



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

수산학석사 학위논문

해삼 (*Apostichopus japonicus*) 현장사료  
평가 및 어분 대체 사료원 연구



2011년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산생물학과

Liu Yi

수산학석사 학위논문

해삼 (*Apostichopus japonicus*) 현장사료  
평가 및 어분 대체 사료원 연구



이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함

2011년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산생물학과

Liu Yi

# Liu Yi 의 수산학석사 학위논문을 인준함

2011년 8월



주 심 이 학박사 조 재 윤 (인)

위 원 이 학박사 김 종 명 (인)

위 원 영양학박사 배 승 철 (인)

# 목 차

Abstract .....	i
I. 서 론 .....	1
II. 본 론 .....	3
1. 실험 1: 해삼 현장사료 평가 .....	3
(1) 재료 및 방법 .....	3
(2) 결과 .....	16
2. 실험 2: 해삼 사료내 어분 대체 사료원의 영양평가 .....	20
(1) 재료 및 방법 .....	20
(2) 결과 .....	24
3. 고찰 .....	32
III. 요 약 .....	34
IV. 감사의 글 .....	35
V. 참고문헌 .....	36

Valuation of the practical feeds and the dietary fish meal replacer in sea cucumber(*Apostichopus japonicus*)

Liu Yi

Department of Fisheries Biology, Graduate School,  
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

**Abstract**

The present study was conducted to determine effect of dietary protein levels and the dietary fish meal replacer in juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. The first experiment was conducted to determine the evaluation of the optimum dietary protein level in juvenile sea cucumber. The second experiment was conducted to determine the evaluation of the optimum dietary fish meal replacer level in juvenile sea cucumber.

## Experiment 1: Evaluation of the practical feeds in sea cucumber

*(Apostichopus japonicus)*

This experiment was conducted to determine the evaluation of the optimum dietary protein level for juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Juvenile sea cucumber fed with 5 different diets: 2 commercial diets, commercial diet 1 (CD1) and commercial diet 2 (CD2); and 3 experimental diets: experimental diet 1 (Ex1), experimental diet 2 (Ex2) and experimental diet 3 (Ex3). Three of experimental diets have different crude protein (CP) levels, Ex1: CP20.7%, Ex2: 24.2%, Ex3: 28.7% and same crude lipid levels: 5%. Juvenile sea cucumber averaging  $0.75 \pm 0.01$  g (mean  $\pm$  SD) were randomly distributed into aquaria at 30 sea cucumber / aquarium, with three replicate aquaria for each experimental diet. Sea cucumber was fed the diets (dry matter basis) one time a day by 5% wet body weight. After 8 weeks of the feeding trial, weight gain (WG), specific growth rate (SGR) of sea cucumber fed the Ex1, Ex2. and Ex3. diets had significant higher than did sea cucumber fed the CD1 and CD2 diets. Although there is no significant difference among sea cucumber fed the Ex1, Ex2 and Ex3 diets, but Ex2 which contain CP24.2%, CL5.0% showed a descending order of diet Ex2 > Ex3 > Ex1 Survival rate and whole body composition of CP have no significant difference among sea cucumber fed with the five diets.

These results indicated that the optimum dietary supplementation level of crude protein could be 24% Based on the growth performance.

Experiment 2: Evaluation of the dietary fish meal replacer in sea cucumber  
(*Apostichopus japonicus*)

8 weeks feeding trial was conducted to evaluate the potential use of pork blood meal (BM) as a partial replacement for fish meal (FM) in the diet of juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Five experimental diets were formulated with pork blood meal replacing 0, 25, 50, 75, and 100% of the fish meal protein (Cont., F25, F50, F75, and F100, respectively). Juvenile sea cucumber averaging  $0.75 \pm 0.01$  g (mean  $\pm$  SD) were randomly distributed into aquaria at 30 sea cucumber / aquarium, with three replicate aquaria for each experimental diet. After 8 weeks of the feeding trial, Weight gain (WG) of sea cucumber fed Cont. diet, were significantly higher than that of sea cucumber fed F75 and F100 diets ( $P < 0.05$ ). There were no significant differences in WG among sea cucumber fed Cont., FM25 and FM50 ( $P < 0.05$ ). And, there were no significant differences in WG among sea cucumber fed F75, and F100 diets ( $P < 0.05$ ). In specific growth rate (SGR) of sea cucumber fed Cont. diets, was significantly higher than that of fish fed F75 and F100 diets ( $P < 0.05$ ). There were no significant differences in SGR among sea cucumber fed Cont., F25, and F50 diets. And there were no significant differences in SGR among those fed F75 and FM100 ( $P < 0.05$ ). The whole-body proximate composition showed crude protein (CP) of sea cucumber fed Cont., F25, F50, F75 were significantly higher than sea cucumber fed FM100 ( $P < 0.05$ ). And the whole-body proximate composition showed crude lipid (CL) of sea cucumber fed Cont., F25, and F50 diets were significantly higher than sea cucumber fed F75 and F100 diets ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference of the whole-body proximate composition in ash and moisture, respectively.

These results indicated that based on growth performance, the pork blood meal could replace up to 50% fish meal protein.



## I. 서 론

현재 한국의 양식은 수산물 수입 개방 등으로 해를 거듭할수록 경쟁력을 잃고 있다. 이는 한국 국내 시장에 적합한 품종의 생산이 제한되어 있기 때문이다. 따라서 국내 시장에 형성되어 있는 기존의 양식품종을 체계적으로 생산 할 수 있는 기술 개발을 시도해야 한다. 이러한 양식 품종 중, 해삼은 중국, 한국, 일본 및 러시아에서 식용으로 많이 이용되고 있는 수산생물로 영양소가 풍부하고 고부가가치성으로 각광받고 있는 종이다. 특히, 중국은 국민 기호식품으로 해삼을 즐기며 급속한 경제발전과 함께 폭발적인 소비가 이루어지고 있는 실정이다. 이에 인공종묘생산과 양식기술이 비약적으로 발전을 이루었지만, 아직 수요를 충족하지 못해 최대 양식생산국이 자 최대 수입국으로 남아있다. 한국의 경우 해삼은 연안 어장의 환경오염, 지구온난화, 해안 매립 등으로 산란장과 서식장이 매년 축소되고 있으며, 무절제한 남획으로 인해 해삼 자원량은 급감하고 있는 실정이다. 또한 대부분의 해삼종묘는 불법 반입에 의한 중국산인 것으로, 방류에 적합하지 않는 작은 개체, 장기간의 수송, 부적절한 관리에 등에 의해 대량폐사와 질병이 발생하고 있다. 사료 공급에 있어서도 검증되지 않은 사료원을 경험에 따라서 무분별하게 사용하고 있으며, 해삼사료의 영양에 대한 표준화가 이루어지지 않아 낮은 성장률, 고비용 사료로 인해 양식어가에서는 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 현재 한국 국내 해삼 자원 확보와 양식산업의 새로운 탈출구로 해삼 양식 연구가 활발히 진행되고 있으며

이것에 맞추어 해삼 종묘 생산과 적합한 배합 사료 개발이 요구되어지고 있다.

따라서, 본 연구는 다음과 같이 진행하였다.



## II. 본 론

### 1. 실험 1: 해삼 현장사료 평가

#### (1) 재료 및 방법

##### ① 현장사료 일반성분 분석

현장사료 (사료 수급 지역: 전라남도 완도, 중국 산둥성) 샘플의 수분, 조단백질, 조지방 및 회분 함량은 AOAC(1995) 표준방법으로 정량하였다. 표1에서 국내 현장 배합사료 CD1의 배합 조성비와 일반성분을 요약하였고, 표2에서 수입사료 CD2의 일반성분을 표기하였다.

Table 1. Composition of the commercial diet1 for juvenile sea cucumber (%DM)

조성분	%
지충이 가루	5.0
해조류 가루	21.0
키조개 부산물	3.2
효모	0.3
복합 비타민	0.2
항생제	0.3
빨	70.0
일반성분	
수분	4.1
조단백질	10.9
조지방	0.4
조회분	75.1

Table 2. Composition of the commercial diet 2 for juvenile sea cucumber  
(% dry matter basis)

일반성분	%
수분	5.54
조단백질	20.1
조지방	0.53
조회분	49.8

## ② 국내 및 수입산 현장사료의 아미노산 조성

본 아미노산 분석 및 조성의 함량은 AOAC (1995)표준 방법에 의해 정량분석 하였으며, 실험사료의 아미노산 분석치는 표3에 표기 하였다.

Table 3. Proximate amino acid composition of the commercial diets for juvenile sea cucumber (% dry matter basis )

Name	CD1	CD2
Asp.	0.76	1.66
Thr.	0.35	0.69
Ser.	0.36	0.74
Glu.	1.06	2.55
Pro.	0.30	0.70
Gly.	0.54	0.87
Ala	0.46	0.94
Val.	0.47	0.93
Ile.	0.32	0.71
Leu	0.53	1.19
Tyr.	0.11	0.53
Phe.	0.32	0.78
His.	0.48	0.60
Lys.	0.54	0.96
Arg.	0.54	1.23

### ③ 국내 및 수입산 현장사료의 지방산 조성

실험사료 중 국내 및 수입산 현장사료 (CD1, CD2) 의 지방산 조성 및 함량은 Gas Chromatography를 통하여 정성분석 하였으며, 그 결과는 표4에 나타내었다.



**Table 4. Proximate fatty acid composition of the commercial diets for juvenile sea cucumber (% dry matter basis )**

Name	CD1	CD2
C14:0	3.86	6.54
C14:1	0.09	0.28
C15:0	0.80	0.60
C15:1	0.08	0.41
C16:0	40.01	42.42
C16:1	6.44	5.63
C17:0	0.15	0.67
C17:1	1.23	0.22
C18:0	11.61	4.35
C18:1	16.20	19.87
C18:2n9c(n-6)	4.09	11.68
C18:2n9t	0.00	0.00
C18:3n6,9,12c(n-6)	1.39	0.00
C18:3n9,12,15c(n-3)	0.36	1.45
C20:0	2.23	0.68
C20:1	0.59	1.59
C20:2	1.24	0.00
C20:3	0.25	0.00
C20:4	0.43	1.43
C21:0	3.31	0.00
C20:5	0.44	1.44
C22:0	1.369	0.00
C22:1	0.48	0.00
C23:0	0.66	0.00
C24:0	2.01	0.00
C22:6	0.14	0.75

#### ④개선된 배합사료 성분 조성표 작성

개선된 배합사료는 단백질 함량을 20%, 24%, 28%(Ex1, Ex2, Ex3)로 각각 설정하여 사료내 대표적 영양소인 단백질 요구량을 평가하였으며 지방 함량은 5%로 동일하게 설정하였다. 그리고 개선된 사료에 사용된 사료원은 단백질원으로 어분, 오징어간분, 오징어분, 대두박, 콘글루텐밀을 사용하였으며, 탄수화물원으로 지충이 가루, 다시마 가루를 지질원으로 어유를 사용하였다. 개선된 사료의 사료 배합표와 일반성분 분석은 표5에 나타내었다.





**Table 5.** Composition of the experimental diets for juvenile sea cucumber  
(% dry matter basis )

성분	Ex1	Ex2	Ex3
어분	7.5	10	12.5
대두박	7.0	9.0	11.0
오징어 간분	4	6	7.5
오징어분	1.65	2.65	3.65
콘글루텐밀	4.0	4.0	4.0
지층이 가루	3.0	3.0	3.0
키조개 부산물	2.0	2.0	2.0
다시마 가루	41.5	37.5	33.65
어유	1.5	1.0	0.7
쌀	24.85	22.35	19.5
효모	0.5	0.5	0.5
복합 비타민 <sup>1</sup>	1.0	1.0	1.0
복합 미네랄 <sup>2</sup>	1.0	1.0	1.0
<b>일반 성분</b>			
수분	18.0	15.8	15.0
조 단백질	20.7	24.2	28.7
조 지방	4.99	5.02	5.14
조 회분	36.4	33.8	32.0

<sup>1</sup>Contains (as mg/kg in diets) : Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150 ; Choline bitatrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- $\alpha$ -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B<sub>12</sub>, 0.06

<sup>2</sup>Contains (as mg/kg in diets) : NaCl, 437.4; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 1379.8; NaH<sub>2</sub>P<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 877.8; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 1366.7; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2414; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO<sub>4</sub>, 0.016; FeSO<sub>4</sub>, 0.0378; CuSO<sub>4</sub>, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO<sub>3</sub>, 0.00025

개선된 배합 사료의 아미노산 조성 및 함량은 AOAC (1995)방법에 의해 정량 분석 되었으며, 분석치는 표6에 나타내었다.

Table 6. Proximate amino acid composition of the experimental diets for juvenile sea cucumber (% dry matter basis )

Name	Ex1	Ex2	Ex3
Asp.	1.25	1.51	1.64
Thr.	0.56	0.68	0.73
Ser.	0.58	0.69	0.80
Glu.	2.53	3.03	3.36
Pro.	0.86	1.01	0.98
Gly.	0.79	0.92	1.03
Ala	0.71	0.85	0.98
Cys.	0.02	0.01	0.01
Val.	0.60	0.75	0.84
Met	0.08	0.08	0.07
Ile.	0.65	0.78	0.87
Leu	1.05	1.23	1.40
Tyr.	0.49	0.57	0.64
Phe.	0.64	0.76	0.85
His.	0.47	0.52	0.64
Lys.	0.56	0.71	0.78
Arg.	0.48	1.04	1.20

개선된 배합 사료의 지방산 조성 및 함량은 Gas Chromatography를 통하여 정성분석 하였으며, 그 결과는 표7에 나타내었다.

Table 7. Proximate fatty acid composition of the experimental diets for juvenile sea cucumber (% dry matter basis )

Name	Ex1	Ex2	Ex3
C14:0	5.95	5.54	5.11
C14:1	0.11	0.10	0.04
C15:0	0.36	0.41	0.45
C16:0	15.07	16.53	17.53
C16:1	4.48	4.12	4.00
C17:0	0.28	0.23	0.21
C17:1	0.25	0.29	0.35
C18:0	2.90	3.51	4.00
C18:1	27.00	26.95	26.63
C18:2n9c(n-6)	9.67	11.18	12.16
C18:3n6,9,12c(n-6)	1.55	1.73	1.84
C18:3n9,12,15c(n-3)	0.91	0.81	0.79
C20:0	8.52	6.59	4.21
C20:1	0.56	0.55	0.53
C20:2	2.75	2.74	2.67
C20:3	0.14	0.14	0.14
C20:4	0.20	0.24	0.25
C20:5	4.82	4.43	4.54
C22:0	6.95	5.23	4.51
C22:2	0.14	0.13	0.14
C23:0	0.30	0.41	0.48
C24:0	0.54	0.57	0.64
C22:6	6.54	7.60	8.76

## ⑤현장사료와 개선된 사료와의 사육효과 비교

### a. 실험어 및 사육관리

실험어는 전남 완도에서 약 0.75g의 치 해삼 (*Apostichopus japonicus*) <그림1>, 1,000마리 이상 확보하여 실험지인 포항사료연구센터로 운반하였으며, 1500L 원형수조에서 실험환경에 적응할 수 있도록 1주간 예비사육 하였다. 예비사육 후 실험어는 50L 사각수조에 각 실험구당 30마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 실험수조는 유수식(0.5L/min)으로<그림3> 설정하였으며 충분한 산소 공급을 위하여 산소 공급장치를 설치하였다. 전 실험기간 동안 평균 수온은 냉각기를 이용하여 약 16℃ 내외로 유지 시켰다. 총 사육실험기간은 8주로 설정하였다.

b. 개선된 배합사료 및 실험 설계



<그림 1> 실험용 치해삼



<그림 2> 국내 및 수입산 현장사료

실험사료는 국내 및 수입산 현장사료를<그림2> 사용하였으며 해삼의 적정 단백질 요구량을 설정하기 위하여 개선된 배합사료 3개(Ex1: 조단백 20%, Ex2: 조단백 24%, Ex3: 조단백 28%) 총 5개 실험구를 설정하였다. 개선된 배합사료는 단백질원으로 어분, 오징어간분, 오징어분, 대두박, 콘글루텐밀을 사용하였으며, 탄수화물원으로 지층이 가루, 다시마 가루를 지질원으로 어유를 사용하였다. 실험용 배합사료는 모든 원료를 혼합한 후 펠렛제조기로 압출·성형하였으며, 입자는 크기 100um sieve을 이용하여 크럼블형태로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다. 사육수는 냉각기를 이용하여 약 16℃를 유지 하였으며 사료공급량은 유입되는 해수를 단수 시킨 후, 어체중의 5%(건물량 기준)로 1일 1회(오후 18:00h) 공급 하였다. 그리고 사료공급 2시간 후, 사이폰을 통하여 찌꺼기 및 배설물을 제거하였다.

### c. 샘플 수집 및 분석



<그림 3> 해삼실험을 위해 제작된 실험수조

8주간 실험 종료 후, 전체 실험어의 무게 및 마리수를 측정 하고 증체율, 일간성장률, 생존률을 평가하였다. 아미노산 및 일반성분 분석을 위하여 각 수조마다 10마리씩 무작위로 샘플링 하였다. 전 어체의 조단백질, 수분과 회분은 Association of Official Analytical Chemists (AOAC 1995)에 따라 분석을 실시하였고, 조지방은 샘플을  $-80^{\circ}\text{C}$ 에서 20시간 동결건조 후 Gas Chromatography를 이용하여 분석하였다.

#### d. 통계처리

모든 자료는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, MN. USA)로 ANOVA(Analysis of variance) test를 실시하여 최소 유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

### (2) 결과

#### ① 해삼의 적정 단백질 요구량 설정을 위한 사육 실험 결과

Weight gain (WG)과 Specific growth rate(SGR)은 Ex2가 국내 및 수입산 현장사료 보다 유의하게 높게 나타났다( $P<0.05$ ). 하지만 Ex1, Ex3 과 국내 및 수입산 현장사료 간에는 유의한 차이가 없었다( $P<0.05$ ). WG, SGR 및 Survival rate는 표8에 나타내었다.



Table 8. WG, SGR and survival rate of juvenile sea cucumber fed experimental diets and commercial diets for 8weeks.

	CD1	CD2	diets Ex1 <sup>1</sup>	Ex2 <sup>2</sup>	Ex3 <sup>3</sup>
Initial Weight(g)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Final Weight(g)	1.74	1.94	2.50	2.90	2.57
Weight gain(%)	133.9 <sup>b</sup>	159.8 <sup>b</sup>	233.9 <sup>ab</sup>	286.3 <sup>a</sup>	243.3 <sup>ab</sup>
Specific growth rate(%)	1.12 <sup>b</sup>	1.44 <sup>b</sup>	1.82 <sup>ab</sup>	2.20 <sup>a</sup>	1.94 <sup>ab</sup>
Survival rate(%)	76.7	91.1	93.3	85.0	91.1

<sup>1</sup>Ex1(CP20%)

<sup>2</sup>Ex2(CP24%)

<sup>3</sup>Ex3(CP28%)

## ② 해삼 전어체의 일반성분

실험 종료 후 조지방은 Ex1, Ex2, Ex3 이 국내 및 수입산 현장 사료 보다 유의하게 높게 나타났으며 수분, 조단백질 및 회분은 Ex1, Ex2, Ex3 간에 유의한 차이가 없었다( $P < 0.05$ ). 그리고 수분, 조단백질, 조지방 및 회분의 분석결과는 표9에 나타났다.

Table 9. Whole-body proximate composition of juvenile sea cucumbers fed experimental diets and commercial diets for 8 weeks (% dry matter basis).

	diets				
	CD1	CD2	Ex1 <sup>1</sup>	Ex2 <sup>2</sup>	Ex3 <sup>3</sup>
Moisture(%)	91.0	91.7	92.5	91.5	92.0
Crude Protein(%)	37.3	39.9	37.0	35.5	38.0
Crude Lipid(%)	3.2 <sup>b</sup>	3.1 <sup>b</sup>	5.1 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>
Ash(%)	42.6	40.6	42.9	43.6	42.8

<sup>1</sup>Ex1(CP20%)

<sup>2</sup>Ex2(CP24%)

<sup>3</sup>Ex3(CP28%)

### ③ 해삼 전어체의 아미노산 조성

실험 종료 후 해삼 전어체의 아미노산 조성 및 함량은 AOAC (1995) 방법에 의해 정량 분석 되었으며, 그 결과는 표10에 나타내었다.

Table 10. Whole-body amino acid proximate composition of juvenile sea cucumbers fed experimental diets and commercial diets for 8 weeks (% dry matter basis).

Name	CD1	CD2	Ex1	Ex2	Ex3
Asparagine	3.94	4.38	4.02	2.82	4.39
Threonine	1.63	1.90	1.73	1.88	1.94
Serine	1.55	1.71	1.53	1.65	1.70
Glutamine	5.48	6.12	5.83	5.76	6.28
Proline	2.22	2.79	2.69	2.43	2.38
Glycine	2.76	3.38	2.53	2.77	3.01
Alanine	0.86	1.00	0.87	0.94	1.03
Valine	1.70	1.79	1.68	1.78	1.81
Isoleucine	1.28	1.48	1.36	1.43	1.44
Leucine	1.90	2.41	2.06	2.17	2.20
Tyrosine	0.94	1.02	0.94	1.11	1.07
Phenylalanine	1.21	1.52	1.32	1.37	1.42
Histidine	0.83	0.95	0.90	0.91	0.97
Lysine	3.73	2.07	2.01	1.98	2.10
Arginine	2.03	2.35	2.02	2.08	2.34

## 2. 실험 2: 해삼의 사료내 어분 대체 사료원의 영양 평가

### (1) 재료 및 방법

#### ① 대체 사료원 선정

어분대체원은 혈분, 음식물 쓰레기, 해조류 부산물을 선택하였으며, 이들의 일반성분은 AOAC (1995)방법에 의해 분석 되었으며, 그 결과는 표11에 나타내었다.

Table 11. Composition of the pork blood meal, food waste, seaweed products(% dry matter basis )

	수분(%)	조단백질(%)	조지방(%)	조회분(%)
혈분	6.96	98.0	0.40	1.40
음식물 쓰레기	16.8	21.9	12.5	12.9
해조류 부산물	16.8	6.30	4.10	20.5

국산 어분과 혈분의 아미노산 조성의 비교결과는 표12에 나타내었다.

Table 12. Proximate amino acid composition of pork blood meal and fish meal(% dry dry matter basis )

	혈분 (%)	국산 어분 (%)
Arginine	3.7	4.2
Histidine	6.3	1.3
Lysine	8.6	4.5
Leucine	12.4	4.5
Isoleucine	0.5	2.7
Methionine	1.0	1.7
Phynylalanine	6.8	2.3
Threonine	3.6	2.6
Tryptophan	1.5	0.6
Valine	9.2	3.0
Tyrosine	2.1	1.9
Cysteine	0.7	0.8

대체 사료원으로 선택된 혈분은, 조단백질의 함량이 98%로 음식물 쓰레기, 해조류 부산물 보다 높으며 가공과정에서 저온 분사 건조법을 사용하여 아미노산 파괴 또는 전환이 일어나지 않았기 때문에 아미노산 소화율도 96-99%에 이르며, 용해성도 뛰어난 것으로 보고되었다(Harimix info. 1992). Asgardand Austreng(1986)은 혈액 단백질의 소화율이 무지개송어에서 97%로 어분단백질보다 매우 높다고 보고하였다. 혈분은 어분에 비해 상대적으로 필수아미노산인 arginine, isoleucine, methionine이 적게 함유하고 있지만, histidine, lysine, leucine, phenylalanine, valine은 어분에 비해 많이 함유하고

있다. 해조류는 조단백질이 6.3%로 낮아서 단백질 대체원으로 사용하기에 적합하지 않았다. 그리고 음식물 쓰레기는 계절별로 조성이 달라 영양소 조성기준을 설정하기 힘들어 단백질 대체원으로 사용할 수 없었다. 따라서, 혈분을 단백질 대체원으로 선정하였다.

## ② 실험어 및 사육관리

실험어는 전남 완도에서 약 0.75g의 치 해삼 (*Apotichopus japonicus*)을 1,000마리 이상 확보하여 실험지인 포항사료연구센터로 운반하였으며, 1500L 원형수조에서 실험환경에 적응할 수 있도록 1주간 예비사육 하였다. 예비사육 후 실험어는 50L 사각수조에 각 실험구당 30마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 실험수조는 유수식(0.5L/min)으로 설정하였으며 충분한 산소 공급을 위해 산소공급장치를 설치하였다. 전 실험 기간 동안 평균 수온은 냉각기를 이용하여 약 16℃ 내외로 유지 시켰다. 총 사육 실험 기간은 8주로 설정하였다.

## ③ 개선된 배합사료 및 실험 설계

기 사용되는 국내 및 수입산 현장사료와의 개선된 배합사료와의 사육 효과 비교 결과 최적의 조성은 조단백질 24.2%, 조지방 5.02%로 나타났으며 이를 기준으로 하여 개선된 배합사료의 조성을

설정하였다. 각 실험구는 혈분을 사용하여, 어분 단백질을 대체하지 않은 대조구(Cont.)와 25%, 50%, 75%, 100%(F25, F50, F75, F100)를 대체한 실험구로 설정하였다. 사료원은 단백질원으로 어분, 오징어간분, 오징어분, 대두박, 콘글루텐밀을 사용하였으며, 탄수화물원으로 지층이 가루, 다시마 가루를 지질원으로 어유를 사용하였다. 그리고 모든 원료를 혼합한 후 펠렛제조기로 압출·성형하였으며, 입자크기는 100um sieve을 이용하여 크럼블 형태로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20℃에 냉동 보관 하였다. 사육 수온은 냉각기를 이용하여 약 16℃를 유지 하였으며 사료공급량은 유입되는 해수를 단수 시킨 후, 어체중의 5%로 1일 1회(오후 18:00h) 공급 하였다. 그리고 사료공급 2시간 후, 사이폰을 통하여 찌꺼기 및 배설물을 제거하였다.

#### ④ 샘플 수집 및 분석

8주간 실험 종료 후, 전체 실험어의 무게 및 마리수를 측정 하고 증체율, 일간성장률, 생존률을 평가하였다. 아미노산 및 일반성분 분석을 위하여 각 수조마다 10마리씩 무작위로 샘플링 하였다. 전어체의 일반성분 분석은 Association of Official Analytical Chemists (AOAC 1995)에 따라 분석을 실시 하였다.

## ⑤ 통계처리

모든 자료는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, MN. USA)로 ANOVA(Analysis of variance) test를 실시하여 최소 유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

## (2) 결과

### ① 개선된 배합사료의 배합표와 일반성분

개선된 배합사료는 총 5개로 제작 되었으며, 각 실험구는 혈분을 사용하여, 어분 단백질을 대체하지 않은 대조구(Cont.)와 25%, 50%, 75%, 100%(F25, F50, F75, F100)를 대체한 실험구로 설정하였다. 사료 배합표와 일반성분 분석치는 표 13에 나타내었다.



**Table 13.** Composition of the experimental diets for juvenile sea cucumber  
(% dry matter basis )

성분	Cont.	F25	F50	F75	F100
어분	10.0	7.5	5.0	2.5	0
혈분	0.00	1.55	3.10	4.65	6.20
대두박	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
오징어 간분	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
오징어분	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
콘글루텐밀	4.00	3.87	3.84	3.81	3.78
지층이 가루	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
키조개부산물	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
다시마 가루	37.5	38.33	39.15	39.90	40.70
어유	1.00	1.25	1.41	1.64	1.82
멜	22.35	22.35	22.35	22.35	22.35
효모	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
복합 비타민 <sup>1</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
복합 미네랄 <sup>2</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>일반 성분</b>					
수분	8.66	8.48	9.05	8.73	8.90
조 단백질	24.21	24.27	23.98	24.18	24.07
조 지방	5.02	4.98	5.14	4.87	5.08
조 회분	33.80	34.80	33.96	33.16	32.30

<sup>1</sup>Contains (as mg/kg in diets) : Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitatrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150; Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- $\alpha$ -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate,6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B<sub>12</sub>, 0.06

<sup>2</sup>Contains (as mg/kg in diets) : NaCl, 437.4; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 1379.8; NaH<sub>2</sub>P<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 877.8; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 1366.7; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2414; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 226.4; Fe-Citrate, 299; Ca-lactate, 3004; MnSO<sub>4</sub>, 0.016; FeSO<sub>4</sub>, 0.0378; CuSO<sub>4</sub>, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO<sub>3</sub>, 0.00025

## ② 개선된 배합사료의 아미노산 조성

개선된 배합사료의 아미노산 조성은 AOAC (1995)방법에 의해 정량 분석 되었으며, 그 결과는 표 14에 나타내었다.

Table 14. Proximate amino acid composition of the experimental diets for juvenile sea cucumber (% dry matter basis )

Name	Cont.	F25	F50	F75	F100
Asp.	1.51	1.75	1.66	1.56	1.71
Thr.	0.68	0.78	0.70	0.65	0.75
Ser.	0.69	0.88	0.81	0.77	0.94
Glu.	3.03	3.85	3.50	3.24	4.76
Pro.	1.01	0.92	0.77	0.76	0.91
Gly.	0.92	0.99	0.92	0.80	0.85
Ala	0.85	1.09	1.06	0.96	1.07
Val.	0.75	0.91	0.90	0.81	1.04
Ile.	0.78	0.77	0.69	0.59	0.64
Leu	1.23	1.48	1.45	1.38	1.73
Tyr.	0.57	0.68	0.54	0.47	0.60
Phe.	0.76	0.37	0.88	0.85	1.13
His.	0.52	0.51	0.52	0.49	0.64
Lys.	0.71	1.01	0.99	0.89	1.03
Arg.	0.48	1.01	0.98	0.85	0.97

### ③ 개선된 배합사료의 지방산 조성

개선된 배합사료의 지방산 조성은 Gas Chromatography를 통하여 정성분석 하였으며, 그 결과는 표 15에 나타내었다.



Table 15. Proximate fatty acid composition of the experimental diets for juvenile sea cucumber (% dry matter basis )

Name	Cont.	F25	F50	F75	F100
C14:0	5.48	5.60	5.75	5.97	6.35
C14:1	0.04	0.043	0.03	0.03	0.08
C15:0	0.41	0.36	0.31	0.27	0.21
C15:1	0.23	0.19	0.20	0.20	0.21
C16:0	15.60	14.98	14.18	13.49	12.61
C16:1	4.30	4.39	4.17	4.33	4.46
C17:0	0.29	0.24	0.262	0.22	0.21
C17:1	0.31	0.36	0.38	0.42	0.48
C18:0	3.29	3.10	2.81	2.54	1.78
C18:1	26.68	25.95	26.48	26.68	26.59
C18:2n9c(n-6)	9.79	10.09	10.68	10.50	12.27
C18:3n6,9,12c(n-6)	1.66	1.63	1.71	1.67	1.58
C18:3n9,12,15c(n-3)	0.97	0.97	0.97	0.99	1.01
C20:0	6.68	8.13	8.72	9.67	10.92
C20:1	0.62	0.62	0.66	0.67	0.27
C20:2	2.70	2.54	2.65	2.59	2.59
C20:3	0.19	0.18	0.21	0.20	0.22
C20:4	0.27	0.26	0.24	0.24	0.21
C21:0	5.23	5.18	5.02	5.20	4.96
C20:5	5.18	6.39	6.73	7.54	8.90
C22:0	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09
C22:1	0.19	0.21	0.20	0.21	0.22
C22:2	0.63	0.56	0.50	0.40	0.29
C23:0	0.67	0.62	0.51	0.46	0.32
C24:0	8.46	7.31	6.46	5.31	3.07

④ 해삼 사료내 어분의 적정 대체량 설정을 위한 사육실험 결과

실험 종료 후 WG와 SGR의 결과 F25, F50는 Cont. 과 유의한 차이가 없었고 F75, F100은 Cont. 보다 유의하게 낮게 나타났다 ( $P<0.05$ ). WG, SGR 및 Survival rate은 표 16에 나타내었다.

Table 16. WG, SGR and survival rate of juvenile sea cucumbers fed experimental diets for 8 weeks.

	diet					Pooled SEM
	Cont	F25	F50	F75	F100	
Initial Weight(g)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00
Final Weight(g)	3.65	3.32	3.36	2.66	2.90	0.14
Weight gain(%)	391.4 <sup>a</sup>	345.6 <sup>ab</sup>	346.8 <sup>ab</sup>	262.0 <sup>c</sup>	280.0 <sup>bc</sup>	3.61
Specific growth rate(%)	2.66 <sup>a</sup>	2.47 <sup>ab</sup>	2.51 <sup>ab</sup>	2.00 <sup>c</sup>	2.21 <sup>bc</sup>	0.21
Survival rate(%)	91.1	91.1	95.0	85.6	83.3	6.38

### ⑤ 해삼 전어체의 일반성분 조성

실험 종료 후 조단백질은 Cont., F25, F50, F75, 사이에 유의한 차이가 없으며 F100은 Cont., F25, F50, F75보다 유의하게 낮게 나타났다. 조지방은 Cont. F25, F50, 사이에 유의한 차이가 없으며 F75, F100은 Cont., F25, F50,보다 유의하게 낮게 나타났다. 수분과 회분은 Cont.과 개선된 배합사료 간에 유의한 차이가 없었다 ( $P < 0.05$ ). 수분, 조단백질, 조지방, 회분의 분석결과는 표 17에 나타내었다.

Table 17. Whole-body proximate composition of juvenile sea cucumber fed experimental diets for 8 weeks (% dry matter basis).

	diets					Pooled SEM
	Cont.	F25	F50	F75	F100	
Moisture(%)	91.4	91.0	91.4	91.5	91.2	0.11
Crude Protein(%)	37.9 <sup>a</sup>	37.3 <sup>a</sup>	37.4 <sup>a</sup>	37.9 <sup>a</sup>	30.0 <sup>b</sup>	0.25
Crude Lipid(%)	5.5 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	3.5 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	0.29
Ash(%)	41.8	41.5	43.3	40.8	41.7	0.40

### ⑥ 해삼 전어체의 아미노산 조성

실험 종료 후 해삼 전어체의 아미노산 조성 및 함량은 AOAC (1995)방법에 의해 정량 분석 되었으며, 그 결과는 표 18에 나타내었다.

Table 18. Whole-body proximate amino acid composition of sea cucumber fed experimental diets for 8 weeks (% dry matter basis )

	Cont.	F25	F50	F75	F100
Asparagine	4.26	4.43	4.39	4.13	4.14
Threonine	1.88	1.95	1.86	1.85	1.77
Serine	1.69	1.77	1.75	1.80	1.65
Glutamine	6.34	6.41	6.34	6.35	6.03
Proline	2.13	1.99	1.87	2.23	2.25
Glycine	2.97	2.80	2.85	2.65	2.93
Alanine	0.95	1.05	0.85	0.98	0.97
Valine	1.77	1.91	1.80	1.80	1.61
Isoleucine	1.49	1.52	1.41	1.44	1.23
Leucine	2.27	2.32	2.17	2.30	1.93
Tyrosine	1.11	1.22	1.12	1.20	0.99
Phenylalanine	1.45	1.54	1.39	1.38	1.24
Histidine	0.97	1.00	0.90	1.02	0.95
Llysine	2.07	2.26	2.05	2.34	1.91
Arginine	2.20	2.34	2.29	2.19	2.11

### 3. 고찰

국내 및 수입산 해삼 현장 사료의 분석 결과, 국내산 현장 사료 (CD1)는 조단백질 10.9%, 조지방 0.41%, 회분 75.1%로 나타났으며 수입산 현장 사료(CD2)는 조단백질 20.1%, 조지방 0.53%, 회분 49.9%로 나타났다. 따라서 국내 및 수입산 해삼 현장 사료는 해삼이 성장하는데 필요한 가용 영양소의 비중이 국내 주요 해산 어종인 넙치 사료내 적정 조단백질(46~51%)과 조지방(10%) 함량보다는 현저히 낮게 나타났다(Kim et al., 2002).

1차적으로 국내 및 수입산 현장사료보다 개선된 해삼사료를 제작하고자 배합표를 작성하였으며 동시에 사료내 주요 영양소인 단백질 요구량을 규명하기 위하여 실험이 진행되었다. 실험 결과 국내 및 수입산 현장사료와 개선된 배합사료 3가지(조단백 Ex1. 20.7%, Ex2. 24.2%, Ex3. 28.7%) 총 5가지 사료를 이용하여 8주간의 실험을 수행한 결과 조단백질 함량이 24.2%인 실험구가 국내 및 수입 현장사료 보다 증체율(WG)과 일간성장률(SGR)이 유의하게 높게 나타났다. 이러한 결과는 ZHU and Mai( 2004)가 치해삼의 적정 단백질 요구량을 평가한 조단백질 18.2~24.2%와 유사한 것으로 나타내었다. 따라서 개선된 배합사료의 적정 단백질 수준은 24.2%로 설정을 하였다.

어분 대체원으로 고려된 세가지 사료원 중 해조류는 조단백질이 6.3%로 낮아서 어분 대체원으로 사용하기에 적합하지 않았고, 음식물 쓰레기는 계절별로 조성이 달라 영양소 조성기준을 설정하기 힘



들어 어분 대체원으로 사용 할 수 없었다. 따라서, 조단백이 98%인 혈분을 선택하게 되었다. 대체 사료원으로 선택된 혈분은, 가공과정에서 저온 분사 건조법을 사용하여 아미노산 파괴 또는 전환이 일어나지 않았기 때문에 어류에 있어서는 아미노산 소화율이 96-99%에 이르며, 용해성도 뛰어난 것으로 알려져 있다(Harimix info, 1992). Asgard and Austreng(1986)은 혈분 단백질의 소화율이 무지개송어에서 97%로 어분 단백질 보다 매우 높다고 보고하고 있으며 국내산 어분과 혈분의 아미노산을 분석한 결과, 혈분이 상대적으로 histidine, lysine, leucine, phenylalanine, valine을 어분에 비해 많이 함유하고 있는 것으로 확인되었다. 뱀장어 치어(Japanese eel)의 경우 혈분을 사용하여 사료내 단백질을 대체하였을 경우 50%까지 대체할 수 있으며 필수아미노산을 첨가하면 최대 75%까지 대체할 수 있는 것으로 알려져 있다(Lee and Bai, 1997). 또한, 잉어(Common carp)는 100%를 대체할 수 있는 것으로 나타났으며(Song et al., 1995) 나일틸라피아(Nile Tilapia)는 어분 단백질의 50%까지 대체 가능한 것으로 나타났다(Lee and Bai, 1997). 본 실험의 결과, 혈분을 사용하여 개선된 치해삼 배합사료내 어분 단백질을 대체한 경우 최대 50%까지 대체 가능한 것으로 나타났다.

따라서, 기존의 국내 및 수입산 해삼사료를 개선한 해삼 배합사료를 제작 했다. 치 해삼의 적정 단백질 함량은 24.2%로 추정되었으며, 상기와 같은 개선된 해삼 배합사료를 기준으로 배합사료내 어분 단백질은 혈분으로 최대 50%까지 대체 되었다.

### Ⅲ. 요 약

본 연구는 해삼(*Apostichopus japonicus*)을 위한 현장사료 평가와 어분대체 사료원 선정을 위하여 수행 하였다.

국내 및 수입산 현장사료와 개선된 배합사료 3가지(Ex1, Ex2, Ex3)총 5가지 사료를 이용하여 8주간의 실험을 수행하였다. 실험결과 조단백질 함량이 24.2%인 Ex2가 현장 및 수입사료 보다 증체율(WG)과 일간성장률(SGR)에서 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 따라서, 치해삼 사료내 조단백질의 적정함량은 24.2%로 확인 되었으며, 또한 본 실험을 통하여 개선된 해삼사료는 단백질의 함량을 24.2%로 했을 경우 기존의 국내 및 수입산 현장 해삼사료 보다 월등히 우수함이 입증되었다.

적정 단백질함량확인 실험을 통해서 해삼 사료내 적정 단백질 함량을 24%로 하였으며, 어분대체 사료원으로 혈분을 선택하였다. 각 실험구는 혈분을 사용하여 어분 단백질을 대체하지 않은 대조구(Cont.)와 25%, 50%, 75%, 100%(F25, F50, F75, F100)를 대체한 실험구로 설정하여 총 8주간 실험을 수행하였다. 실험 결과 F25와 F50는 대조구에 비하여 증체율(WG)과 일간성장률(SGR)에서 통계적으로 유의적인 차이가 없었다( $p < 0.05$ ). 따라서, 혈분을 이용하여 치해삼 사료내 어분 단백질을 최대 50%까지 대체 가능한 것으로 확인 되었다.

#### IV. 감사의 글

본 논문에 대한 디자인에서부터 전 실험과정에 이르기까지 부족한 저에게 과학적이고 논리적인 사고로서 학문이 길이 무엇인지를 마음속 깊이 심어주신 지도교수 배승철 교수님께 진심어린 존경과 감사의 말씀을 올리며, 아울러 바쁘신 와중에서도 부족한 논문의 심사를 맡아주신 조재윤 교수님과 김종명 교수님께도 감사드립니다. 그리고 석사과정동안 강의 및 세미나를 통해 학문적 지식과 연구자의 길을 일깨워주신 허성범 교수님, 장연진 교수님, 김창훈 교수님, 김동수 교수님, 남윤권 교수님, 공승표 교수님께도 깊은 감사드립니다. 그리고 실험을 도와 주신 국립수산과학관 양식 사료연구센터 손맹현 센터장님, 김강웅 연구관님과 실험실원들에게도 감사드립니다. 본 연구에 필요한 재정지원을 해 주신 국립수산과학원 남서해수산연구소에도 감사를 드립니다. 본 실험에 원활히 수행 할 수 있도록 도와주신 국립수산과학원 남서해수산연구소 김태익 연구관님께도 감사드립니다.

그리고 언제나 사고만 치는 저를 감싸주시고 격려해 주시며 부족한 점을 가르쳐 주신 배준영, 김영철, 이승형, 이준호, 용현형 선배님, 본 연구에 많이 도와주었던 과 친구 남용, 건현이, 그리고 잔소리만 하는 선배의 실험을 군소리 없이 잘 도와준 후배 진혁, 현호 또한 Mahmoud와 Okorie에게도 진심으로 감사드립니다. 그리고 끝으로 못난 자식의 뒷바라지하산다고 고생하신 사랑하는 부모님, 항상 믿음으로 저의 뒤를 든든히 채워준 여동생, 언제나 내편에서서 힘이 되어준 여자 친구에게 두 손 모아 감사드립니다.

#### IV. 참고 문헌

- AOAC, 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- An Zhen-hua, Dong Yun-wei, Dong Shuang-lin. (2008) Effects of Temperature Fluctuation and Rations on the Growth and Energy Budget of Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. PERIODICAL OF OCEAN UNIVERSITY OF CHINA. 38(5),739-743
- Bell M V, Dick J R, Kelly M S. (2001) Biosynthesis of eicosapentaenoic acid in the sea urchin *Psammechinus milliaris*. Lipids, 36(1) :79-82.
- Castell J D, Kennedy E J, Robinson S M C, (2004) Effect of dietary lipids on fatty composition and metabolism in juvenile green sea urchins (*strongylocentrotus droebachiensis*). Aquaculture, 242: 417-435.
- Dong Y, Dong S, Tian X, (2006) Effects of diel temperature fluctuation on growth, oxygen consumption and proximate body composition in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka. Aquaculture, 55:514-521.
- Dybas L, Fankboner P V. (2002) Holothurian survival strategies: Mechanisms for the maintenance of a bacteriostatic environment in the coelomic cavity of the sea cucumber. Aquaculture Research, (33) :112-1160
- Ito S, Kitamura H. (1998) Induction of larval metamorphosis in the sea cucumber *Stichopus japonicus* by periphytic diatoms. Oceanographic Literature Review, 45(9):1685.
- Kariya Y, Watabe S, Kyogashima M. (1997) Structure of fucose branches in the glycosaminoglycan from the body wall of the sea cucumber *Stichopus japonicus*. Carbohydrate Research, 297:273-279.
- K W Kim, X J Wang & S C Bai (2002) Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) Aquaculture Research, 33, 673-679
- Kennedy E J, Robinson S M C. (2007) Effect of lipid source and concentration on somatic growth of juvenile green sea urchins, *Strongylocentrotus droebachiensis*. Journal of the World Aquaculture Society, 38 (3):335-352.
- K-J Lee, K. Dabrowski, J. H. Blomm, S. C. Bai and P. C. Stromberg(2002) A mixture of cottonseed meal, soybean meal and animal byproduct

- mixture as a fish meal substitute: growth and tissue gossypol enantiomer in juvenile rainbow trout" J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 86.
- Lee, K. J. and S. C. Bai. (1997) Haemoglobin powder as a dietary fish meal replacer in juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica*(Temminck et Schlegel) Aquaculture Research, Vol 28:509-516.
- Lee, K. J. and S. C. Bai. (1997) "Hemoglobin powder as a dietary animal protein source for juvenile Nile tilapia". *The Progressive Fish-Culturist*, Vo. 59:266-271.
- Lee, K. J., Dabrowski, K., Blom, J.H. and S. C. Bai (2001) Replacement of fish meal by a mixture of animal by-products in juvenile rainbow trout diets. *North American Journal of Aquaculture*, 63: 109-117.
- Min-Heon Song, Kyeong-Jun Lee and Sungchul C. Bai (1995) Effects of Dietary Blood Meal as a Protein Source in Growing Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Aquaculture* 8 (4) : 343~354
- Mihai Sun, Young Chul Kim, Okorie E. Okorie, Sukumar Devnath, Gwangyeol Yoo, Seunghyung Lee, Yong Kil Jo and Sungchul C. Bai (2006) Use of fermented fisheries by-products and soybean curd residues mixture as a fish meal replacer in diets of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, *JWAS*, 38(4), 543-549.
- NRC(National Research Council), (1993). Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Academy Press, Washington, D.C., 102pp.
- Okorie E. Okorie, S. H. Ko, S. G. Go, S. H. Lee, J. Y. Bae, K. G. Han and S. C. Bai (2008) Preliminary Study of the Optimum Dietary Ascorbic Acid Level in Sea Cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka), *JWAS*, 39(6), 758-765.
- Rumsey, G.L. (1993) Fish meal and alternate sources of protein in fish feeds. Update. *Fisheries*, 18: 14-19.
- Rumsey, G.L. (1994) What is the future of fish meal use. *Feed International* 15: 10-16.
- Song, M. H., K. J. Lee and S. C. Bai. (1995) Effects of Dietary Blood Meal as a Protein Source in Growing Common Carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Aquaculture* Vol. 8(4), pp.343-354.
- S.M. Choi, X. J. Wang, S. R. Lim, K.W. Kim, S.C. Bai and I.S. Shin (2004)

- Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquaculture Research*(35), 410-418.
- S.R. Lim, S.M. Choi, X.J. Wang, K.W. Kim, I.S. Shin, T.S. Min and S.C. Bai (2003) Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*(231), 457-468.
- Su Hong Ko, Sugeun Go, Okorie Eme Okorie, Young Chul Kim, Seunghyung Lee, Gwang Yeol Yoo and Sungchul C. Bai (2009) Preliminary Study of the Dietary  $\alpha$ -Tocopherol Requirement in Sea Cucumber, *Apostichopus japonicus*, *Journal of the world aquaculture society* , 40(5), 659-666
- Telat Yanik, Konrad Dabrowski and Sungchul C. Bai (2003) Replacing fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets" *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh* 55(3), 179-186
- Wang Ji-qiao, Tang li, Xu Chong, Cheng Jun-chi. (2007) Histological Observation of Alimentary Tract and Annual Changes of Four Digestive Enzymes in Sea Cucumber(*Apostichopus japonicus*). *FISHERIES SCIENCE*. Vol.26 No.9
- Wang Ji-qiao, Zhao Li-juan, Shu Jiu-wang, Jiang Yu-sheng. (2009) Effects of dietary lipid and emulsion levels on growth and composition in juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *JOURNAL OF DALIAN FISHERIES UNIVERSITY*. Vol.24. No1.
- Wang Ji-qiao, Sui Xiao-nan, Gu Gong-ming, Cong Wen-hu. (2008) Effects of Combination of Various Feeds and Feeding Rates on Growth and Survival of Juvenile Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*. *FISHERIES SCIENCE*. Vol.27 No.2
- Wang Ji-qiao, Chen Guotai, Li Zhenwu, Li Fan, Li Fei. (2007) Effects of Three Binders and Their Combinations on Water Stability and Digestive Rate of The Formulated Diet for Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*). *SHIYAN YANJIU*. 1001-0084 03-0005-05.
- Wang Ji-qiao, JIANG Xiang-hui, Jiang Yu-sheng. (2009) Effects of Diets Containing Coated Lysine on Growth, Digestion and Proximate Composition in Juvenile Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*). *FISHERIES SCIENCE*. Vol.28 No.5
- WANG Jiqiao, Jiang Xianghui, Zhao lijuan, Su Jiuwang, Sun Pihai. (2007)

- Effects of Dietary Protein Sources on Growth in Juvenile Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*). SHIYAN YANJIU. 1001 - 0084 19-0009-05.
- Yang H S, Yuan X T, Zho Y (2002) Effects of body size and water temperature on food consumption and growth in the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) with special reference to aestivation. *Aquaculture Research*, (33);112-116.
- Young Chul Kim, Gwang Yeol Yoo, Xiaojie Wang, Seunghyung Lee, In Soo Shin, Sungchul C. Bai (2008) Long Term Feeding Effects of Dietary Dehulled Soybean Meal as a Fish Meal Replacer in Growing Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, *Asian-Australasian Journal Of Animal Sciences*, 21(6), 868-872
- Zhou, Y., Yang, H., Liu, S., Yuan, X., Mao, Y., Xu, X., and Zhang, F. (2006) Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets. *Aquaculture*, 256: 510-520.
- Zhu Wei, Mai Kang sen, Zhang Bai-gang, Wang Fu-zhen, XuGui-yu. (2005) Study on dietary protein and lipid Requirement for sea cucumber, *Stichopus japonicus*. LUNWEN YANJIU. 1000-3096 03-0054-05.
- Zhu Jian-xin, Liu Hui, Leng Kai-liang QU Ke-ming. (2007) Studies on the growth of *Apostichopus japonicus*. *MARINE FISHERIES RESEARCH*. Vol.28. No.5.