

사료 내 소맥분 함량이 어린 해삼(*Apostichopus japonicus*)의 성장 및 체조성에 미치는 영향

김경덕* · 배기민¹

국립수산물연구원 동해수산연구소, ¹강원특별자치도 스마트연어연구원

Effects of Wheat Flour Content in Diets on the Growth and Body Composition of Juvenile Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*

Kyoung-Duck Kim* and Ki-Min Bae¹

East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea

¹Smart Salmon Institute, Gangneung 25435, Republic of Korea

An 18 week feeding trial was conducted to evaluate the impact of dietary wheat flour content (0, 7, 14, 21 and 28%) on the growth performance and body composition of juvenile sea cucumbers. Sea cucumbers *Apostichopus japonicus* (initial weight of 1.3 g) were randomly distributed into 15 tanks. Individual dietary treatments were conducted in triplicate (stocking density of 40 individuals per tank) and maintained under an average water temperature of 17.4°C. After feeding trials over 18 weeks, the survival rates ranged from 98 to 100% across all experimental groups. Although intermediate growth measurements in weeks 9 and 13 indicated no significant variation across treatments, the final weights in week 18 were significantly influenced by the dietary wheat flour content ($P < 0.05$). Notably, the final weights of juvenile sea cucumbers that were fed the 21% wheat flour diet were significantly greater than those of the 28% inclusion group ($P < 0.05$), although they did not differ significantly from those of 0, 7, and 14% treatment groups. Significant variation was observed in whole-body crude protein content among treatments ($P < 0.05$). Based on these results, we conclude that up to 21% wheat flour can be used in juvenile sea cucumber diets without compromising survival and growth.

Keywords: *Apostichopus japonicus*, Sea cucumber, Wheat flour, Growth

서론

해삼(sea cucumber *Apostichopus japonicus*)은 전 세계적으로 중요한 수산자원 중 하나이며, 높은 영양가와 기능성 물질인 콘드로이친(chondroitin) 및 사포닌(saponin)을 다량 함유한 것으로 알려져 있다(Fredalina et al., 1999). 특히 중국, 일본 및 한국과 같은 아시아 지역에서 해삼은 식용 및 기능성 물질 가치를 인정받아 비교적 고가에 판매되는 수산물이다. 해삼 국내 생산량은 2024년에 1,672톤이며, 대부분 어업생산(1,656톤)에 의한 것이나, 일부 양식(16톤)에 의해서도 생산되고 있다(Statistics Korea, 2025). 국내 해삼 양식의 대부분은 종자 생산 및 어린 종자의 양성 위주로 이루어지고 있다. 대다수의 해삼 양식장에서

는 중국산 해삼 사료와 사료원료를 주로 사용하는 실정인데, 이는 국내에서 상업용으로 개발된 해삼 사료가 일부 판매된 경우도 있었으나 가격이 중국산에 비해 비싸서 사용이 미비하였다. 또한 국내 해삼 종자 생산장은 중국인 해삼 양식 기술자를 고용하여 활용하는 곳이 많은데, 이들은 기존에 사용했던 중국산 사료와 사료원료의 사용을 선호하는 것으로 판단된다. 양식용 사료개발을 위해서는 대상 품종의 영양소 종류별 요구량 구명과 사료원료별 이용성 조사 연구들이 수행되어야 한다. 해삼의 영양소 요구 및 사료 개발에 관한 연구로는 단백질 및 지질 요구량(Seo and Lee, 2011), 지질 원료 종류별 이용성(Seo et al., 2010) 및 탄수화물 함량별 영향 연구(Choi et al., 2009)와 해조류 종류별 이용성(Kim et al., 2018) 및 펄 분말 첨가 영향(Kim et al.,

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 660. 8543 Fax: +82. 33. 661. 8515

E-mail address: kimkd92@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 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.2026.0440>

Korean J Fish Aquat Sci 59(4), 440-444, August 2026

Received 7 May 2026; Revised 8 June 2026; Accepted 24 June 2026

저자 직위: 김경덕(연구관), 배기민(연구사)

2016)에 관한 사료원료 이용성 연구들이 수행되어져 왔다.

탄수화물은 수산동물의 주요 에너지원 중 하나로 사용되며, 사료 내 적정 탄수화물 공급은 단백질이 성장에 사용될 수 있도록 에너지를 절감하게 도와준다. 하지만, 사료 내 탄수화물 함량이 과도할 경우 성장 및 에너지 효율 저하를 초래할 가능성이 있다. 반면, 탄수화물 함량이 적정 함량보다 낮을 경우에도 사료효율이 저하될 수 있어, 사료 내 적정 함량의 탄수화물 공급은 단백질 이용성 및 사료효율 개선을 위하여 중요하다(Wilson, 1994). 특히 해삼은 자연에서 주로 해조류와 퇴적 유기물을 섭취하는 생태적 특성이 있어 적절한 탄수화물 함량이 함유된 사료의 공급은 해삼의 성장과 건강 유지에 필수적인 요소로 작용할 수 있다.

Choi et al. (2009) 및 Xia et al. (2015)의 연구에서 탄수화물 함량이 25% 및 40%, 또는 25–66%로 다르게 첨가한 사료 공급이 어린 해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향에 대하여 보고되었지만, 사료 내 탄수화물 함량 25% 미만인 사료별로 어린 해삼을 사육한 연구 결과는 미비한 실정이다. 그래서 본 연구는 소맥분 함량이 0%, 7%, 14%, 21% 및 28%로 각기 다른 사료 공급이 어린 해삼의 생존, 성장도 및 체조성 변화에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험 사료

실험사료의 원료조성 및 영양성분 분석결과를 Table 1에 나타내었다. 사료내 탄수화물원료로 소맥분 함량이 어린 해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 소맥분을 0, 7, 14, 21 및 28% 첨가한 5종류의 실험사료를 설계하였다. 그 외에 주요 사료원료로는 미역분말, 대두박, α -셀룰로오스 및 오징어간유 등을 사용하였다. 이와 같이 설계된 각 실험사료의 원료들을 잘 혼합하고 미립자 사료분쇄기(Pulverizer, ACM Pulverizer; KM Tech, Icheon, Korea)를 이용하여 사료입도 100 μ m 이하의 분말 형태로 분쇄하여 사육실험에 사용하였다. 실험사료의 영양성분 분석 결과, 조단백질 함량은 26.4–27.2%였고 조지질 함량은 2.7–3.3%로 모든 실험사료에서 유사한 함량을 보였다.

사육 실험

사육실험은 외형적으로 건강한 어린 해삼(평균체중 1.3 g)을 총 15개의 원형수조(400 L)에 각 40마리씩 사료별 3반복으로 수용하여 유수식으로 18주간 실시하였다. 사육수조의 수조 중앙에 스탠드 파이프를 설치하였으며, 스탠드 파이프 상단과 수조바닥의 퇴수구에 거름망을 씌워 해삼이 수조에서 이탈하는 것을 방지하였고, 수조 청소 시 해삼이 수조 바닥으로 빠지지 않도록 주의하였다. 또한 사육수조에 쉼터(shelter)를 넣어 주어 해삼이 은신할 수 있도록 하였다(Seo et al., 2009).

실험사료는 1일 1회(11:00) 전체 해삼 체중의 1.0–4.0%를 칭량하여 10배의 해수에 잘 혼합한 후 액상 형태로 공급하였다. 각

Table 1. Ingredients and nutrient contents of the experimental diets

	Diets				
	WF0	WF7	WF14	WF21	WF28
Ingredients (%)					
<i>Undaria pinnatifida</i> powder ¹	35	35	35	35	35
Soybean meal	41.0	39.2	37.4	35.7	34.0
Wheat flour		7	14	21	28
α -Cellulose	21.0	15.8	10.6	5.3	-
Squid liver oil	1	1	1	1	1
Vitamin premix ²	1	1	1	1	1
Mineral premix ³	1	1	1	1	1
Proximate composition (% dry matter basis)					
Crude protein	26.4	27.2	27.1	27.1	26.9
Crude lipid	2.9	2.9	3.3	2.7	3.1
Ash	14.3	13.8	13.7	13.2	13.2

¹Supplied by E-wha Oil and Fat Ind. Co., Busan, Korea. ²Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003. ³Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): NaCl, 43.3; MgSO₄·7H₂O, 136.5; NaH₂PO₄·2H₂O, 86.9; KH₂PO₄, 239; CaHPO₄, 135.3; Ferric citrate, 29.6; ZnSO₄·7H₂O, 21.9; Ca-lactate, 304; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0. WF, wheat flour.

수조에 실험사료 공급 후에는 2시간 동안 사육수공급을 중지시켜 공급된 분말형태의 실험사료가 바닥에 고루 가라앉아 해삼이 원활하게 사료를 섭취하도록 하였다.

사육수는 자연해수를 10톤 사각수조에 수용하여 해수 찌꺼기를 침지 시킨 후, 깨끗한 자연해수를 각 실험수조로 공급하였으며, 각 수조에 분당 3 L로 조절하여 주수하였다. 각 수조에는 공기(air)를 공급하였다. 사육기간 동안의 평균 수온은 17.4°C (9.6–25.5°C)였다. 또한 사육수조에 자연광을 최대한 차단시켜 어두운 조건에서 사육실험을 실시하였으며, 사육기간 중 죽은 해삼 개체는 매일 제거하였고, 2일에 1회 수조 청소를 실시하였다. 사육실험 시작 시, 중간 측정 시 및 종료 시에는 측정 전 48시간 절식시킨 후, 각 수조에 수용한 해삼의 전체 무게를 측정하였다.

성분 분석

실험사료와 해삼의 일반성분 중 수분은 상압가열건조법으로 135°C에서 2시간 건조 후 측정하였고, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/TT125; C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지질은 조지질추출기(SER 148; VELP Scientifica Srl, Usmate, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 조회분은 회화로를 사용하여 600°C에서 6시간 동안 태운 후 정량하였다.

통계 분석

결과의 통계처리는 SPSS program (IBM SPSS Statistics ver 11.5; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하여 ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균 간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결 과

해삼 사료의 적정 소맥분 함량을 조사하기 위하여 소맥분을

0%, 7%, 14%, 21% 및 28% 첨가한 5종류의 실험사료로 최초 체중 1.3 g의 어린 해삼을 18주간 사육 실험한 결과를 Table 2에 나타내었다. 사육 기간 18주 후, 생존율은 모든 실험구에서 98–100%로 나타나 전반적으로 양호한 생존 결과를 보였다.

사육 9주 및 13주 후, 어린 해삼의 평균 체중은 실험사료별로 유의한 차이가 없었다. 그러나 사육 18주 후, 어린 해삼의 최종 체중, 증체율 및 일간성장률은 사료 내 소맥분 함량에 유의한 영향을 받았으며(P<0.05), 소맥분 함량 21% 사료 공급구의 평균 체중은 소맥분 함량 0%, 7% 및 14% 사료 공급구와는 통계적인 차이가 없었으나, 소맥분 함량 28% 사료 공급구 보다는 유의하게 높았다(P<0.05).

사육실험 종료 시, 해삼의 일반성분 분석결과를 Table 3에 나타내었다. 해삼의 조단백질함량은 실험구간에 유의한 차이를 보였으며(P<0.05), 소맥분 함량 28% 사료 공급구가 다른 실험구에 비하여 높았다(P<0.05). 해삼의 수분, 조지질 및 조회분 함량은 실험구간에 유의한 차이가 없었다.

고 찰

본 연구에서 18주간 사육 후 모든 실험구의 해삼 생존율이 98–100%였다. 이와 같이 높은 생존율을 보여, 본 연구에 사용된 실험용 사료는 어린 해삼 사육에 전반적으로 적합한 것으로 판단된다.

탄수화물 함량이 25% 및 40%인 사료로 최초 체중 0.7 g의 해삼을 10주간 사육한 Choi et al. (2009)의 연구에서 생존율은 60–79%로 실험구간에는 유의한 차이가 없어 탄수화물 함량에 따른 차이는 없었지만, 본 연구의 사육 실험 종료시 생존율인 98–100%에 비해 낮은 결과를 보였다. 이러한 생존율 차이의 원인을 명확히 규명할 수는 없지만, 두 연구의 사육실험에 사용된 해삼의 최초 체중, 사육수온 및 사육 조건 등의 차이에 영향을 받았을 것으로 판단된다.

탄수화물은 사료의 성형 및 펠렛 형태로의 제조를 도와주는 역할을 하며, 어체 내에서 에너지원으로 사용될 수 있기 때문에

Table 2. Growth performance of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed the diets containing different wheat flour for 18 weeks

		Diets					MWT (°C)
		WF0	WF7	WF14	WF21	WF28	
Body weight (g)	Initial	1.3±0.0 ^{ns}	1.3±0.0	1.3±0.0	1.3±0.0	1.3±0.0	-
	9 week	4.6±0.2 ^{ns}	5.0±0.2	5.0±0.2	4.4±0.5	4.7±0.3	14.7±1.1
	13 week	5.4±0.2 ^{ns}	5.9±0.1	5.5±0.6	6.0±0.6	5.5±0.5	20.8±1.1
	18 week	8.4±0.1 ^{ab}	8.5±1.0 ^{ab}	8.5±0.6 ^{ab}	10.0±0.6 ^a	7.1±0.8 ^b	18.6±2.8
Survival (%)		99±0.7 ^{ns}	98±1.5	99±0.7	99±0.7	100±0.0	-
Weight gain (%) ¹		562±3.8 ^{ab}	576±79.1 ^{ab}	571±44.2 ^{ab}	703±47.6 ^a	464±64.7 ^b	-
Specific growth rate ²		1.56±0.00 ^{ab}	1.57±0.10 ^{ab}	1.57±0.05 ^{ab}	1.72±0.05 ^a	1.42±0.09 ^b	-

¹(final weight-initial weight)×100/initial weight. ²[ln(final body weight)-ln(initial body weight)]×100/day. ns, Not significant (P>0.05); MWT, Mean water temperature; WF, Wheat flour. Values (mean±SE of three replications) in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

Table 3. Proximate composition (%) of whole body in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* fed the diets containing different wheat flour for 18 weeks

	Diets				
	WF0	WF7	WF14	WF21	WF28
Moisture	90.0±0.06 ^{ns}	89.4±0.12	89.8±0.37	90.0±0.26	89.6±0.18
Crude protein	4.6±0.09 ^a	4.9±0.07 ^a	4.9±0.09 ^a	4.9±0.12 ^a	5.2±0.09 ^b
Crude lipid	0.3±0.06 ^{ns}	0.3±0.03	0.4±0.03	0.4±0.03	0.4±0.03
Ash	3.2±0.06 ^{ns}	3.2±0.03	3.2±0.11	3.2±0.09	3.2±0.03

ns, Not significant ($P>0.05$); WF, Wheat flour. Values (mean±SE of three replications) in each row with a different superscript are significantly different ($P<0.05$).

단백질원을 절약할 수 있다(Wilson, 1994). 또한 탄수화물원은 단백질원 및 지질원에 비하여 일반적으로 가격이 싸기 때문에 양식 대상종에 대한 이용성과 적정 함량 구명이 연구되면 사료 가격을 낮출 수도 있다.

본 연구에서 사육실험 종료 시, 어린 해삼의 평균체중은 소맥분 함량 21% 실험구가 가장 높은 값을 보였으나 소맥분 함량 0–14% 실험구와는 유의한 차이가 없었지만, 소맥분 함량 28% 실험구에 비해 유의하게 높았다. Choi et al. (2009)의 어린 해삼 연구에서도 소맥분 함량 25% 첨가 실험구가 소맥분 40% 첨가 실험구에 비하여 유의하게 높은 증체량을 보여 사료 내에 높은 함량의 소맥분 첨가는 어린 해삼의 성장을 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다.

수산동물의 탄수화물 이용성은 품종에 따라서 차이를 보인다(NRC, 1993). 이러한 차이는 어종별 소화기관의 차이, 사료내 탄수화물원의 종류 및 탄수화물 함량에 영향을 받는 것 알려져 있다(Bergot, 1979; Hutchins et al., 1998). 잉어(*Cyprinus carpio*), 찬넬메기(*Ictalurus punctatus*) 및 틸라피아(*Tilapia zillii*)와 같은 온수성 초식 및 잡식성 담수어류는 연어류와 같은 냉수성 어류 및 해산어류에 비하여 일반적으로 탄수화물 이용성이 높은 것으로 알려져 있다(Wilson, 1994).

소맥분 함량을 35–60%로 다르게 첨가하여 제조한 사료로 꽃게다슬기를 사육한 Kim et al. (2010)의 연구에서도 소맥분 함량 45% 이상의 첨가 사료 실험구에서는 어린 꽃게다슬기(*Semisulcospira gottschei*)의 성장이 현저히 감소시키는 결과를 보였다. 대서양연어(*Salmo salar*)에서 사료내 고함량의 전분 첨가는 지질 및 전분 소화율을 감소시키는 것으로 보고되었다(Hemre et al., 1995).

국내 주요 양식어종인 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 치어를 탄수화물 함량이 다른 사료로 사육한 Lee and Kim (2009)의 연구에서 24–30% 탄수화물 첨가 사료 실험구가 6–18% 탄수화물 첨가 사료 실험구에 비해 성장과 사료효율이 유의하게 감소하는 결과를 보였다. Silver barb *Barbonymus gonionotus* 사료내 적정량 이상의 탄수화물 첨가는 조단백질 및 에너지 소화율을 감소시켰으며, 단백질 및 탄수화물 소화효소 활성도를 저하시키는 것으로 보고되었다(Mohanta et al., 2009). 따라서 양식

대상종 사료내 적합한 함량의 탄수화물 첨가는 양식생물의 최대 성장과 사료효율 증가를 위해 주요하게 고려될 필요가 있다.

해삼의 평균 체중은 모든 사료 실험구에서 사육실험 시작 후 9주까지(평균 수온 14.7°C)는 현저히 증가하였으나, 9주에서 13주까지(평균 수온 20.8°C)는 성장이 급격히 감소하였으며, 13주에서 18주까지(평균 수온 18.6°C)는 성장을 증가하는 경향을 보였다. 사육 기간별 이러한 성장 차이는 사육 시기별 평균 수온이 14.7°C, 20.8°C 및 18.6°C로 사육 9주에서 13주 동안에는 해삼의 성장에 적합한 수온보다 높았기 때문으로 판단된다.

어린 해삼을 실험사료와 상업사료로 장기간 사육한 기존 연구(Kim et al., 2017)에서도 본 연구 결과와 유사하게 평균수온 20.8°C 및 23.4°C의 여름철 사육기간 동안에는 해삼이 거의 성장하지 않거나 체중이 오히려 감소하는 결과를 보였다. Dong et al. (2006)의 연구에서 해삼의 성장을 위한 최적 수온은 16–18°C로 보고되었다. 또한 Yang et al. (2005)의 연구에서 해삼은 수온 20°C 이상에서는 사료섭취 및 성장이 감소하고, 25°C 이상에서는 여름잠(aestivation)을 자는 것으로 보고되었다.

본 연구에서 어린 해삼의 조단백질은 실험사료에 유의한 영향을 받았지만, 수분, 조지질 및 조회분 함량은 사료별로 유의한 차이를 보이지 않았다. 탄수화물 종류와 함량이 다른 사료로 어린 해삼을 사육한 Choi et al. (2009)의 연구에서는 해삼의 체성분은 사료별로 차이를 보이지 않았다. 이상의 결과로 볼 때, 어린 해삼 사료 내 소맥분은 21% 까지 사용하여도 생존율 및 성장도 저하가 없을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 해양수산부 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2026063)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Bergot F. 1979. Carbohydrate in rainbow trout diets: Effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition. *Aquaculture* 18, 157–167. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(79\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(79)90028-0).

- Choi J, Seo JY and Lee SM. 2009. Effects of sources and levels of dietary carbohydrate on growth and body composition of juvenile sea cucumbers, *Apostichopus japonicus*. Fish Aquat Sci 12, 203-208. <https://doi.org/10.5657/fas.2009.12.3.203>.
- Dong Y, Dong S, Tian X, Wang F and Zhang M. 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. <https://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>.
- Fredalina BD, Ridzwan BH, Abidin AA, Kaswandi MA, Zaiton H, Zali I, Kittakoop P and Jais AM. 1999. Fatty acid compositions in local sea cucumber, *Stichopus chloronotus*, for wound healing. Gen Pharmacol 33, 337-340. [https://doi.org/10.1016/S0306-3623\(98\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0306-3623(98)00253-5).
- Hemre GI, Sandnes K, Lie Ø, Torrissen Ø and Waagbø R. 1995. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: Growth and feed utilization. Aquacult Res 26, 149-154. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00896.x>.
- Hutchins CG, Rawles SD and Gatlin DM. 1998. Effects of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀×*M. saxatilis* ♂). Aquaculture 161, 187-199. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00269-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00269-X).
- Kim KD, Bae KM, Han HS, Kim KW, Lee BJ, Kim SS, Park KY and Kwon ON. 2016. Effects of the dietary inclusion of sea mud on the growth and body composition of juvenile sea cucumbers *Apostichopus japonicus*. Korean J Fish Aquat Sci 49, 26-29. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0026>.
- Kim KD, Bae KM, Kim KW, Lee BJ, Hur SW, Jang JW and Han HS. 2017. Evaluation of experimental practical diets for juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Korean J Fish Aquat Sci 50, 366-371. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0366>.
- Kim KD, Kim DH, Kim KW, Son MH, Kang YJ, Baek JM and Lee SM. 2010. Effects of dietary wheat flour content on the growth and body composition of the snail, *Semisulcospira gottschei*. Korean J Fish Aquat Sci 43, 747-750. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.747>.
- Kim KD, Kim KW, Lee BJ, Han HS and Bae KM. 2018. Effects of practical diets containing different seaweed powders on the growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Korean J Fish Aquat Sci 51, 142-147.
- Lee SM and Kim KD. 2009. Effects of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and body composition of juvenile and grower rockfish, *Sebastes schlegeli*. Aquacult Res 40, 1830-1837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02288.x>.
- Mohanta KN, Mohanty SN, Jena J, Sahu NP and Patro B. 2009. Carbohydrate level in the diet of silver barb, *Puntius gonionotus* (Bleeker) fingerlings: Effect on growth, nutrient utilization and whole body composition. Aquac Res 40, 927-937. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02186.x>.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., 1-128. <https://doi.org/10.17226/2115>.
- Seo JY, Choi J and Lee SM. 2010. Influences of dietary lipid source on the growth and fatty acid composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Fish Aquat Sci 13, 127-132.
- Seo JY, Kim DG, Kim GU, Cho SS, Park HG and Lee SM. 2009. Effect of different substrates in the rearing tank on growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. J Aquacult 22, 118-121.
- Seo JY and Lee SM. 2011. Optimum dietary protein and lipid levels for growth of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. Aquacult Nutr 17, 56-61. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00728.x>.
- Statistics Korea. 2025. Fishery Production Survey. Retrieved from <http://kosis.kr> on Jun 13, 2025.
- Wilson RP. 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture 124, 67-80. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90363-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90363-8).
- Xia B, Gao Q F, Wang J, Li P, Zhang L and Zhang Z. 2015. Effects of dietary carbohydrate level on growth, biochemical composition and glucose metabolism of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). Aquaculture 448, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.038>.
- Yang H, 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* (Selenka) with special reference to aestivation. Aquacult Res 36, 1085-1092. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01325.x>.