



사료 내 효소처리어분이 치어기 참다랑어 (*Thunnus orientalis*) 성장에 미치는 영향

지승철* · 김봉석** · 임상구* · 김강웅*** · 신재형**** · 이경준†
(*국립수산과학원 제주수산연구소 · **국립수산과학원 중앙내수면연구소 ·
국립수산과학원 사료연구센터 · *제주대학교)

Effects of dietary utilization enzyme treated fish meal for juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*

Seung-Cheol JI* · Bongseok KIM** · Sang-Gu LIM* · Kang-Woong KIM*** ·
Jaehyeong SHIN**** · Kyeong-Jun LEE†

(*Jeju Sea Fisheries Research Institute, NIFS · **Inland Fisheries Research Institute, NIFS ·
Aquafeed Research Center, NIFS · *Jeju National University)

Abstract

This study was conducted to estimate dietary utilization of enzyme treated fish meal (EFM) on juvenile Pacific bluefin tuna (PBT) *Thunnus orientalis*. In first experiment (EXP 1), the Pacific bluefin tuna (initial body weight 2.36g) was randomly disposed two experimental tanks. The fish were fed EFM containing 31.9% of enzyme treated fish meal and sand lance (SL) for 15 days, respectively. Weight gain (WG) was showed lower in EFM than SL. But survival and protein efficiency ratio (PER) were higher in EFM than SL. Feed conversion ratio (FCR) of EFM lower than SL. In second experiment (EXP 2) was conducted to retest growth performance between EFM and SL. The high PER and survival were obtained in EFM than SL, and FCR of EFM was lower than that of SL. EFM are suitable dietary protein source in diet of juvenile PBT considering FCR, PER and survival in feeding trial.

Key words : Enzyme treated fish meal, Pacific bluefin tuna, Protein source, Feeds

I. 서론

참다랑어(*Thunnus orientalis*)는 대표적인 회유성 어종으로 체중은 500 kg 전후까지 성장하는 고부가가치 어종이다(Collette and Nauen, 1983; Kumai, 1998). 참다랑어 어획은 어족자원보호를 위해 ICCAT (international commission for the conservation of Atlantic tunas)에서 연간어획량을

제한하고 있다(Ottolenghi, 2008). 이에 따라 양식을 통한 참다랑어 생산의 필요성이 대두되었다. 참다랑어 양식은 일본, 멕시코, 지중해 연안을 중심으로 이루어지고 있으며, 연간생산량은 약 22,500t으로 꾸준히 증가하고 있다(FAO, 2016). 일본의 참다랑어 양식 연구는 1970년도에 시작되어 1979년도에는 자연산 친어로부터 채란에 성공함으로써 본격적인 양식이 시작되었다(Miyashita

† Corresponding author : 064-756-3423, kjlee@jejunu.ac.kr

※ 본 연구는 국립수산과학원의 지원(R2017010)에 의해 운영되었습니다.

et al., 2002). 이후 산란유도와 종묘생산기술을 통해 2002년도부터는 완전양식이 가능하게 되었다 (Sawada et al., 2005). 한국은 일본에 이어 세계에서 두 번째로 참다랑어 완전양식에 성공하였다 (NFRDI, 2015). 하지만, 참다랑어 배합사료와 관련된 사료 영양학적 연구는 조단백질과 조지질 (Biswas et al., 2009a), 탄수화물(Biswas et al., 2009b), vitamin C 요구량(Biswas et al., 2011)에 관한 연구 외에는 전반적으로 매우 미흡한 실정이다.

어분은 조단백질 함량이 60 ~ 75%로 높고 필수아미노산과 DHA와 EPA를 비롯한 필수지방산이 골고루 함유되어 있으며 미지성장인자 (unknown growth factors)로 인해 대부분의 어류에서 유인성이 뛰어나 어류 사료 내 최고의 단백질 원으로 사용된다(Miles and Chapman, 2015). 그러나 어분함유량이 높은 해산어용 배합사료는 다랑어류에 있어서 기호성과 소화율이 타 어종에 비해 낮은 것으로 알려져 있다(Carter et al., 1999). 치어기 참다랑어(표준평균무게 0.46g)를 대상으로 한 연구에서 어분이 53% 사용된 배합사료가 생사료(양미리, sand lance)보다 유의적으로 낮은 성장률을 보였고, 그 원인은 어분의 가공과정에서 발생하는 고온 고압에 의한 단백질변성 때문인 것으로 보고되었다(Takii et al., 2007a).

효소처리어분(enzyme treated fish meal, EFM)은 일반적으로 어분가공 과정 중 papain, pepsin, trypsin 등의 효소와 반응시켜 제조된다(Je et al., 2009; Hsu, 2010; Ngo et al., 2010). 대부분이 2 - 20개의 소분자 펩타이드 형태로 제조되어 체내 이용률이 높고 다양한 생리활성물질을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Neklyudov et al., 2000; Chalamaiiah et al., 2012). Ji et al.(2008a)은 치어기 참다랑어를 대상으로 한 연구에서 효소처리어분이 75% 사용된 실험 배합사료는 생사료와 유사한 성장률을 보임으로서 효소처리어분은 참다랑어 사료의 주 단백질원으로 사용될 수 있음을 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 치어기 참다랑어 사료 내 효소처리어분의 사용가능성을 두 번의 사육실험을 통해 검증하였다. 실험 1과 2는 치어기 참다랑어 사료 내 주단백질원으로 효소처리어분을 사용한 배합사료구와 생사료구를 비교하여 사육효능을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험사료

실험 1과 2의 실험사료는 고등어어분(jack mackerel fish meal)과 효소처리어분(EFM)을 각각 35.0%와 31.9% 넣어 제조하였고 대조 실험사료구(대조구)는 참다랑어 양식에 주로 사용되는 양미리(Sand lance: SL)를 잘게 썰어 사용하였다. 실험사료의 지질원으로는 연어난유(salmon egg oil)를 14.2% 첨가하였고, 비타민과 미네랄 mixture는 Halver(1957)의 조성을 기초로 제조하여 사용하였다. 사료에 대한 참다랑어의 기호도 향상을 위해 섭이촉진제(feeding stimulant)를 0.5% 첨가하였다. 실험사료 내 조단백질(61.9%)과 조지질(17.9%)의 함량은 선행연구결과(Biswas et al., 2009a)를 기초로 하였다(<Table 1>). 실험사료는 사료원료를 혼합한 후 사료성형기를 사용하여 2가지 크기(직경 1, 2 mm)의 펠렛 형태로 성형한 후 건조시켜 사용 전까지 -40 °C 에서 냉동 보관하였다.

2. 실험어 및 사육관리

실험 1의 실험어는 국립수산과학원 제주수산연구소에서 종묘생산 참다랑어 치어를 사용하였으며 예비사육 후, 총 2개의 50 t 수조에 각 80마리씩(평균무게 2.36g) 무작위로 배치하였다. 사료공급은 1일 7회(06:00, 08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00h)에 나누어 15일간 반복공급 하였다. 사육수는 각 수조에 여과해수를 동일하게 공급하였고, 용존산소 유지를 위해 산소발생기와 액화산소주입기를 설치하였다. 사육실험 기간 동안

수온, 용존산소(dissolved oxygen: DO)와 pH를 매일 각 실험수조마다 같은 위치에서 측정하였다. 실험기간 동안 평균수온은 25.6 ± 1.6 °C, 용존산소는 9.76 ± 0.6 mg/L로 유지 되었다.

<Table 1> Dietary formulation and proximate composition of two experimental diets for juvenile pacific bluefin tuna (% of dry matter)

Ingredients	EFM	SL ¹
Fish meal ²	35.0	-
Enzyme treated fish meal	31.9	-
Salmon egg oil ³	14.2	-
A-starch	3.0	-
Wheat gluten	3.0	-
Vitamin mixture ⁴	4.0	-
Mineral mixture ⁵	4.0	-
Lecithin	2.0	-
Taurine	2.0	-
Feeding stimulant	0.5	-
AMP ⁶	0.1	-
<i>Proximate composition</i>		
Crude protein	58.0	75.9
Crude lipid	17.2	17.5
Ash	5.04	6.57
Moisture	5.17	72.6

¹Sand lance, China

²Jack mackerel

³Sujiko oil, Nisshin Marineteck Co. Ltd, Yokohama, Japan

⁴Halver's vitamin and mineral mixtures, (Halver, 1957)

⁵The mixture of glutamic acid 8.5 mg, L-histidine HCl H₂O 232.8 mg and inosine-5-monophosphate 2Na 200.9 mg

⁶L-Ascorbyl-2-monophosphate magnesium salt

실험 2에 사용된 참다랑어는 총 2개의 50 t 수조에 참다랑어 치어(평균체중 각 14.6g, 17.6g)를 각 40마리씩 무작위로 선택하여 배치하였다. 실험기간 동안 평균사육수온은 25.6 ± 1.6 °C, 용존산소는 9.76 ± 1.2 mg/L로 유지 되었다. 사료공급은 1일 7회(06:00, 08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00h)에 나누어 16일간 반복공급 하였다.

3. 성장률 측정

사육실험 종료 후, 실험어의 체중을 측정하여 성장률, 사료전환효율, 단백질이용효율, 일간성장률을 계산하였다. 성장률 측정에는 사용된 식은 다음과 같다. 성장률(WG, %) = $100 \times (\text{final mean body weight} - \text{initial mean body weight}) / \text{initial mean body weight}$; 사료전환효율(FCR) = $\text{dry feed fed} / \text{wet weight gain}$; 단백질이용효율(PER) = $\text{wet weight gain} / \text{total protein given}$; 일간성장률(SGR, %) = $[(\log_e \text{ final body weight} - \log_e \text{ initial body weight}) / \text{days}] \times 100$; 사료섭이량(FI, g) = $\text{dry feed fed} / \text{fish}$.

4. 일반성분분석

전어체 일반성분분석(조단백질, 조지질, 조회분, 수분)을 위해 각 실험구별로 10마리를 샘플하여 분석 전까지 -40 °C 에 냉동 보관하였다.

실험사료와 전어체 일반성분분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125 °C, 3 h), 조회분은 직접회화법(550 °C, 6 h), 조단백질은 자동 조단백분석기 (Kjeltec System 2300, Sweden)로 분석하였으며, 조지질은 Folch et al. (1959)의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치(Soxhlet Heater System C-SH6, Korea)를 이용하여 분석하였다.

5. 통계처리

분석결과는 SPSS (version 12.0) 프로그램을 이용하여 데이터 값의 유의차는 t-test를 사용하여 평균간의 유의성(P<0.05)을 비교하였다. 데이터는 평균값±표준편차(mean ± SD)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석하였다.

III. 결과

1. 실험 1

총 15일간 진행한 사육실험의 결과는 <Table 2>에 나타내었다. 최종평균무게는 SL구(17.0 g)가 EFM구(13.3 g) 보다 높았다. 성장률은 SL구가 620%로 EFM구(478%)와 비교하여 높았다. 일간 성장률은 EFM구(11.7%)가 SL구(13.2%)보다 낮았다. 사료섭이량은 SL구가 32.3 g으로 EFM구(17.1g)보다 높았다. 하지만, 흥미로운 결과는 사료전환효율에서 EFM구가 1.55로 SL구(2.20)와 비교하여 낮았다. 또한, 단백질이용효율은 EFM구(1.08)가 SL구(0.76)보다 높았다. 생존율(survival)은 EFM구가 90 %로 SL구(71 %)와 비교하여 높았다.

<Table 2> Growth performance of experimental fish fed the two experimental diets for 15 days

Parameters	Experimental diets	
	EFM	SL
IBW ¹	2.36	2.36
FBW ²	13.3	17.0
WG ³	478.3	620.8
SGR ⁴	12.0	13.2
FI ⁵	17.1	32.3
FCR ⁶	1.55	2.20
PER ⁷	1.08	0.76
Survival (%)	90.0	71.4

¹Initial mean body weight (dry matter, g)

²Final mean body weight (dry matter, g)

³Weight gain (%)

⁴Specific growth rate (%)

⁵Feed intake (g)

⁶Feed conversion ratio

⁷Protein efficiency ratio

전어체의 일반성분분석 결과는 <Table 3>에 나타내었다. 조단백질, 조지질, 회분 함량은 실험구와 대조구 사이에 큰 차이를 보이지 않았다.

<Table 3> Proximate composition of experimental fish fed two experimental diets for 15 days (% of dry matter)

Parameters	Initial	Experimental diets	
		EFM	SL
Crude protein	16.2	16.9	15.9
Crude lipid	1.9	2.2	2.6
Ash	2.9	3.0	2.9
Moisture	79.8	77.3	77.0

2. 실험 2

총 16일간 진행한 사육실험의 결과는 <Table 4>에 나타내었다.

<Table 4> Growth performance of experimental fish fed the two experimental diets for 16 days

Parameters	Experimental diets	
	EFM	SL
IBW ¹	14.6	17.6
FBW ²	39.7	55.1
WG ³	171.9	213.1
SGR ⁴	7.15	8.15
FI ⁵	5.76	9.23
FCR ⁶	1.00	1.43
PER ⁷	1.68	1.17
Survival (%)	75.0	45.0

¹Initial mean body weight (dry matter, g)

²Final mean body weight (dry matter, g)

³Weight gain (%)

⁴Specific growth rate (%)

⁵Feed intake (g)

⁶Feed conversion ratio

⁷Protein efficiency ratio

최종평균무게는 EFM구가 39.7 g로 55.1 g인 SL구 보다 낮은 값을 보였다. 성장률은 EFM구가 171%로 213%인 SL구 보다 낮았다. 일간성장률은

SL구(8.15%)가 EFM구(7.15%)에 비해 높았다. 사료섭이량은 EFM구(5.76 g)가 SL구(9.23 g)와 비교하여 낮게 나타났다. 실험 1의 결과와 유사하게 사료전환효율은 EFM구(1.00)가 1.43인 SL구 보다 낮았고, 단백질이용효율은 EFM구가 1.68로 SL구 (1.17) 보다 크게 높았다. 또한 흥미롭게도 생존율은 EFM구가 75%로 SL구(45%) 보다 훨씬 높게 나타났다.

IV. 고 찰

실험 1과 2의 성장결과는 이전의 참다랑어 치어를 대상으로 한 연구의 성장률과 비슷하거나 높게 나타남으로서 사양실험 결과의 해석은 의미가 있는 것으로 사료된다(Ji et al., 2008a). 실험 1과 2에서 EFM구의 성장률이 SL구보다 낮은 것은 고등어어분이 사료의 주단백원으로 약 35% 가량 사용되어 치어기 참다랑어의 소화율을 저하시킨 결과라 사료된다. 참다랑어 치어는 장 내 소화효소의 활성이 육성기나 성어기 보다 떨어지는 것으로 보고 되었고(Parra et al., 2007), 본 연구에서의 생사료 대비 낮은 성장률은 설명될 수 있다. Takii et al.(2007b)은 참다랑어 치어를 대상으로 한 연구에서 어분의 소화율이 고등어 (*Scomber japonicus*)치어에 비해 낮다고 보고하였다. 또한, Cartter et al.(1999)은 in vitro소화율 실험 결과, 참다랑어 치어는 대서양연어 치어보다 어분의 소화율이 낮다고 보고하였다. 이처럼 참다랑어 치어에서는 일반어분의 소화율이 타 어종에 비해 낮은 것으로 알려져 있다. 참다랑어와 같은 대형 어류인 방어도 어분소화율이 낮아 사료의 영양소이용률이 감소할 수 있다고 보고되었다(Takii et al., 1998). 결과적으로 실험 1과 2의 성장률을 고려했을 때, 사료 내 어분(고등어어분)의 함량이 높거나 반대로 효소처리어분의 함량이 낮으면 참다랑어 치어의 성장률은 생사료보다 낮은 것으로 사료된다. 따라서, 치어기 참다랑어 사

료 내 일반어분의 사용은 35% 미만으로 사용되어야 하고 효소처리어분은 약 32% 이상 사용되어야 할 것으로 추측된다. 보다 정확한 어분사료에서의 성장저하(생사료 대비) 원인 규명을 위해서는 사료소화율이나 소화효소활성 분석 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참다랑어는 빛, 진동 등의 외부자극에 매우 약한 어종으로 타 어종에 비해 대체적으로 낮은 생존율을 보인다(Miyashita, 2002). 흥미롭게도 실험 1과 2의 생존율은 배합사료인 EFM구가 생사료인 SL구 보다 모두 높았다. 일반적으로 참다랑어 치어 사육 시에는 사료가 충분히 공급되지 못하거나 소장으로 사료가 너무 빨리 소화 흡수되어 배출되게 되면 서로 공격하여 죽이는 공식(cannibalism)현상이 자주 발생한다. Kondo et al. (2016)은 참다랑어를 대상으로 배합사료와 생사료의 체내 소화시간을 연구한 결과, 생사료가 배합사료보다 빠르게 소화된다고 보고하였다. 방어(*Seriola quinqueradiata*),농어(*Dicentrarchus labrax*), 대구(*Gadus morhua*),메기(*Clarias gariepinus*),뱀장어(*Anguilla anguilla*)를 대상으로 한 연구에서는 사료 공급 후의 경과시간이 늘어남에 따라 공격적 행동(chasing behaviour)과 공식현상이 증가한다고 보고되었다(Degani and Levanon., 1983; Hecht and Appelbaum., 1988; Katavic et al., 19+89; Folkvord., 1991; Sakakura and Tsukamoto, 1998). 생사료는 배합사료보다 빠르게 소화되기 때문에 배합사료를 공급한 참다랑어 치어에 비해 빠른 시간안에 공복감을 불러일으켜 공식현상의 빈도를 증가시킨 것으로 판단된다. 그러나 치어기 참다랑어를 대상으로 사료 내 효소처리어분을 사용한 배합사료와 생사료의 사육효능을 비교한 연구에서 생사료구는 효소처리어분구보다 유의적으로 높은 생존율을 보였다(Ji et al., 2008a; Ji et al., 2008b). 추후 배합사료와 생사료의 급이가 치어기 참다랑어 생존율에 미치는 영향에 대한 연구를 통해 정확한 규명이 필요하다.

실험 1과 2의 결과, 사료섭이량은 SL구가 많았으나 사료의 효율적인 측면(사료전환효율, 단백질 이용효율)을 고려하였을 때는 배합사료인 EFM구가 치어기 참다랑어 사육에 보다 효과적인 것으로 나타났다. 넙치와 참돔을 대상으로 배합사료와 생사료의 사육효능 비교연구에서도 본 연구결과와 유사하게 생사료구는 높은 사료섭이량을 보인 반면 낮은 이용효율을 보였다(Cho et al., 2005; Lee et al., 2005). 본 실험에서 사용한 생사료의 수분함량은 약 73%로 배합사료(5%)와 비교하여 매우 높았으며, 생사료 공급 시 사육수에 용해되어 유실되는 양이 많았다. 연어과 어류에서 생사료는 배합사료와 비교하여 유실량이 약 3배 많다고 보고되었다(Hardy et al., 1993). 또한, 생사료의 급이는 원료어류의 수급 불안정에 따른 가격변동, 보관 경비의 과다 소요, 질병발생 및 환경오염 증가 등의 많은 문제를 야기한다(Kim et al., 2008). 특히, 생사료는 사육수의 용존산소를 배합사료보다 빠르게 감소시킨다고 보고되었으며(Kim et al., 2014), 생사료의 공급은 사육수 내 부유물질, 질소, 인의 함량을 배합사료 보다 2~5배 더 증가시킨다고 보고하였다(Kim et al., 2012). 이처럼 배합사료는 유실량과 사료의 효율적인 측면을 고려했을 때 생사료보다 치어기 참다랑어의 사육에 더 효과적인 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구의 결과, 효소처리어분과 일반어분의 적절한 조합은 치어기 참다랑어 사료의 주단백질 원으로 사용 가능할 것으로 사료된다. 향후 사료 내 효소처리어분의 적정 사용량과 효소처리어분의 종류에 따른 참다랑어의 성장효과에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

References

- AOAC(Association of official analytical chemists). (2000). Official methods of analysis. 17th edition. Washington, DC, U.S.A.
- Biswas B. K. · Biswas A. · Junichi I. · Kim Y. S. and Takii K.(2013). The optimal dietary level of ascorbic acid for juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*. Aquaculture International, 21, 327~336.
- Biswas B. K. · Ji S. C. · Biswas A. K. · Seoka M. · Kim Y. S. · Kawasaki K. I. and Takii K.(2009). Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* juvenile. Aquaculture, 288, 114~119.
- Biswas B. K. · Ji S. C. · Biswas A. K. · Seoka M. · Kim Y. S. and Takii K.(2009). A suitable dietary sugar level for juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*. Aquaculture Science, 57(1), 99~108.
- Carter C. G. · Bransden M. P. · Van Barneveld R. J. and Clarke S. M.(1999). Alternative methods for nutrition research on the southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*: in vitro digestibility. Aquaculture, 179, 57~70.
- Chalamaiah M. · Hemalatha R. and Jyothirmayi T. (2012). Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review. Food Chemistry, 135, 3020~3038.
- Cho S. H. · Lee S. M. and Lee J. H.(2005). Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. J. Aquacult, 18, 60~65.
- Collette B. B. and Nauen C. E.(1983). FAO species catalogue. Vol 2: Scombrids of the world. FAO Fish. Synopsis 125, 90~92.
- Degani G. and Levanon D.(1983). The influence of low density on food adaptation, cannibalism and growth of eels (*Anguilla anguilla*(L.)). Bamidgeh, 35, 53~60.
- FAO(Food and agriculture organization of the united nations).(2016). Global aquaculture production.
- Folch J. · Lee M. and Sloane-Stanley G. H.(1957). A

- simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497~509.
- Folkvord A.(1991). Growth, survival and cannibalism of cod juveniles (*Gadus morhua*): effects of feed type, starvation and fish size. *Aquaculture*, 97, 41~59.
- Gildberg A. · Bøgwald J. · Johansen A. and Stenberg E.(1996). Isolation of acid peptide fractions from a fish protein hydrolysate with strong stimulatory effect on Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leucocytes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 114, 97~101.
- Halver J. E.(1957). Nutrition of salmonoid fishes. 3. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *Journal of Nutrition*, 62, 225~243.
- Hecht T. and Pienaar A. G.(1993). A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24, 246~261.
- Hsu K. C.(2010). Purification of antioxidative peptides prepared from enzymatic hydrolysates of tuna dark muscle by-product. *Food Chemistry*, 122, 42~48.
- Je J. Y. · Lee K. H. · Lee M. H. and Ahn C. B. (2009). Antioxidant and antihypertensive protein hydrolysates produced from tuna liver by enzymatic hydrolysis. *Food Research International*, 42, 1266~1272.
- Ji S. C. · Takaoka O. · Biswas A. K. · Seoka M. · Ozaki K. · Kohbara J. and Takii K.(2008a). Dietary utility of enzyme treated fish meal for juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Fisheries science*, 74, 54~61.
- Ji S. C. · Takaoka O. · Seoka M. · Kohbara J. · Hosokawa H. · Shimeno S. and Takii K.(2008b). Identification of feeding stimulants for juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* in muscle extract of horse mackerel, *Trachurus japonicus*. *Journal of Aquaculture*, 20, 19~25.
- Katavić I. · Jug-Dujaković J. and Glamuzina B.(1989). Cannibalism as a factor affecting the survival of intensively cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fingerlings. *Aquaculture*, 77, 135~143.
- Kim K. D. · Kang Y. J. · Lee J. Y. · Nam M. M. · Kim K. W. · Jang M. S. and Lee S.M.(2008). Evaluation of extruded pellets and raw fish-based moist pellet for growth of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Aquaculture*, 21, 102~106.
- Kondo F. · Iwai T. · Miura C. · Sakata J. · Ohta T. · Ido A. and Miura T.(2016). Analysis of feeding effects of EP on growth and digestion in cultured bluefin tuna. *Nippon suisan gakkaiishi*, 82, 923~933.
- Kristinsson H. G. and Rasco B. A.(2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40, 43~81.
- Kumai, Hidemi.(1998). "Reviews: The Japanese Society of Fisheries Science Awards-Studies on Bluefin Tuna Artificial Hatching, Rearing and Reproduction." *Nihon Suisan Gakkaishi* 64.4:601~605.
- Lee S. M. · Seo J. Y. · Lee Y. W. · Kim K. D. · Lee J. H. and Jang H. S.(2005). Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growing flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Aquaculture*, 18, 287~292.
- Liaset B. · Lied E. and Espe M.(2000). Enzymatic hydrolysis of by products from the fish filleting industry; chemical characterisation and nutritional evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 581~589.
- Miles R. D. and Chapman.(2015). University of Florida-Fish meal is recognized by nutritionists as a high-quality, very digestible feed ingredient that is favored for addition to the diet of most farm animals, especially fish and shrimp. Retrieved from <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Miyashita S.(2002). Studies on the seedling production of the Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*. *Bull. Fish. Lab. Kinki Univ*, 8, 1~171.
- Neklyudov AD, Ivankin and Berdutina AV.(2000). Properties and uses of protein hydrolysates. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 36, 452~459.
- NFRDI(National institute of fisheries science).(2015). Best of 10 performances at 2015, Retrieved from http://www.nifs.go.kr/page?id=10bestlist_2015_01..

- Ngo D. H. · Qian Z. J. · Ryu B. · Park J. W. and Kim S. K.(2010). In vitro antioxidant activity of a peptide isolated from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) scale gelatin in free radical-mediated oxidative systems. *Journal of Functional Foods*, 2, 107~117.
- Ottolenghi F.(2008). Capture-based aquaculture of bluefin tuna. In A. Lovatelli and P.F. Holthuis (eds). *Capture-based aquaculture. Global overview*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 508. Rome, FAO., 169~182.
- Parra A. M. · Rosas A. · Lazo J. P. and Viana M. T. (2007). Partial characterization of the digestive enzymes of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* under culture conditions. *Fish Physiology and Biochemistry*, 33, 223~231.
- Refstie S. · Olli J. J. and Standal H.(2004). Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. *Aquaculture*, 239, 331~349.
- Sawada Y. · Okada T. · Miyashita S. · Murata O. and Kumai H.(2005). Completion of the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel) life cycle. *Aquaculture Research*, 36, 413~421.
- Takii K. · Nakamura M. · Urakawa K. · Miyashita S. · Nasu T. · Kubo Y. and Kumai H.(1998). Soybean trypsin inhibitors inhibit trypsin-like and basic proteinase activities of cultured-fishes. *Fisheries science*, 64, 935~938.
- Takii K. · Seoka M. · Izumi M. · Hosokawa H. · Shimeno S. · Ukawa M. and Kohbara J.(2007). Apparent digestibility coefficient and energy partition of juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* and chub mackerel, *Scomber japonicus*. *Aquaculture Science*, 55, 571~577.
- Takii K. · Seoka M. · Ohara N. · Nasu T. · Oda S. · Miyashita S. and Hosokawa H.(2007). Dietary utility of Chilean fish meal and pollack liver oil for juvenile Pacific bluefin tuna. *Aquaculture Science*, 55, 579~585.

• Received : 26 May, 2017

• Revised : 19 June 2017

• Accepted : 08 August, 2017