

2종류의 건조기로 제조한 돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)의 복원율과 지방산조성 비교

정우철 · Feng Jin · Anisuzzaman Md · 최병대 · 정현철¹ · 이상로¹ · 강석중*

경상대학교 해양식품생명과학과, ¹(주)에이원엔지니어링

Comparison of Recovery Rate and Fatty Acid Composition of Dried Sea Cucumbers *Apostichopus japonicus* Dried by Hybrid Heat Pump Decompression and by Hot Air

U-Cheol Jeong, Feng Jin, Anisuzzaman Md, Byeong-Dae Choi, Hyun-Chol Jung¹, Sang-Ro Lee¹ and Seok-Joong Kang*

Department of Marine Biology and Aquaculture, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

¹A1 Engineering Co., Ltd, Suncheon 540856, Korea

Approximately 80% of the world's sea cucumbers *Apostichopus japonicas* are processed into dried sea cucumbers. The hot air-drying method is currently used in industry, but it has many problems, such as a short drying time, severe browning, high nutrition loss, and low recovery. In this study, the moisture absorption rate, dry recovery rate, and lipid nutrient composition of sea cucumber dried by heat pump decompression and with a hybrid dryer were investigated. The moisture absorption rates for hybrid-dried sea cucumbers at 24, 48, 72, 96, and 120 h were 241.3%, 427.7%, 652.0%, 721.0%, and 742.2%, respectively. The moisture absorption rates for hot air-dried sea cucumbers were 155.8%, 240.0%, 390.3%, 655.5%, and 667.4%, respectively. Thus, moisture absorption was faster and greater with hybrid drying than with hot air drying. The dry recovery rate at 24 h was greater for hybrid-dried sea cucumber (70.7%) than for hot air-dried sea cucumber (59.8%). Saturated fatty acid contents of the hybrid- and hot air-dried sea cucumbers were 30.0% and 37.5%, respectively. Moreover, greater Σ n-3 polyunsaturated fatty acid content was found in hybrid-dried sea cucumber (15.8%) than in hot air-dried sea cucumber (11.7%).

Key words: Sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, Moisture absorption rate, Recovery rate, Fatty acid

서론

돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)은 예로부터 바다의 인삼으로 불려지고 있으며, 최근 소비가 확대되면서 중국을 중심으로 새로운 양식 대상 종으로 각광 받고 있다(Yu et al., 2014). 해삼은 중국의 전통식품으로 경제 성장과 더불어 생활수준이 크게 향상되고 건강에 대한 관심도 많아지면서 건강기능을 내세우는 식품에 대한 관심과 소비가 계속해서 증가하고 있으며 (Okamoto et al., 2000; Oddy et al., 2004), 중국으로 수출하는

건해삼의 수출량이 늘면서 해삼의 가공기술에 대한 관심이 급격히 증가하고 있다. 중국 시장에서 해삼은 대부분 건해삼으로 유통되고 있어서 중국 시장에 진출하기 위해서는 품질이 우수한 건해삼 가공기술의 확립이 절실히 필요한 상태이다(Slater et al., 2009). 그러나 국내 해삼가공산업은 자연산 해삼을 채취하여 건해삼 전처리 단계인 자숙해삼 상태로 대부분 수출되고 있으며, 국내의 해삼 가공기술에 관한 연구도 극히 미미한 실정이다(Jin et al., 2016a).

해삼은 기능성 물질인 콘드로이친(chondroitin)과 사포닌(sa-

*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.2019.0232>

Korean J Fish Aquat Sci 52(3), 232-240, June 2019

Received 24 March 2018; Revised 19 April 2018; Accepted 17 May 2019

저자 직위: 정우철(연구교수), Feng Jin(연구원), Anisuzzaman Md(연구원), 최병대(교수), 정현철(책임연구원), 이상로(연구소장), 강석중(교수)

ponin)을 다량으로 함유하고 있어서 오래 전부터 건강에 유익한 효과를 나타내는 것으로 잘 알려져 있으며(Fredalina et al., 1999), 변비와 관절염 방지에 효과가 있어 의약품 대용으로 사용하기도 하였다(Bordbar et al., 2011; Hasegawa et al., 2014). 또한 해삼은 점액 다당류인 글리코사미노글리칸을 다량 함유하고 있으며(Kariya et al., 1990), 글루코사민의 일부인 콘드로이친은 연골, 혈관 및 뼈를 비롯한 동물의 조직에 널리 분포하고 있는 점질성 다당류로서 연골조직의 수분 저장과 탄력성을 촉진하고, 연골을 파괴하는 효소들을 억제하여 연골의 형성과 재생을 촉진하는 것으로 알려져 있다(Pumphrey et al., 2002). 특히, 중국에서 돌기해삼은 예로부터 고혈압 완화, 천식 개선, 체력 회복 및 상처치유에 약재로 사용하였으며, 전 세계 해삼의 약 90%를 소비하고 있다(Kang et al., 2003; Kiani et al., 2014; Shahabuddin et al., 2017). 최근에 Omega-3 지방산에 대한 중요성이 알려지면서 혈중지질저하, 혈압강하, 항혈전, 항염증, 항암, 항비만, 항당뇨 및 뇌기능개선작용 등의 생리기능이 있는 것으로 보고되고 있으며(Kaneniw et al., 1986; Kasai, 2003; Harper and Jacobson, 2005), 해삼 내에 eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3)와 docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) 같은 omega-3 지방산에 대한 관심도 높아지면서 omega-3 지방산 함량이 높은 해삼을 생산하는 양식방법도 개발되고 있다(Anisuz-zamam et al., 2017b; Lee et al., 2018).

해삼은 포획할 때 외부로부터 이화학적 자극을 받으면 자가분해를 하여 체벽이 녹는 특성으로 인하여 운반이나 저장에 문제점을 가지고 있다(Kang, 2012). 이러한 운반과 저장 문제를 해결하기 위하여 해삼을 자숙 염장한 다음 수분을 건조시켜 건해삼으로 가공하여 사용하고 있다. 그래서 전 세계 해삼의 약 80%가 건해삼으로 가공하여 유통되고 있으며, 건해삼을 물에 담가서 수분을 흡수시킨 후 건조 전 상태로 복원시켜 사용하고 있다(Slater and Carton, 2007). 이 때 자숙 후 건조 중량 비율은 건해삼 품질을 평가하는 중요한 지표로서 수출 대상국인 중국에서는 중국건해삼 식품가공 표준(SC/T 3206-2009)으로 고시하고 있다(Kang, 2012). 전통적인 건해삼 가공 방법은 먼저 포획한 해삼의 내장을 제거하고 포화 염수에 여러 번 자숙과정을 거쳐 염장해삼으로 만든 다음 햇빛을 이용하여 2-3일간 자연건조를 시킨다. 자연건조법은 에너지 투입이 적은 반면에 건조 시간이 길고 오염된 건조 환경에 노출되기 쉬우며 영양유실이 많은 단점을 가지고 있다. 또한 산업적으로 주로 이용되고 있는 열풍건조방법은 건조시간은 단축되나, 갈변현상이 심하고, 영양유실이 많으며, 복원율이 낮다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 냉풍건조, 동결건조 및 마이크로 웨이브건조 등 건조기술이 도입되고 있으나, 건조시간이 길고 에너지 투입이 많아 경제성 문제로 산업화하기 곤란한 실정이다(Hai et al., 2015). 따라서 본 연구에서는 열펌프-감압 하이브리드 건조기와 열풍건조기를 이용하여 건조한 해삼의 건조 복원율 및 지방산 조성 변화를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 시료

본 실험은 통영 연안에서 포획한 돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)을 사용하였으며, 해삼을 물에 씻은 다음 복부를 가른 후, 내장을 제거하였다. 내장이 제거된 해삼을 물에 세척한 다음 포화된 소금물에서 60분간 자숙하고, 포화 염수에서 1일간 염장 처리를 하였다. 염장한 해삼을 표면의 물기를 제거하여 -20°C에서 보관하면서 사용하였다. 건조는 열풍건조기(DY-1412, Dongyang Science Co., Ltd., Korea)와 열펌프-감압식 하이브리드 건조기(DHPD250, A₁ Engineering Co., Ltd., Korea)를 사용하였다. 염장해삼을 서로 겹치지 않게 건조 판에 올린 후, 열풍건조는 75.0°C에서 건조하였으며, 하이브리드 건조는 55.0°C, 내부진공은 -0.2 bar로 수분함량 12%이하가 되도록 건조하여 사용하였다.

수분 흡수율 측정

제조한 건해삼의 중량을 측정하고, 건해삼 중량의 약 50배 물을 가한 다음, 100°C에서 20분간 가열하였다. 가열한 건해삼을 24시간, 48시간, 72시간, 96시간 및 120시간 동안 증류수에 침지한 후 표면의 수분을 제거한 다음 중량을 측정하여 아래 식과 같이 수분흡수율을 측정하였다.

$$\text{수분 흡수율(\%)} = \frac{(\text{수분 흡수 후 중량} - \text{건조해삼 중량})}{\text{건조해삼 중량}} \times 100$$

건조 복원율 측정

건해삼의 건조 복원율 측정은 수분흡수율 측정과 같은 방법으로 건해삼을 자숙(100°C, 20분)한 다음 24시간, 48시간, 72시간 및 96시간으로 증류수에 침지하여, 수분을 흡수시킨 다음 건조하였다. 건조 복원율은 아래 식과 같이 건해삼 중량과 수분을 흡수시킨 다음 건조한 후의 건해삼 중량의 백분율로 나타내었다.

$$\text{건조 복원율(\%)} = \frac{(\text{수분 흡수 후 건조한 건해삼 중량})}{\text{최초 건해삼 중량}} \times 100$$

일반성분 분석

일반성분 분석은 AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열 건조법, 조단백질 분석은 Kjeldahl법, 조회분은 직접회화법으로 측정하였으며, 탄수화물 함량은 Choi et al. (1984)의 방법에 따라 측정하였다. 조지방 분석은 chloroform과 methanol을 2:1 (v/v) 비율로 혼합한 용액을 용매로 하는 Bligh and Dyer (1959)법에 준하였다.

Total Lipid 추출

해삼 시료 약 50 g에 혼합추출용매 (chloroform : methanol =

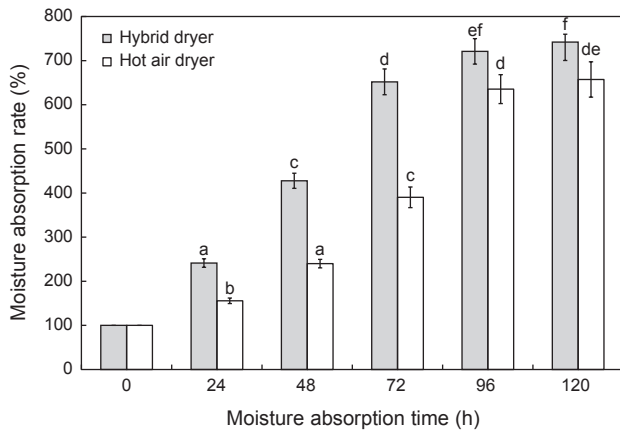


Fig. 1. Moisture absorption rate of hybrid dried and commercial heated-air dried sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

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 암소에서 하루 동안 방치하였다. 이를 여과한 다음 잔사물은 버리고, 여액(추출용매와 지방혼합물)을 분액깔때기에 넣어, 층 분리가 일어나면 아래층(chloroform 층)을 제습제(Na_2SO_4)를 통해 탈수시켜 받은 다음 진공회전농축기(Rotavapor R-114, BUCHI, Swiss)로 40°C 이하에서 추출용매를 완전히 증발시킨 후 층 지질을 얻었다.

지질 분석

총 지질(total lipid, TL)에서 비극성(non-polar lipid, NL) 및 극성(polar lipid, PL) 지질의 분석은 Juaneda and Rocquelin (1985) 방법에 준하여 SEP-PAK Silica plus long cartridge (Waters Association, Milford, MA, USA)를 사용하여 수행하였다. 먼저 chloroform 15 mL를 cartridge에 통과시켜 세척한 후 추출한 총 지질 100 mg을 loading한 다음, chloroform 30 mL과 chloroform:methanol을 49:1 (v/v)로 혼합한 용매 15 mL를 순차적으로 통과시켜 얻은 획분을 비극성지질로 하였으며, methanol 30 mL을 흘려 얻은 획분을 극성지질로 하였다.

지방산조성 분석

추출된 총 지질 100 mg을 cap tube에 넣고 0.5 N NaOH-methanol용액을 가하여 질소 충전한 후 100°C 에서 8분간 검화하였다. 냉각 후 BF₃-methanol를 이용하여 fatty acid methyl ester (FAME)로 methylation 한 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°C 로 각각 설정하였다. 이때 column

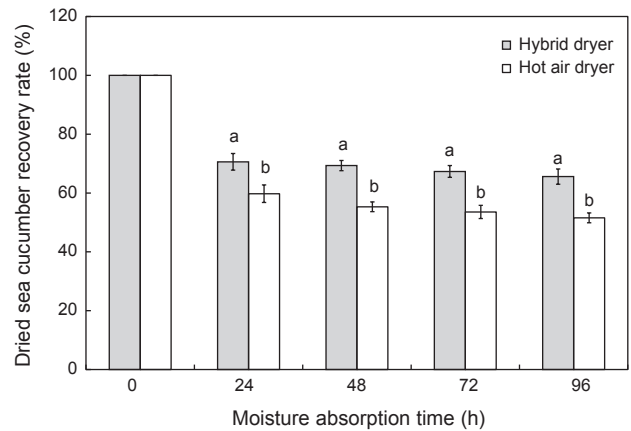


Fig. 2. Dried recovery rate of hybrid dried and commercial heated-air dried sea cucumber *Apostichopus japonicus* at different moisture absorption time. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

온도는 180°C 에서 8분간 유지하고, $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 속도로 $230^\circ\text{C}/\text{min}$ 까지 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).

통계처리

모든 통계분석은 SPSS 16.0 프로그램을 사용하였고, One-way ANOVA test를 실시한 후 Duncan's multiple rang test (Duncan, 1955)로 평균 간의 유의성($P<0.05$)을 검정하였다.

결 과

수분 흡수율

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 수분흡수율 측정 결과는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 시간에 따른 수분흡수율은 하이브리드건조 해삼의 경우 24시간, 48시간, 72시간, 96시간 및 120시간에서 각각 241.3%, 427.7%, 652.0%, 721.0% 및 742.2%였으며($P<0.05$), 열풍건조 해삼의 경우는 각각 155.8%, 240.0%, 390.3%, 655.5% 및 667.4%으로 침지 시간이 길어질수록 증가하는 것으로 나타났다($P<0.05$). 이 때 두 실험구 모두 24시간 경과 후, 수분 흡수율이 증가되기 시작하여 96시간 경과 후 더 이상의 증가는 나타나지 않았지만($P<0.05$), 하이브리드건조 해삼의 수분흡수율이 열풍건조 해삼보다 단시간에 빠르게 흡수하는 것으로 나타났으며, 수분 흡수율도 높은 것으로 나타났었다($P<0.05$).

건조 복원율

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 건조 복원율 측정 결

Table 1. Proximate compositions of hybrid dried, commercial heated-air dried, and no-dried sea cucumber *Apostichopus japonicus*

Sample	Moisture	Nutrient content			
		Protein	Lipid	Ash	Carbohydrate ⁴
HD ¹	5.68±0.02 ^a	51.12±0.10 ^a	1.55±0.03 ^a	23.22±0.06 ^a	18.43±0.02 ^a
CD ²	7.21±0.02 ^b	50.03±0.08 ^a	1.53±0.02 ^a	23.19±0.08 ^a	18.04±0.02 ^a
NO-D ³	91.82±0.20 ^c	3.76±0.03 ^a	0.48±0.00 ^a	2.78±0.00 ^a	1.16±0.02 ^a

¹HD, Hybrid dried sea cucumber. ²CD, Commercial heated-air dried sea cucumber. ³NO-D, No-dried sea cucumber. 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). ⁴Carbohydrate=100-(crude protein+crude lipid+ash).

과는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 건조 복원율은 건해삼의 중량과 건해삼에 수분을 흡수시킨 다음 같은 조건에서 건조한 후 건해삼의 중량비를 나타내었다. 하이브리드건조 해삼의 시간에 따른 복원율은 24시간, 48시간, 72시간 및 96시간에서 각각 70.6%, 69.3%, 67.3% 및 65.6%로 나타났으며(P<0.05), 열풍건조 해삼은 각각 59.8%, 55.3%, 53.6% 및 51.6%로 나타났으며(P<0.05). 이처럼 하이브리드건조 해삼의 복원율이 모든 구에서 열풍건조 해삼의 복원율보다 높게 나타났으며(P<0.05), 하이브리드건조 해삼의 경우는 24시간 이후부터 유의적 차이를 보이지 않았지만(P<0.05), 열풍건조 해삼의 경우는 48시간까지 낮아졌으며, 그 이후부터는 차이를 보이지 않았다(P<0.05).

일반성분

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 일반성분 분석 결과는 Table 1에 나타난 바와 같다. 하이브리드건조 해삼의 경우 수분함량 5.68%, 조단백질 51.12%, 지질 1.55% 그리고 조회분 23.22%였으며, 열풍건조 해삼의 경우 수분함량은 7.21%, 조단백질 50.03%, 지질 1.53% 그리고 조회분 23.19%였다. 건조 전 해삼의 일반성분은 수분함량 91.82%, 조단백질 3.76%, 지질 0.48% 그리고 조회분 2.78%였다. 이처럼 하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 조단백질, 조지질 및 조회분 함량은 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다(P<0.05). 반면 하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 수분함량의 경우 각각 5.68%와 7.21%로 두 시료 모두 건해삼 기준치인 12%이하로 적합한 수준이었지만 하이브리드건조 해삼의 수분함량이 낮은 것으로 나타났다(P<0.05).

총 지질

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 총 지질, 비극성지질 및 극성지질의 함량은 Table 2에 나타난 바와 같다. 하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 총 지질은 각각 1.55%와 1.53%로서 차이가 없는 것으로 나타났지만(P<0.05), 총 지질 중에서 비극성 및 극성지질이 차지하는 비율은 각각 32.81%와 38.33% 및 67.19%와 61.67%로 두 시료 간 비극성 및 극성지질 함량의 차이를 보였다(P<0.05). 건조전의 해삼(비극성지질 33.5%, 극성지질 66.5%)과 비교하였을 때, 하이브리드건조 해

Table 2. Total lipid, neutral lipids and polar lipid contents of hybrid dried, commercial heated-air dried, and no-dried sea cucumber *Apostichopus japonicus*

Parameter	Lipid classes		
	TL ⁴	NL ⁵	PL ⁶
HD ¹	1.55±0.03 ^a	32.81±0.63 ^a	67.19±0.86 ^b
CD ²	1.53±0.02 ^a	38.33±0.34 ^b	61.67±0.57 ^a
NO-D ³	0.48±0.00 ^a	33.46±0.48 ^a	66.54±0.23 ^b

¹HD, Hybrid dried sea cucumber. ²CD, Commercial heated-air dried sea cucumber. ³NO-D, No-dried sea cucumber. ⁴TL, Total lipids (%/dry sample). ⁵NL, neutral lipids (%/total lipid). ⁶PL, polar lipids (%/total lipid). Values are mean±SD (n=3), and different superscript letters indicate statistically significant difference (P<0.05).

삼의 비극성지질과 극성지질의 함량은 차이를 보이지 않았지만, 열풍건조 해삼은 비극성지질의 함량은 높았고, 극성지질의 함량은 낮았다(P<0.05).

지방산 조성

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 총 지질 지방산 조성은 Table 3에 나타난 바와 같다. 하이브리드건조 해삼의 주요지방산 조성은 16:0, 20:4n-6, 18:0, 20:5n-3 그리고 18:1n-9 순으로 각각 12.10%, 9.70%, 9.67%, 9.44% 그리고 6.62%로 나타났으며, 열풍건조 해삼의 경우는 16:0, 18:0, 20:4n-6, 20:5n-3 그리고 18:1n-9순으로 각각 17.41%, 11.88%, 8.40%, 7.17% 그리고 5.75%로 나타났다. 이러한 지방산 조성은 건조 전 해삼의 주요지방산[16:1n-7 (12.27%), 20:5n-3 (11.05%), 20:4n-6 (11.04%), 16:0 (7.09%) 및 18:0 (7.06%)]과 차이를 보였다. 특히, 포화지방산 함량의 차이가 컸는데, 건조 전 해삼의 포화지방산 함량은 21.36%였지만, 건조 후 하이브리드건조 해삼의 경우는 30.04%로 열풍건조 해삼의 경우는 37.52%로 증가하였고, Σ n-3 불포화지방산 함량은 18.81%에서 각각 15.57%와 11.71%로 감소하는 것으로 나타나 건조방법에 따라 지방산 조성의 변화가 일어나는 것을 확인 할 수 있었다(P<0.05).

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 비극성지질 지방산

Table 3. Total lipids fatty acid profiles of hybrid dried, commercial heated-air dried, and no-dried sea cucumber *Apostichopus japonicus* (%)

Fatty acid	Sea cucumber		
	HD ¹	CD ²	NO-D ³
14:0	1.72±0.02	1.74±0.02	1.41±0.03
15:0	2.42±0.01	2.22±0.01	2.28±0.05
16:0	12.10±0.25	17.41±0.40	7.09±0.18
16:1n-9	1.29±0.04	1.20±0.02	1.20±0.02
16:1n-7	5.71±0.07	5.73±0.04	12.27±0.18
16:1n-5	1.44±0.03	1.73±0.03	1.10±0.03
16:2n-9	0.77±0.02	0.49±0.02	0.69±0.02
16:2n-4	0.72±0.01	0.81±0.02	0.63±0.01
16:3n-4	0.24±0.01	0.43±0.01	1.32±0.06
16:3n-1	1.00±0.02	1.00±0.03	0.89±0.02
16:4n-3	0.31±0.01	0.05±0.00	1.04±0.01
16:4n-1	2.21±0.03	1.84±0.03	1.88±0.03
17:0	1.83±0.02	1.68±0.03	1.72±0.02
18:0	9.67±0.11	11.88±0.29	7.06±0.06
18:1n-9	6.62±0.06	5.75±0.10	4.60±0.10
18:1n-7	0.97±0.01	0.58±0.02	3.82±0.08
18:2n-6	2.70±0.03	2.41±0.08	1.38±0.05
18:3n-6	2.14±0.01	2.01±0.06	1.93±0.03
18:3n-3	0.31±0.01	0.29±0.02	0.40±0.02
20:0	2.31±0.03	2.59±0.06	1.79±0.08
20:1n-9	4.75±0.08	4.75±0.08	4.49±0.03
20:1n-7	1.80±0.03	1.80±0.03	1.08±0.08
20:2n-6	1.05±0.02	0.97±0.05	0.95±0.03
20:4n-6	9.70±0.26	8.40±0.13	11.04±0.09
20:3n-3	1.33±0.03	1.23±0.02	0.75±0.06
20:5n-3	9.44±0.22	7.17±0.43	11.05±0.32
22:0	1.90±0.04	1.91±0.03	1.70±0.06
22:1n-9	1.15±0.02	1.15±0.06	1.62±0.09
22:1n-7	2.35±0.08	2.25±0.09	2.17±0.08
23:1n-9	3.85±0.09	3.62±0.04	3.58±0.03
22:5n-6	1.29±0.03	1.30±0.02	0.71±0.01
22:4n-3	0.26±0.01	0.21±0.02	0.35±0.01
22:5n-3	0.47±0.02	0.45±0.02	0.43±0.03
22:6n-3+24:1n-9	4.18±0.03	2.96±0.04	5.58±0.02
SFA ⁴	30.04 ^b	37.52 ^a	21.36 ^c
USFA ⁵	69.96 ^b	62.48 ^c	78.64 ^a
∑n-6 PUFA ⁶	20.73 ^a	18.71 ^b	19.59 ^a
∑n-3 PUFA	15.57 ^b	11.71 ^c	18.81 ^a
n-6/n-3	0.75	0.63	0.96

¹HD, Hybrid dried sea cucumber. ²CD, Commercial heated-air dried sea cucumber. ³NO-D, No-dried sea cucumber. ⁴SFA, Saturated fatty acid. ⁵USFA, Unsaturated fatty acid. ⁶PUFA, Poly unsaturated fatty acid. The values are mean±SD (n=3). ^{a-c}Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

Table 4. Non-polar lipid fatty acid profiles of hybrid dried, commercial heated-air dried and no-dried sea cucumber *Apostichopus japonicas* (%)

Fatty acid	Sea cucumber		
	HD ¹	CD ²	NO-D ³
14:0	1.52±0.02	1.97±0.03	1.25±0.04
15:0	2.40±0.03	2.52±0.08	2.13±0.08
16:0	7.80±0.31	8.52±0.36	7.77±0.28
16:1n-9	1.65±0.02	1.36±0.08	1.03±0.04
16:1n-7	5.94±0.24	6.50±0.35	13.26±0.52
16:1n-5	1.24±0.03	1.96±0.03	1.37±0.03
16:2n-9	0.39±0.01	0.55±0.02	0.78±0.02
16:2n-4	0.43±0.01	0.92±0.03	0.81±0.04
16:3n-4	0.62±0.02	0.49±0.02	1.59±0.08
16:3n-1	1.27±0.03	1.13±0.03	1.08±0.06
16:4n-3	0.31±0.01	0.06±0.01	1.31±0.05
16:4n-1	2.57±0.06	2.08±0.03	2.16±0.08
17:0	1.72±0.04	1.91±0.06	1.47±0.06
18:0	9.87±0.16	9.38±0.20	7.04±0.06
18:1n-9	6.97±0.07	6.52±0.08	5.17±0.16
18:1n-7	1.22±0.03	0.65±0.02	3.50±0.09
18:2n-6	2.68±0.07	2.73±0.03	1.22±0.05
18:3n-6	2.31±0.05	2.27±0.06	2.38±0.03
18:3n-3	0.68±0.02	0.33±0.01	0.49±0.02
20:0	2.20±0.04	2.94±0.09	1.80±0.06
20:1n-9	4.99±0.09	5.39±0.10	4.70±0.03
20:1n-7	1.78±0.03	2.04±0.08	1.27±0.08
20:2n-6	1.42±0.02	1.10±0.05	1.22±0.02
20:4n-6	10.12±0.46	9.53±0.62	11.31±0.93
20:3n-3	1.69±0.05	1.40±0.03	0.75±0.06
20:5n-3	9.18±0.22	9.15±0.33	6.94±0.52
22:0	2.07±0.06	2.16±0.09	1.63±0.06
22:1n-9	1.66±0.02	1.31±0.03	1.64±0.09
22:1n-7	2.42±0.07	2.55±0.09	2.54±0.18
23:1n-9	4.37±0.08	4.10±0.12	4.05±0.23
22:5n-6	1.30±0.03	1.47±0.04	0.72±0.06
22:4n-3	0.26±0.02	0.23±0.01	0.33±0.02
22:5n-3	0.32±0.01	0.51±0.03	0.40±0.01
22:6n-3+24:1n-9	4.61±0.19	4.27±0.12	4.88±0.26
SFA ⁴	25.51 ^b	27.24 ^a	21.46 ^c
USFA ⁵	74.49 ^b	72.76 ^c	78.54 ^a
∑n-6 PUFA ⁶	22.19 ^a	21.21 ^a	20.90 ^b
∑n-3 PUFA	16.48 ^a	15.21 ^{ab}	14.38 ^b
n-6/n-3	0.74	0.72	0.69

¹HD, Hybrid dried sea cucumber. ²CD, Commercial heated-air dried sea cucumber. ³NO-D, No-dried sea cucumber. ⁴SFA, Saturated fatty acid. ⁵USFA, Unsaturated fatty acid. ⁶PUFA, Poly unsaturated fatty acid. The values are mean±SD (n=3). ^{a-c}Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

조성은 Table 4에 나타난 바와 같다. 하이브리드건조 해삼의 비극성지질 주요지방산 조성은 20:4n-6, 18:0, 20:5n-3, 16:0 그리고 18:1n-9순으로 각각 10.12%, 9.87%, 9.18%, 7.80% 그리고 6.97%였으며, 열풍건조 해삼도 20:4n-6, 18:0, 20:5n-3, 16:0 그리고 18:1n-9순으로 각각 9.53%, 9.38%, 9.15%, 8.52% 그리고 6.52%였다. 건조 전 해삼의 비극성 지질 지방산 조성은 16:1n-7, 20:4n-6, 16:0, 18:0 그리고 20:5n-3순으로 각각 13.26%, 11.31%, 7.77%, 7.04% 그리고 6.94%로 나타났다.

하이브리드건조 해삼과 열풍건조 해삼의 극성지질 지방산 조성은 Table 5에 나타난 바와 같다. 하이브리드건조 해삼의 주요지방산 조성은 16:0, 18:0, 20:5n-3, 20:4n-6 그리고 16:1n-7 순으로 각각 15.90%, 12.23%, 10.44%, 8.25% 그리고 8.06%로 나타났으며, 열풍건조 해삼의 경우는 16:0, 18:0, 20:5n-3, 16:1n-7 그리고 20:4n-6순으로 각각 21.49%, 16.07%, 7.56%, 7.10% 그리고 7.08%로 나타났다. 그러나 건조 전 해삼의 주요 지방산 조성은 20:5n-3, 16:0, 20:4n-6, 18:0 그리고 16:1n-7순으로 각각 12.24%, 11.80%, 9.90%, 9.46% 그리고 9.44%로 나타났다. 특히, 포화지방산 함량이 건조 전의 해삼은 28.09%였지만, 하이브리드건조 해삼은 35.18% 그리고 열풍건조 해삼은 44.49%로 증가되는 것으로 나타났으며($P<0.05$), Σ n-3 불포화 지방산 함량은 18.42%에서 각각 15.34%와 10.62%로 감소하는 것으로 나타났다($P<0.05$).

고 찰

수분흡수율에서 두 시료 모두 24시간 경과 후부터 하이브리드 건조 해삼의 수분흡수율이 열풍건조 해삼보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 열풍건조 해삼은 고온에서 건조된 해삼으로 해삼의 표면이 고형화 정도가 높아 수분을 흡수하는데 많은 시간이 소요되기 때문으로 사료된다. 따라서 열풍건조 해삼은 수분 흡수과정에서 장시간 노출됨으로 인해 해삼 돌기 형태가 변화되고, 체표면의 변질 정도가 높아 하이브리드건조 해삼보다 품질이 떨어질 가능성이 높다. 일반적으로 건해삼을 요리할 경우 수분을 흡수시켜 건조 전의 상태로 복원하여 사용하는데 수분을 많이 흡수할수록 부피가 커지고, 식감이 부드러워진다는 결과와 일치한다(Şengül B and Hatice ÖT, 2018). 이러한 측면에서 볼 때 열풍건조 해삼보다 수분흡수율이 높고, 흡수시간이 빠른 하이브리드건조 해삼이 더 유리하다고 할 수 있다. 하이브리드건조 해삼의 건조 복원율이 모든 구에서 열풍건조 해삼의 복원율보다 높게 나타났고, 시간에 따라 감소되는 것은 자숙해삼을 건해삼으로 만드는 1차 건조 과정에서 체내 및 체표면에 침투한 염분과 수용성 물질이 수세과정에서 침출하여 중량이 낮아졌기 때문이며, 복원과정에서 물에 침지하는 시간이 경과함에 해삼 돌기 형태가 변화되고 해삼 체표면에서 발생된 부유 현탁 물질이 침출되어 나타난 결과로 판단된다. 이러한 결과를 통해 해삼 복원을 위한 전처리 과정에서 수분흡수 단계에서의 노출 시간이 복원율에 매우 중요하게 작용하며 열풍건조 방법보

Table 5. Polar lipid fatty acid profiles of hybrid dried, commercial heated-air dried and no-dried sea cucumber *Apostichopus japonicus* (%)

Fatty acid	Sea cucumber		
	HD ¹	CD ²	NO-D ³
14:0	1.47±0.02	1.46±0.03	1.42±0.07
15:0	2.06±0.01	1.87±0.02	2.28±0.01
16:0	15.90±0.34	21.49±0.47	11.80±0.68
16:1n-9	1.10±0.06	1.01±0.03	1.31±0.04
16:1n-7	8.06±0.08	7.10±0.04	9.44±0.12
16:1n-5	1.23±0.03	1.46±0.03	0.99±0.03
16:2n-9	0.66±0.02	0.41±0.02	0.61±0.02
16:2n-4	0.61±0.01	0.68±0.05	0.57±0.01
16:3n-4	0.21±0.01	0.36±0.01	1.18±0.00
16:3n-1	0.85±0.03	0.84±0.03	0.80±0.06
16:4n-3	0.26±0.02	0.05±0.00	0.93±0.01
16:4n-1	1.88±0.04	1.55±0.03	1.69±0.08
17:0	1.55±0.04	1.42±0.06	1.54±0.06
18:0	12.23±0.12	16.07±0.28	9.46±0.08
18:1n-9	5.63±0.08	4.84±0.13	4.19±0.14
18:1n-7	0.83±0.03	0.49±0.02	3.42±0.02
18:2n-6	2.30±0.06	2.03±0.08	1.24±0.05
18:3n-6	1.82±0.02	1.69±0.06	2.04±0.03
18:3n-3	0.26±0.01	0.24±0.02	0.36±0.02
20:0	1.96±0.04	2.18±0.09	1.60±0.08
20:1n-9	4.04±0.09	4.00±0.12	4.18±0.03
20:1n-7	1.53±0.03	1.52±0.08	0.97±0.08
20:2n-6	0.90±0.02	0.82±0.05	0.85±0.03
20:4n-6	8.25±0.46	7.08±0.80	9.90±0.03
20:3n-3	1.13±0.05	1.04±0.03	0.67±0.06
20:5n-3	10.44±0.42	7.56±0.63	12.24±0.32
22:0	1.62±0.06	1.61±0.04	1.52±0.06
22:1n-9	0.98±0.03	0.97±0.06	1.45±0.09
22:1n-7	2.00±0.06	1.89±0.09	1.95±0.08
23:1n-9	3.28±0.08	3.05±0.03	3.84±0.03
22:5n-6	1.10±0.12	1.09±0.04	0.64±0.06
22:4n-3	0.22±0.03	0.17±0.06	0.31±0.06
22:5n-3	0.40±0.02	0.23±0.03	0.39±0.03
22:6n-3+24:1n-9	3.24±0.11	1.74±0.12	4.22±0.08
SFA ⁴	35.18 ^b	44.49 ^a	28.09 ^c
USFA ⁵	64.82 ^b	55.51 ^c	71.91 ^a
Σ n-6 PUFA ⁶	17.64 ^b	15.76 ^c	18.49 ^a
Σ n-3 PUFA	15.34 ^b	10.62 ^c	18.42 ^a
n-6/n-3	0.87	0.67	1.00

¹HD, Hybrid dried sea cucumber. ²CD, Commercial heated-air dried sea cucumber. ³NO-D, No-dried sea cucumber. ⁴SFA, Saturated fatty acid. ⁵USFA, Unsaturated fatty acid. ⁶PUFA, Poly unsaturated fatty acid. The values are mean±S.D. (n=3). ^{a-c}Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

다 하이브리드건조 방법이 우수하다는 것을 알 수 있었다. 건조 복원율은 건해삼의 염분과 기타 수용성물질유실의 척도이며, 건해삼 품질을 평가하는 중요한 지표이다. 건해삼의 주요 수출 대상국인 중국의 중국건해삼 식품가공 표준(SC/T 3206-2009)에 따르면 건조 복원율이 65%이상이면 특급 건해삼으로 분류하고 있다. 이 표준에 따르면 하이브리드건조 해삼은 특급이고, 열풍건조 해삼은 1급 수준이다. 건해삼의 건조 복원율은 해삼의 건조 온도의 영향을 많이 받는 것으로 보고되고 있다(Ravinesh et al., 2016). 건조 온도가 높고, 건조 속도가 빠르면 건해삼의 복원율이 떨어지고 품질도 나빠지며, 건조 온도가 낮으면 건조 시간은 길어지나 해삼의 복원율과 외관 형태가 좋아 고품질 건해삼을 생산할 수 있다.

지방산조성에서는 비극성지질보다는 극성지질의 불포화 지방산조성의 변화가 많은 것으로 나타났다. 이는 해삼뿐만 아니라 해양생물에서 나타나는 지방산 조성의 특징을 잘 나타내고 있다(Jin et al., 2016b). 해삼의 지방산조성의 특이성에 대하여 좀더 고찰해 보면 Wen et al. (2010)의 연구에서 해삼강 동물은 24:1n-9와 같은 특이한 지방산을 가지고 있으며, Bechtel et al. (2013)의 연구에서도 해삼이 이러한 지방산을 가지고 있는 것으로 보고하였다. 그러나 대다수의 해삼 지방산 관련된 연구에서는 24:1n-9에 대한 언급이 없었으며(Seo and Lee, 2011; Yu et al., 2015), 이번 실험에서는 24:1n-9의 지방산이 확인되었다. 그리고 조성면에서도 하이브리드건조 해삼이 열풍건조 해삼에 비하여 높게 나타났으며, 해삼에서만 특이적으로 나타나는 이 지방산의 기능에 대해서는 향후 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다. 또한 해삼의 주요지방산으로 대두되는 20:4n-6 (arachidonic acid) 지방산에 대하여 살펴보면 해삼은 20:4n-6을 어느 정도로 체내에서 생합성 할 수 있는 능력을 가지고 있다(Hasegawa et al., 2014; Wen et al., 2016a). 해삼 체벽의 20:4n-6 함량 변화는 섭취된 사료 중 20:4n-6 함량의 영향보다 전구체인 18:2n-6의 증가에 따라 증가된다고 보고하고 있다(Yu et al., 2015; Wen et al., 2016b; Wen et al., 2016c).

최근 건강과 관련이 깊은 해삼의 n-3 PUFA는 천식개선에 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며(Anisuzzaman et al., 2017a), n-3 PUFA:n-6 PUFA의 비율이 높을수록 어린이의 천식 발병률을 감소시킬 수 있다고 보고되고 있다(Pan et al., 2014; Gutierrez-Murgas et al., 2016; Lee et al., 2016). 본 실험의 결과 하이브리드건조 해삼의 n-3 PUFA 함량이 15.57%로 11.71%인 열풍건조 해삼보다 높았으며, n-3 PUFA:n-6 PUFA의 비율 또한 하이브리드건조 방법을 통한 건조해삼이 높게 나타남에 따라 지질영양학적 측면에서도 하이브리드건조 방법을 통한 건해삼이 유리할 것으로 생각된다.

전체적으로 해삼가공 방법과 영양학적인 측면에서 현재 일반적으로 사용되는 열풍건조 방식은 높은 열로 인하여 단시간에 건조를 할 수 있는 장점이 있지만, 갈변현상이 심하고, 영양유실이 많으며, 복원율이 낮아 고품질의 건해삼 생산을 위해서는 해

결해야 할 부분으로 지적되어 왔다. 해삼은 체벽에 조금만 자극을 주어도 매우 단단해 지는 특성을 보이는데 이러한 특성은 체벽을 화학적인 방법이나 레올로지학적으로 분석을 하더라도 이와 관련된 메커니즘을 밝힐 수 있는 실험결과는 보고되고 있지 않다(Motokawa, 1981). 이와 관련하여 해삼의 체벽 결합조직을 구성하는 성분 중에는 양이온 의존성 물질이 있어 몸체를 딱딱하게 만드는 glycosaminoglycans (GAGs)에 관여한다고만 보고되고 있다(Pumphrey et al., 2002). 이처럼 해삼은 외부 자극에 매우 민감하며, 건조 과정에서 가해지는 열은 건해삼 품질을 저하시키는 가장 큰 요인 중의 하나로 작용한다(Motokawa, 1982). 이번 실험을 통해서도 열풍건조방법의 경우 초기 건조 속도는 빠르게 나타났지만, 해삼 체벽의 표면이 딱딱해지는 현상과 해삼 체표면에 돌출된 돌기가 검게 타는 현상이 관찰되었다. 이에 비해 하이브리드건조 방법은 건조과정에서도 외부 형태가 유지되었고, 갈변현상이 적었다는 점에서 새로이 제시하는 하이브리드건조 방법이 하나의 대안으로 제시할 수 있다.

사 사

이 논문은 2018년도 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[에너지수요관리핵심기술개발사업의 수산물(굴, 해삼) 건조용 10HP급 하이브리드(감압식-열펌프) 건조기 개발].

References

- Ackman RG. 1969. Temperature effects in the calculation of equivalent chain length values for multiple-branched fatty acid esters and ketones on polar and non-polar open tubular columns. *J Chromatography A* 42, 170-175. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)80612-9](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)80612-9).
- Anisuzzaman Md, Jeong UC, Jin F, Choi JK, Kabery K, Lee DI, Yu HS and Kang SJ. 2017a. Effects of different algae in diet on growth and interleukin (IL)-10 production of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Fish Aquat Sci* 20, 1-8. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0069-5>.
- Anisuzzaman Md, Jin F, Jeong UC, Choi JK, Lee DI, Yu HS and Kang SJ. 2017b. Effects of *Nannochloropsis* concentration in diet on growth, survival and anti-inflammatory cytokine (Interleukin-10) production of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Turkish J Fish Aquat Sci* 18, 567-575. <https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18408>.
- AOAC (Official method of Analysis). 2000. Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Maryland, U.S.A., 59-60.
- Bechtel PJ, Oliveira ACM, Demir N and Smiley S. 2013. Chemical composition of the giant red sea cucumber, *Parastichopus californicus*, commercially harvested in Alaska. *Food Sci Nut* 1, 63-73. <https://doi.org/10.1002/fsn3.12>.
- 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>.
- Bordbar S, Anwar F and Saari N. 2011. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods: A review. *Mar Drugs* 9, 1761-1805. <https://doi.org/10.3390/md9101761>.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- 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, 337-340. [http://doi.org/10.1016/S0306-3623\(98\)00253-5](http://doi.org/10.1016/S0306-3623(98)00253-5).
- Gutierrez-Murgas YM, Gwenn S, Danielle R, Matthew B and Jessica N. 2016. IL-10 plays an important role in the control of inflammation but not in the bacterial burden in *S. epidermidis* CNS catheter infection. *J Neuroinflammation* 13, 271. <https://doi.org/10.1186/s12974-016-0741-1>.
- Hai BY, Qin FG, Shuang LD and Bin W. 2015. Changes in fatty acid profiles of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) induced by terrestrial plants in diets. *Aquaculture* 442, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.002>.
- Harper CR and Jacobson TA. 2005. Usefulness of omega-3 fatty acids and the prevention of coronary heart disease. *Am J Cardiol* 96, 1521-1529. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.07.071>.
- Hasegawa N, Sawaguchi S, Tokuda M and Unuma T. 2014. Fatty acid composition in sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed with microbially degraded dietary sources. *Aquaculture Res* 45, 2021-2031. <https://doi.org/10.1111/are.12149>.
- 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 Aqua 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 Aqua 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. *Com Bioch* 84, 451-455. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(86\)90105-7](https://doi.org/10.1016/0305-0491(86)90105-7).
- Kang KH, Kwon JY and Kim YM. 2003. A beneficial coculture: charm abalone *Haliotis discus hannai* and sea cucumber *Stichopus japonicus*. *Aquaculture* 216, 87-93. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00203-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00203-x).
- Kang SJ. 2012. Sea cucumber aquaculture technology. In: *Stocking and transportation of sea cucumber*. Aqua Info Press, Seoul, Korea, 310-318.
- Kariya Y, Watabe S, Ochial Y, Murata K and Hashimoto K. 1990. Glycosaminoglycan involved in the cation-induced change of body wall structure of sea cucumber *Stichopus japonicus*. *Connect Tissue Res* 25, 149-159. <https://doi.org/10.3109/03008209009006989>.
- Kasai T. 2003. Lipid contents and fatty acid composition of total lipid of sea cucumber *Stichopus japonicus* and Konowata (salted sea cucumber entrails). *Food Sci Tec Res* 9, 45-48. <http://dx.doi.org/10.3136/fstr.9.45>.
- Kiani N, Heidari B, Rassa M, Kadkhodazadeh M and Heidari B. 2014. Antibacterial activity of the body wall extracts of sea cucumber (Invertebrata; Echinodermata) on infectious oral streptococci. *J Bas Clin Physiol Pharmacol*, 1, 1-7. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2013-0010>.
- Lee DI, Park MK, Kang SA, Choi JH, Kang SJ, Lee JY and Yu HS. 2016. Preventive Intra oral treatment of sea cucumber ameliorate OVA-induced allergic airway inflammation. *Am J Chin Med*, 44, 1663-1674. <https://doi.org/10.1142/s0192415x16500932>.
- Lee DI, Kang SA, Anisuzzaman Md, Jeong UC, Jin F, Kang SJ, Lee JY and Yu HS. 2018. Sea cucumber lipid-soluble extra fraction prevents ovalbumin-induced allergic airway inflammation. *J Medicinal Food* 21, 21-29. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.3994>.
- Motokawa T. 1981. The stiffness change of the holothurian dermis caused by chemical and electrical stimulation. *Comp Biochem Physiol* 70, 41-48. [https://doi.org/10.1016/0306-4492\(81\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0306-4492(81)90076-9).
- Motokawa T. 1982. Rapid change in mechanical properties of echinoderm connective tissues caused by coelomic fluid. *Comp Biochem Physiol* 73, 223-229. [https://doi.org/10.1016/0306-4492\(82\)90194-0](https://doi.org/10.1016/0306-4492(82)90194-0).
- Oddy WH, De Klerk NH, Kendall GE, Miharshahi S and Peat JK. 2004. Ratio of omega-6 to omega-3 fatty acids and childhood asthma. *J Asthma* 41, 319-326. <http://doi.org/10.1081/JAS-120026089>.
- Okamoto M, Mitsunobu F, Ashida K, Mifune T, Hosaki Y, Tsugeno H, Harada S and Tanizaki Y. 2000. Effects of dietary supplementation with n-3 fatty acids compared with n-6 fatty acids on bronchial asthma. *Internal Medicine* 39, 107-111. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.39.107>.
- Pan D, Kenway-Lynch CS, Lala W, Veazey RS, Lackner AA, Das A and Pahar B. 2014. Lack of interleukin-10-mediated anti-inflammatory signals and upregulated interferon gamma production are linked to increased intestinal epithelial cell apoptosis in pathogenic simian immunodeficiency virus infection. *J Virology* 88, 13015-13028. <https://doi.org/10.1128/jvi.01757-14>.
- Pumphrey CY, Theus AM, Li S, Parrish RS and Sanderson RD. 2002. Neoglycans, carbodiimide-modified glycosaminoglycans: a new class of anticancer agents that inhibit cancer cell proliferation and induce apoptosis. *Cancer Res* 62, 3722-3728.

- Ravinesh R, Roveena VC, Chaoshu Z and Paul C. 2016. Recovery rates for eight commercial sea cucumber species from the Fiji Islands. *Reg Stud Mar Sci* 8, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.09.003>.
- Şengül B and Hatice ÖT. 2018. The changes in chemical composition of *Holothuria tubulosa* (Gmelin, 1788) with ambient-drying and oven-drying methods. *Food Sci Nutr* 6, 1456-1461. <https://doi.org/10.1002/fsn3.703>.
- Seo J and Lee S. 2011. Optimum dietary protein and lipid levels for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Aquacult Nutr* 17, 56-61. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00728.x>.
- 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). *Aquaculture Res* 48, 5363-5372. <https://doi.org/10.1111/are.13350>.
- 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>.
- Slater MJ, Jeffs AG and Carton AG. 2009. The use of the waste from green-lipped mussels as a food source for juvenile sea cucumber, *Australostichopus mollis*. *Aquaculture* 292, 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.027>.
- Wen B, Gao QF, Dong SL, Hou YR, Yu HB and Li WD. 2016a. Effects of dietary inclusion of benthic matter on feed utilization, digestive and immune enzyme activities of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture* 458, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.01.028>.
- Wen B, Gao QF, Dong SL, Hou YR, Yu HB and Li WD. 2016b. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.027>.
- Wen B, Gao QF, Dong SL, Hou YR, Yu HB and Xi X. 2016c. Absorption of different macroalgae by sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka): Evidence from analyses of fatty acid profiles. *Aquaculture* 451, 421-428. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.008>.
- Wen J, Hu C and Fan S. 2010. Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers. *J Sci Food Agriculture* 90, 2469-2474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4108>.
- Yu HB, Gao QF, Dong SL, Wen B, Hou YR and Ning LG. 2015. Utilization of corn meal and extruded soybean meal by sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka): Insights from carbon stable isotope analysis. *Aquaculture* 435, 106-110. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.036>.
- 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>.