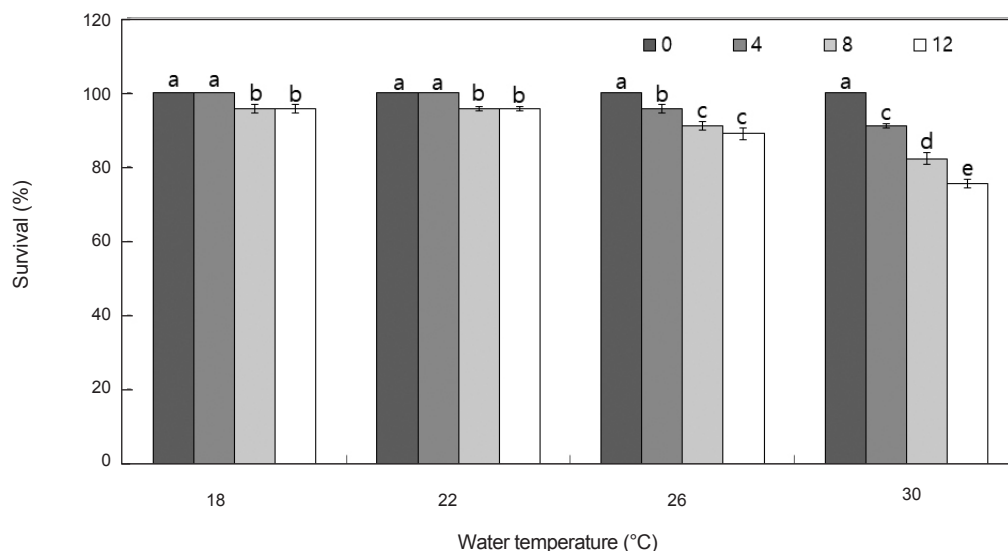


Fig. 2. Survival of sea cucumber *Apostichopus japonicus* grown by different water temperature for 12 weeks. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

20:5n-3, 그리고 18:1n-9 순으로 각각 12.24%, 9.81%, 9.78%, 8.60% 그리고 6.69%로 나타났으며, 사육수온이 30°C 실험구 해삼 주요지방산은 16:0, 18:0, 20:4n-6, 20:5n-3, 그리고 18:1n-9 순으로 각각 15.15%, 12.231%, 8.65%, 7.38% 그리고 5.92%로 나타났다. 특히, 포화지방산 함량의 차이가 보였는데 사육수온이 18°C, 22°C, 26°C 그리고 30°C 구에서 각각 21.58%, 23.79%, 30.39% 그리고 35.86%로 사육 수온이 높아짐에 따라 포화지방산의 함량도 증가되는 것으로 나타났으며, \sum n-3 PUFA의 경우도 각각 17.96, 16.79, 14.61% 그리고 11.87%로 사육 수온이 증가함에 따라 \sum n-3 PUFA 함량은 낮아지는 것으로 나타났다($P<0.05$).

고 찰

이번 실험을 통하여 해삼 성장은 18°C, 22°C, 26°C 그리고 30°C로 실험한 결과 대조구인 18°C 구에 비하여 성장도는 22°C 구에서 높게 나타났으며, 26°C 구에서는 유의적인 차이가 없

는 것으로 났지만, 극도의 고수온구인 30°C 구에서는 낮게 나타났다. 이러한 결과는 지금까지 수온과 관련되어 수행된 해삼의 연구들이 최적성장 수온 범위로 알려진 10-18°C (Li et al., 2002; Dong et al., 2006)라는 설정 하에 이루어졌기 때문에 비교할 수 있는 문헌을 찾기가 매우 어렵다. 수온 25°C 이상 되는 시기에는 대사활동을 최소화시켜 성장을 멈추거나, 소화관이 퇴화되어 하면(夏眠)하는 것으로 알려져 있으며(Liu et al., 1996; Yang et al., 2006; Ji et al., 2008), 해삼의 이런 생태적인 특성 때문에 사계절이 뚜렷한 우리나라의 자연환경에서는 해삼의 성장기간이 짧아 해삼 양성이 불리한 것으로 인식되고 있다(Jeong et al., 2016a). 수온변화에 따른 해삼의 행동 특성에서 수온 28-30°C에서의 해삼 행동 특성은 실험 시작 6시간이 경과한 이후에는 다른 수온(10-25°C)보다 더욱 많은 개체들이 활발하게 활동을 하는 것이 관찰되었고, 실험수조의 밑바닥과 구석진 곳에 대거 몰려 있는 모습이 관찰되었다(Jeong et al., 2016a). 실험 종료 직후에는 폐사체가 나타났으며 이들 폐사체의 공통점은 껍질이 벗겨지고 혹은 녹아서 표면이 하얗게

Table 2. Proximate compositions of sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured at different water temperature (%)

Temperature (°C)	Nutrient content				
	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Carbohydrate
18	91.83±0.28 ^c	3.73±0.03 ^a	0.58±0.02 ^a	2.72±0.01 ^a	1.14±0.02 ^a
22	91.23±0.40 ^c	3.78±0.09 ^a	0.62±0.06 ^a	2.98±0.02 ^a	1.39±0.02 ^a
26	91.68±0.22 ^c	3.92±0.07 ^a	0.51±0.03 ^a	2.76±0.01 ^a	1.13±0.02 ^a
30	91.29±0.20 ^c	3.88±0.12 ^a	0.53±0.01 ^a	2.82±0.01 ^a	1.48±0.02 ^a

Nutrient content data were calculated on a dry matter basis. Data with different letters in the same column means significant difference among different diet treatments ($P<0.05$).

변하였다는 것이다. 본 실험 결과와 기존에 알려진 수온 생태와의 가장 큰 차이점은 수온이 25°C 이상 되는 시기에는 대사활동을 최소화시켜 성장을 멈추거나, 소화관이 퇴화되어 하면(夏眠)한다고 알려져 있지만 본 실험에서는 하면없이 성장하였으며, Jeong et al. (2016b)의 연구에서도 25°C 이상 되는 시기에서도 성장이 보고되고 있다. 이러한 차이는 해삼 개체 크기와 자연산과 양식산의 차이에 기인된 것으로 생각할 수 있다. 본 실험에 사용한 해삼은 당년생의 어린 해삼이면서 고수온에 천천히 적응시킨 점이다. 전 생활사를 양식장 환경에 적응된 어미 해삼을 사용하면 그 종자는 이미 가축화되어서 고수온에서도 문제없이 성장할 수 있다는 설이다. 그러나 현장의 암묵적 지식과 경험으로는 같은 방법으로 얻은 종자를 사용했을 때 26-30°C의 높은 수온으로 상승시키면 모두 폐사하므로 가설 설정이 잘못되었다고 주장한다. 그러나 여기에 대한 연구자의 의견은 해삼의 생리적 특성 보다는 수온상승에 따른 양식환경의 철저한 관리 부재에서 기인된 결과라고 사료된다. 해삼 사료의 특성상 공급한 사료는 사육조 바닥에 침체하면서 부패하기 쉽다. 수온이 상승함으로써 부패로 인한 수질오염은 가속화 될 수밖에 없기 때문에 수온에 따른 사료관리가 아주 중요하다. 해삼사료의 특성상 액상 반죽사료를 공급할 때 사료가 수중에 퍼져서 수질 혼탁을 초래하기 때문에 수질오염을 최소화 할 수 있는 사료공급 방법도 중요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 피스톤식 유리관 피펫을 사용하여 수조 바닥 층에 깔아주는 방법(Anisuzzaman et al., 2018)을 사용하였다. 본 연구실에서 개발한 사료공급방법을 통하여 전 사육기간 pH는 pH 8.00-8.12, 총 암모니아는 0.132-0.268 mg/L 그리고 총 부유물질은 7.38-8.06 mg/L로서 해삼사육을 위한 적합한 범위 내에서 유지가 되어 수질이 해삼 성장에 영향을 준 것은 없는 것으로 사료된다.

Table 2에 나타낸 총 지질은 051-0.62% 범위로서 수온의 변화에 차이는 없었으며, Table 3의 해삼 체지방의 지방산 조성에서는 고수온으로 갈수록 포화지방산은 증가되고 있는 반면에 불포화지방산은 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 수온에 따른 결과는 다른 양식생물인 연어(Kepshier et al., 1983)와 틸라피아(Satoh et al., 1984) 연구에서도 같은 결과가 보고되고 있다. 사육 수온 증가와 관련하여 지방산 계열별로 비교하면 오메가-9지방산은 변화가 없었으며, 오메가-6계열의 20:4n-6 지방산은 11.15%에서 8.65%로 감소하였으며, 오메가-3계열의 20:5n-3 (EPA)도 10.29%에서 7.38%로 감소하였으며, 22:6n-3 (DHA)는 5.46%에서 2.86%로 감소하는 것으로 나타났다. Table 3의 23:1n-9 (cis-14-tricosenoic acid)의 홀수지방산은 다른 양식생물에서는 볼 수 없는 특이한 지방산으로 실험구에 따라 3.5-3.9%로서 실험구간에 유의적 차이는 나타나지 않았다. 이 지방산은 먹이로부터 기인된 것이 아니라 24:1n-9가 출현하는 점으로 보아 alpha-oxidation의 결과물로 사료된다(Kaneniwa et al., 1986; Feng et al., 2016). 이상의 결과를 종합해보면 이번 실험을 통하여 수온 25°C 이상에서도 성장이 되

Table 3. Total lipids fatty acid profiles of sea cucumber *Apostichopus japonicus* cultured at different water temperature (%)

Fatty acid	Water Temperature (°C)			
	18	22	26	30
14:0	1.43±0.02	1.40±0.02	1.74±0.03	1.79±0.03
15:0	2.31±0.01	2.27±0.01	2.45±0.05	2.29±0.02
16:0	7.16±0.23	8.76±0.40	12.24±0.18	15.15±0.16
16:1n-9	1.21±0.05	1.19±0.02	1.30±0.02	1.23±0.01
16:1n-7	12.40±0.07	12.19±0.11	5.77±0.18	5.90±0.10
16:1n-5	1.11±0.03	1.09±0.03	1.46±0.03	1.78±0.03
16:2n-9	0.69±0.02	0.68±0.03	0.78±0.02	0.50±0.01
16:2n-4	0.64±0.01	0.63±0.02	0.72±0.01	0.83±0.01
16:3n-4	1.33±0.02	1.31±0.01	0.25±0.06	0.44±0.02
16:3n-1	0.90±0.02	0.89±0.02	1.01±0.02	1.03±0.01
16:4n-3	1.05±0.03	1.03±0.00	0.31±0.01	0.06±0.01
16:4n-1	1.90±0.03	1.87±0.01	2.24±0.03	1.89±0.03
17:0	1.74±0.02	1.71±0.03	1.85±0.02	1.73±0.02
18:0	7.14±0.12	7.88±0.21	9.78±0.06	12.23±0.19
18:1n-9	4.65±0.08	4.57±0.10	6.69±0.10	5.92±0.10
18:1n-7	3.86±0.01	3.79±0.02	0.98±0.08	0.59±0.08
18:2n-6	1.39±0.02	1.37±0.08	2.73±0.05	2.48±0.05
18:3n-6	1.95±0.01	1.91±0.06	2.16±0.03	2.07±0.03
18:3n-3	0.40±0.01	0.40±0.02	0.31±0.02	0.30±0.02
20:0	1.81±0.06	1.78±0.06	2.33±0.08	2.67±0.08
20:1n-9	4.53±0.08	4.46±0.08	4.80±0.03	4.89±0.03
20:1n-7	1.10±0.03	1.08±0.03	1.82±0.08	1.85±0.08
20:2n-6	0.96±0.02	0.94±0.05	1.07±0.03	1.00±0.03
20:4n-6	11.15±0.28	10.96±0.16	9.81±0.09	8.65±0.09
20:3n-3	0.75±0.03	0.74±0.02	1.34±0.06	1.27±0.06
20:5n-3	10.29±0.20	9.25±0.40	8.60±0.30	7.38±0.12
22:0	1.72±0.04	1.69±0.03	1.92±0.06	1.96±0.06
22:1n-9	1.64±0.02	1.61±0.06	1.16±0.09	1.19±0.04
22:1n-7	2.19±0.06	2.15±0.09	2.38±0.08	2.32±0.05
23:1n-9	3.62±0.07	3.56±0.04	3.89±0.03	3.72±0.02
22:5n-6	0.72±0.03	0.71±0.02	1.30±0.01	1.33±0.01
22:4n-3	0.35±0.01	0.34±0.02	0.27±0.01	0.21±0.00
22:5n-3	0.44±0.01	0.43±0.02	0.48±0.03	0.46±0.01
22:6n-3	5.46±0.03	5.37±0.04	4.04±0.02	2.86±0.04
24:1n-9	0.20±0.00	0.15±0.01	0.32±0.00	0.26±0.01
∑ SFA ¹	21.58 ^a	23.79 ^b	30.39 ^c	35.86 ^d
∑ USFA ²	78.42 ^a	76.21 ^b	69.61 ^c	64.14 ^d
∑ n-6 PUFA ³	19.76 ^b	19.45 ^{ab}	20.97 ^b	19.26 ^a
∑ n-3 PUFA	17.96 ^d	16.79 ^c	14.61 ^b	11.87 ^a
n-6/n-3	0.91	0.86	0.70	0.62

¹SFA, Saturated fatty acid. ²USFA, Unsaturated fatty acid. ³PUFA, Poly unsaturated fatty acid. The values are mean±S.D. (n=3). ^{a-d}Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

는 것으로 확인하였으며, 수온이 높아질수록 공급되는 수질변화가 빠르게 나타나기 때문에 사육 환경 유지가 무엇보다 중요하다고 사료된다.

사 사

이 연구는 2016년도 경상대학교 연구년제 연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음.

References

- Anisuzzaman MD, Jeong UC, Jin F, Kabery K, Choi JK, Lee DI, Yu HS and Kang SJ. 2018. Effects of different algae in diet on growth and interleukin (IL)-10 production of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Fish Aquat Sci* 20: 1. 20-14. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0069-5>.
- AOAC (Official method of Analysis). 2000. Association of official analytical chemists. 17th ed. Maryland, U.S.A., 59-60.
- Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37, 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>.
- Dong YW, Dong SL, Tian XL, Wang F and Zhang MZ. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.12.013>.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Feng J, Anisuzzaman MD, Jeong UC, Choi JK, Yu HS, Kang SW and Kang SJ. 2016. Comparison of fatty acid composition of wild and cultured Sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Korean J Fish Aquat Sci*, 49, 474-485. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0474>.
- Fredalina BD, Ridzwan BH, Zainal Abidin AA, Kaswandi MA, Zaiton H, Zali I and Kittakoop P. 1999. Fatty acid composition in local sea cucumber, *Stichopus chloronotus*, for wound healing. *Gen Pharmacol* 33, 337340. [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-3623\(98\)00253-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-3623(98)00253-5).
- Gao F, Yang HS and Xu Q. 2009. Seasonal variations of fatty acid composition in *Apostichopus japonicus* body wall. *Mar Sci* 33, 15-19. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-011-0041-7>.
- Jeong UC, Jin F, Choi JK, Han JC, Choi BD and Kang SJ. 2016a. A Laboratory-scale recirculating aquaculture system for Sea cucumber *Apostichopus japonicas*. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 343-350. <https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0343>.
- Jeong UC, Han JC and Kang SJ. 2016b. Sea Cucumber *Apostichopus japonicas* growth in Pond-bottom and Lantern-net Cultures. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 337-342. <https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0337>.
- Ji TT, Dong YW and Dong SL. 2008. Growth and physiological responses in the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka: Aestivation and temperature. *Aquaculture* 283, 180-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.006>.
- Jin F, Choi JK, Jeong UC, Anisuzzaman M, Rye CH, Choi BD and Kang SJ. 2016a. Effects of fermented fecal solid diets on growth of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 161-167. <https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0161>.
- Jin F, Anisuzzaman M, Jeong UC, Choi JK, Yu HS, Kang SW, Kang SJ. 2016b. Comparison of fatty acid composition of wild and cultured sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 474-485. <https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0474>.
- Kaneniwa M, Itabashi Y, Endo S and Takagi T. 1986. Fatty acids in holothuroidea: occurrence of cis-14-tricosenoic acid. *Comparative Biochem Physiol B* 84, 451-455. [http://dx.doi.org/10.1016/0305-0491\(86\)90105-7](http://dx.doi.org/10.1016/0305-0491(86)90105-7).
- Kang SJ. 2012. Sea cucumber aquaculture technology. In: Stocking and transportation of sea cucumber. Aqua Info Press, Seoul, Korea, 310-318.
- Kepshier BM, Tinsley IJ and Lowry RR. 1983. Effect of temperature on the chemical composition of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) muscle. *Aquaculture* 32, 295-301. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90226-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90226-0).
- Li B, Yang H, Zhang T, Zhou Y and Zhang C. 2002. Effect of temperature on respiration and excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Oceanol Limnol Sin* 33, 182-187.
- Liu Y, Li F, Song B, Sun H, Zhang X and Gu B. 1996. Study on aestivating habit of sea cucumber *Apostichopus Japonicus* selenka I. Ecological characteristic of aestivation. *J Fish Sci China* 3, 41-49.
- Satoh S, Takeuchi T and Watanabe T. 1984. Effects of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid compositions of *Tilapia Nilotica*. *Nippon suisan gakkaiishi* 50, 79-84. <https://doi.org/10.2331/suisan.50.79>.
- Slater MJ and Carton AG. 2007. Survivorship and growth of the sea cucumber *Australostichopus (Stichopus) mollis* (Hutton 1872) in polyculture trials with green-lipped mussel farms. *Aquaculture* 272, 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.07.230>.
- Shahabuddin AM, Khan MND, Mikami K, Araki T and Yoshimatsu T. 2017. Dietary supplementation of red alga *Pyropia spheroplasts* on growth, feed utilization and body composition of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquacult Res* 48, 5363-5372. <https://doi.org/10.1111/are.13350>.
- Wen B, Gao Q, Dong S, Hou Y, Yu H and Li W. 2016. Effects of different feed ingredients on growth, fatty acid profiles, lipid peroxidation and aminotransferases activities of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture* 454, 176-183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.027>.

- Yang HS, Zhou Y, Zhang T, Yuan XT, Li XX Liu Y and Zhang F. 2006. Metabolic characteristics of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka) during aestivation. *Experim Mar Biol Ecol* 330, 505-510. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2005.09.010>.
- Yu Z, Zhou Y, Yang H, Ma Y and Hu C. 2014. Survival, growth, food availability and assimilation efficiency of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* bottom-cultured under a fish farm in southern China. *Aquaculture* 426, 426-427. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.013>.