

한국양식학회
2003년 제1회
현장 세미나

**넙치 사료내
어분대체품으로서
탈피대두박의 이용가치**

미국대두협회 (ASA)

한국지부

신인수

넙치 사료내 어분대체품으로서 탈피대두박의 이용가치

신인수^{1*} · 배승철² · 임성률²

¹미국대두협회 한국사무소, ²부경대학교 사료영양연구소

1. 서론

양어사료에서 각 사료원료 중 어분을 비롯한 단백질공급원의 비용이 상당부분을 차지하고 있다. 그러나 어분의 수요는 계속적으로 증가하는 반면 어분의 생산과 공급은 부족하여가격을 지속적으로 상승시키는 요인이 되고 있다. 또 어분의 과다 사용은 해양오염을 일으킬 수 있는 문제점이 제기되었다(Lee & Bai, 1997). 이러한 문제점들 때문에 지난 수십년간 어류영양 학자들과 양식업계는 어분을 대체할 수 있는 단백질 공급원을 찾기 위하여 많은 노력을 하여왔다. 특히, 식물성 단백질원인 탈피대두박은 단백질함량이 50% 이상(건물기준)이고 아미노산 조성이 양호할 뿐만 아니라 가격이 저렴하고 공급이 안정적이다 (Mcgoogan & Gatlin III, 1997). 더욱이 탈피대두박에 포함된 인은 어분에 비하여 그 이용성이 낮기는 하지만 어분의 약 22% 수준이기 때문에 양어사료중에 탈피대두박의 수준을 높이면 양식장 배출수의 인 함량을 줄임과 동시에 해양오염을 감소시키는 잇점이 있다. 이러한 잇점들로 인해 무지개송어, 잉어, 대서양 연어, 방어 등 다양한 어종에서 대두박의 어분대체에 관한 연구가 집중적으로 이루어져 왔다 (Dabrowski & Kozak, 1979; Refstie et al., 2001; Shimeno et al., 1993; 조 등., 1998).

넙치 (*Paralichthys olivaceus*)는 우리나라의 전 연안, 일본 및 중국 연안에 널리 분포하고 있는 어종으로서 성장이 빠르고 맛이 좋아 식용으로 각광받고 있는 고급 해산어종이다. 국내의 넙치양식은 1980년대 들어 인공종묘 생산 기술이 개발된 이후, 양식 기술의 보편화로 현재 종묘생산에서부터

양성까지 이루어져 연중 생산되고 있다. 국내의 넙치 양식 생산량은 최근 20년간 매년 수배씩 증가하여 1981년 3톤에서 2001년에는 39,628톤으로 생산량이 급속하게 증가하여 왔다 (해양수산부 통계연보 2002). 현재 국내 배합사료에 사용되는 어분은 연간 10만톤 규모이나, 국내산 어분의 공급은 정체되거나 감소하는 경향을 보이는 반면에 어분의 수입은 점차적으로 늘어나고 있기 때문에 국내 주요 양식어종인 넙치의 어분대체 단백질원을 발굴하는 것이 시급한 실정이다.

그러므로, 본 연구는 국내 주요 양식어종인 넙치에 대해서 사료내 어분대체원으로서 탈피대두박의 가치를 평가하는데 있다.

2. 재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 경상남도 통영에서 생산된 넙치 치어 약 2,000 마리를 부경대학교 부설 수산과학연구소로 운반하여 2톤 원형수조에 실험 환경에 적응할 수 있도록 2주간 예비사육 하였다. 예비사육 후, 실험어는 (평균무게 약 5g) 40ℓ 크기의 사각수조에 각 실험구 (8개) 당 각각 25마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 0.8ℓ/분으로 조절하여 주었다. 충분한 산소 공급을 위해 에어스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 23±2.0℃로 전 실험기간 동안 자연수온에 의존하였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 8 주동안 1일 어체중의 4~5% 수준으로 오전 10시와 오후 4시에 2회로 나누어 공급하였다.

육성기 실험은 치어기 실험과 동일한 방법으로 실시하였으며, 실험어는 평균무게 약 45g의 넙치를 300ℓ 크기의 원형수조에 각 실험구 (6개) 당 각각 15마리씩 3반복으로 배치하였다. 각 실험수조는 유수식으로 유수량은 1.0ℓ/분으로 조절하여 주었다. 충분한 산소 공급을 위해 에어스톤을 설치하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 17.0±2.0℃로 전 실험기간 동안 자연수온에 의존하였다. 일일 사료공급량은 전 실험기간 10 주동안 1일 2회 어체중의 3~4% 수준으로 치어기때와 동일한 방법으로 공급하였다.

실험사료 및 실험설계

치어기용 실험사료의 조성과 일반성분은 표 1과 같으며 주단백질원인 어분과 탈피대두박의 아미노산 함량은 표 2와 같다. 실험사료의 단백질원으로는 북양어분 (FM), 탈피대두박 (DHSM), 콘글루텐밀 (Corn gluten meal, CGM)을 사용하였으며, 지질원으로는 고도 불포화 지방산 (n-3 HUFA)이 다량 함유된 오징어간유, 그리고 탄수화물원으로는 덱스트린과 소맥분을 사용하였다. 어분의 0%, 10%, 20% 그리고 30%를 탈피대두박으로 대체한 실험사료와 어분의 30%와 40%를 탈피대두박으로 대체하고 대두박에서 부족되기 쉬운 필수아미노산인 라이신과 메치오닌을 그리고 섭취촉진제를 첨가한 실험사료들을 포함해서 총 8종류의 실험사료를 제조하였다. 각 실험사료의 조단백질 함량은 50% 수준으로 가용에너지는 16.7kJ g^{-1} 으로 동일하게 하였다. 실험사료는 원료를 혼합한 후 펠렛제조기로 압출·성형한 후 밀봉하여 -20°C 에서 냉동 보관하면서 사용하였다.

육성기용 실험사료의 조성과 일반성분은 표 3에서와 같이 치어기용 실험사료와 동일하였다. 치어기 실험 결과를 토대로 어분의 0%, 10%, 20% 그리고 30%를 탈피대두박으로 대체한 실험사료들은 그대로 유지하되 어분의 20%와 30%를 탈피대두박으로 대체한 실험사료에 필수아미노산인 라이신과 메치오닌의 첨가를 빼고 섭취촉진제만을 첨가한 실험사료를 포함해서 총 6종류의 실험사료를 제조하였다. 육성기용 실험사료들 역시 펠렛가공한 후 똑같은 조건으로 관리하며 사용하였다.

어체측정

어체 측정은 2주 간격으로 실시하였으며, 성장율을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222(100ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험종료 후, 증체율(percent weight gain, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 단백질효율(protein efficiency ratio), 사료효율(feed efficiency, %), 간중량지수(hepatosomatic index), 비만도(condition factor) 및 생존율

(survival, %)을 조사하였다. 간중량지수를 구하기 위해 각 수조별로 3마리씩 간의 무게를 측정하였다. 상기 측정 항목들의 계산식은 다음과 같다.

- 증체율 (%) : $[\text{최종무게(g)} - \text{초기무게(g)}] \times 100 / \text{초기무게(g)}$

- 사료효율 (%) : $(\text{증체량} / \text{사료섭취량}) \times 100$.

- 일간성장율 (%): $[\log_e \text{최종무게(g)} - \log_e \text{초기무게(g)}] / \text{일}$

- 단백질효율 : 증체량 / 단백질섭취량

- 간중량지수 : $[\text{간무게(g)} / \text{어체중(g)}] \times 100$.

- 비만도 : $[\text{어체중(g)} / \text{어체전장 (cm)}^3] \times 100$.

실험사료 및 어체 성분분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 6 마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC (1995)방법에 따라 수분은 상압가열건조법 (135℃, 2시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후 Soxtec system 1046(Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

통계처리

모든 자료의 통계처리는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul MN, USA)로 분산분석 (ANOVA test)을 실시하여 최소유의차검정 (LSD : Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성 (P<0.05)을 검정하였다.

표 1. 넙치 치어기용 실험사료의 조성 (건물기준)¹

사료원	사 료 (어분 : 탈피대두박)							
	100:0	90:10	80:20	80:20 _{+AA}	70:30 _{+AA}	70:30 _{+AA+Alt}	60:40 _{+AA}	60:40 _{+AA+Alt}
어분 ²	60	54	48	48	42	42	36	36
콘글루텐밀 ³	6.9	6.9	6.9	5.5	5.4	5.0	5.4	4.9
탈피대두박 ⁴	0	8.84	17.7	17.7	26.5	26.5	35.4	35.4
소맥분 ⁵	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
덱스트린 ⁶	11.9	8.6	5.4	5.7	2.5	2.6	0	0.30
메티오닌	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
라이신 ⁷	0	0	0	0.54	0.56	0.56	0.57	0.57
오징어간유 ⁸	7.5	7.7	7.9	8.0	8.2	8.2	8.1	8.0
비타민 혼합제 ⁹	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
무기물 혼합제 ¹⁰	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
소화율지시제	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
접착제 ¹¹	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
셀룰로오스	0.03	0.20	0.42	0.42	0.67	0.52	0.42	0.21
섭취촉진제	0	0	0	0	0	0.5	0	0.5
일반 성분								
수 분	18.2	18.4	18.9	19.0	18.6	18.6	18.5	18.7
조단백질	50.4	50.3	50.3	50.0	49.8	50.0	49.9	50.0
조지방	11.7	11.7	11.8	11.8	11.9	11.8	11.4	11.3
조회분	11.9	11.3	10.8	10.8	10.2	10.2	9.7	9.7

¹ 표에 언급하지 않은 사료원들은 국내 양어사료회사에서 일반적으로 사용되고 있는 것임.

^{2,3}수협

⁴ 미국대두협회

⁵ 영남제분

^{6,11}United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122

⁷ 0.5% L-lysine · HCl (0.4% lysine)

⁸ 이화유지

⁹ Contains (mg/kg in diets) : Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate,150 ;Choline bitartrate, 3000; Inositol, 150; Menadione, 6; Niacin, 150;Pyridoxine · HCl, 15; Riboflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl- α -Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; B₁₂, 0.06

¹⁰ Contains (as mg/kg in diets) : NaCl, 437.4; MgSO₄ · 7H₂O, 1379.8; NaH₂P₄ 2H₂O, 877.8; Ca(H₂PO₄)₂ · 2H₂O, 1366.7; KH₂PO₄, 2414; ZnSO₄ · 7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299 ; Ca-lactate, 3004; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calcium iodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025

¹¹ Carboxymethylcellulose

표 2. 어분과 탈피대두박의 일반성분 및 필수아미노산 조성 (건물기준)¹

	어 분	탈피대두박
조단백질	72.2	50.4
조지방	6.8	2.1
조회분	19.4	7.1
아르지닌	4.02	3.84
히스티딘	1.41	1.36
라이신	4.92	3.22
류신	4.91	3.85
아이소류신	2.72	2.50
메티오닌	1.83	0.80
페닐알라닌	2.62	2.57
트레오닌	2.52	1.96
트립토판	0.79	0.56
발린	3.23	2.33

¹ 부경대학교 사료영양연구소에서 분석한 수치임.

소화율 측정

실험사료의 소화율 측정을 위해 분 샘플을 자체 고안한 분수집 장치를 이용하여 수집하였다. 6가지 사료의 외견상 건물 및 단백질 소화율 측정은 산화크롬 (Cr₂O₃) 방법 (Hanley, 1987)을 사용하였으며 Cho & Slinger (1979)와 Sugiura et al. (1998)의 방법에 의해서 계산하였다.

각 영양소의 소화율 측정은 간접 방법으로 지표물질인 산화크롬 (Cr₂O₃)을 이용하여 사료와 분의 단백질을 측정된 후 사료와 분내의 산화크롬 양을 측정하여 다음 식에 의하여 각 사료의 건물 및 단백질소화율을 측정하였다.

$$\text{건물 소화율} = 100 - 100 \times \left(\frac{\text{사료중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)}{\text{분중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)} \right)$$

$$\text{단백질 소화율} = 100 - [100 \times \left(\frac{\text{사료중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)}{\text{분중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)} \times \frac{\text{분중의 영양소}(\%)}{\text{사료중의 영양소}(\%)} \right)]$$

표 3. 육성기용 실험사료의 조성 (건물기준)

사료원	사 료 (어분 : 탈피대두박) ¹					
	100:0	90:10	80:20	70:30	80:20+Alt	70:30+Alt
어분	60	54	48	42	48	42
콘글루텐밀	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
탈피대두박	0	8.8	17.7	26.5	17.7	26.5
소맥분	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
덱스트린	11.9	8.6	5.4	2.0	5.3	2.0
오징어간유	7.5	7.7	7.9	8.2	8.0	8.2
비타민 혼합제	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
무기물 혼합제	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
소화율 지시제	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
점착제	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
셀룰로오스	0.03	0.2	0.42	0.7	0	0.23
섭취촉진제	0	0	0	0	0.5	0.5
일반성분						
수분	19.8	20.2	19.8	20.0	19.1	19.3
조단백질	50.0	50.2	50.1	50.0	50.3	50.3
조지방	11.8	11.7	11.7	11.8	11.6	11.5
조회분	11.9	11.3	10.8	10.3	10.7	10.4

¹ 치어기와 동일.

4. 결 과

첫 8주간의 증체율 (WG, %), 사료효율 (FE, %), 일간성장률 (SGR, %), 단백질효율 (PER), 간중량지수 (HSI), 비만도 (CF) 및 생존율 (Survival, %)은 표 4에 나타내었다. 8 주간 증체율, 사료효율, 일간성장율, 단백질효율, 간중량지수 및 비만도에 있어서 어분의 20%를 탈피대두박만으로 대치해도 넙치의 성장은 대조구와 비슷하였다. 그리고 어분의 30%를 탈피대두박으로 대치하여도 필요한 필수아미노산(라이신, 메치오닌)만 추가로 첨가해 주면 성장에는 별 영향이 없었던 것으로 보아 넙치 치어기용 사료에 총 어분의 30%를 탈피대두박으로 대치해도 무방한 것으로 판단된다. 그러나 어분의 40%를 탈피대두박으로 대치하면 넙치의 성장은 급속히 둔화되었다 ($P<0.05$). 생존율에 있어서는 탈피대두박을 어분의 40%까지 대치해도 다른 구와 유의적인 차이가 없었다.

표 4. 8 주동안 실험사료를 공급한 넙치 치어의 성장

	사 료								Pooled SEM
	100:0	90:10	80:20	80:20 _{+AA}	70:30 _{+AA}	70:30 _{+AA+Alt}	60:40 _{+AA}	60:40 _{+AA+Alt}	
증체율(%)	549.8 ^a	546.2 ^a	541.2 ^a	544.7 ^a	542.1 ^a	543.4 ^a	502.1 ^b	505.8 ^b	1.63
사료효율(%)	103.1 ^a	102.7 ^a	101.9 ^a	102.0 ^a	101.8 ^a	102.0 ^a	97.7 ^b	97.9 ^b	0.15
일간성장율(%)	3.34 ^a	3.33 ^a	3.32 ^a	3.33 ^a	3.32 ^a	3.32 ^a	3.21 ^b	3.22 ^b	0.005
단백질효율	2.06 ^a	2.05 ^a	2.04 ^a	2.04 ^a	2.04 ^a	2.04 ^a	1.95 ^b	1.96 ^b	0.003
생존율(%)	100	99.2	99.2	99.2	100	100	98.3	99.2	0.23

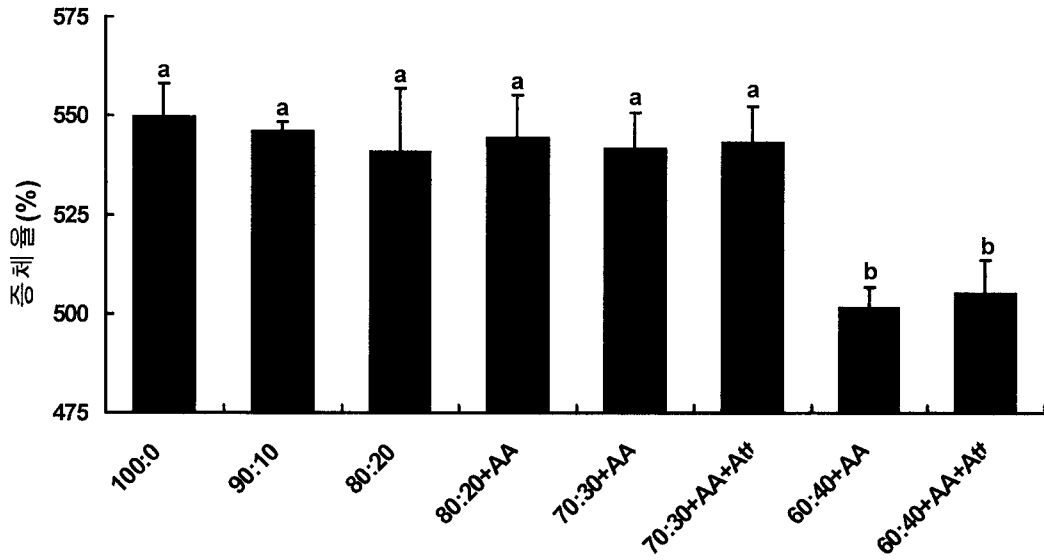


그림 1. 8주동안 실험사료를 공급한 넙치치어의 증체율 (WG, %). 상기의 값은 3반복의 평균 값으로 서로 다른 문자는 유의차를 나타냄 ($P < 0.05$).

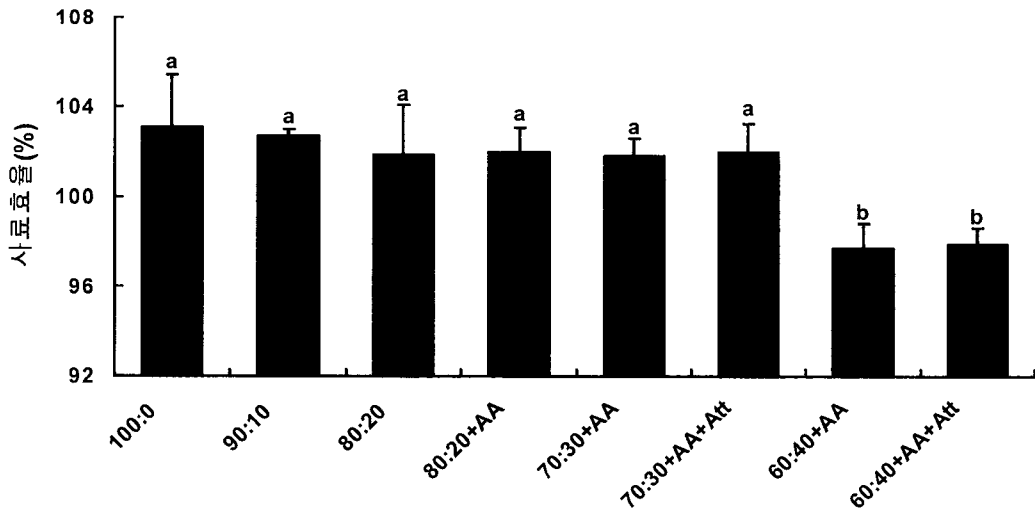


그림 2. 8 주동안 실험사료를 공급한 넙치치어의 사료효율 (FE, %). 상기의 값은 3반복의 평균값으로 서로 다른 문자는 유의차를 나타냄 ($P < 0.05$).

10 주간의 증체율 (WG, %), 사료효율 (FE, %), 일간성장률 (SGR, %) 및 단백질효율 (PER) 및 생존율은 표 5에 나타내었다. 10주간 증체율, 사료 효율, 일간성장률 및 단백질효율에 있어서도 어분의 20%를 탈피대두박으로 대체하여도 육성기 넙치의 성장은 대조구와 유사하였다. 어분의 30%를 탈피대두박으로 대체하고 섭취촉진제를 첨가한 실험사료를 급여해도 넙치의 성장은 대조구와 차이가 없었던 점으로 보아 넙치 육성기용 사료에도 어분의 30%를 탈피대두박으로 대체해도 무방하다고 본다. 생존율에 있어서는 어분의 30%를 탈피대두박만으로 대체한 구가 다른 구들에 비해서 유의적으로 낮게 나타났다 ($P<0.05$). 따라서, 상기의 결과는 육성기 넙치에 있어서 사료내 탈피대두박으로 어분 단백질의 20%까지, 탈피대두박내 섭취촉진제 첨가시 어분단백질의 30%까지 대체할 수 있다는 것을 보여주었다.

표 5. 10주동안 실험사료를 공급한 육성기 넙치의 성장

	사 료						Pooled SEM
	100:0	90:10	80:20	70:30	80:20 _{+Att}	70:30 _{+Att}	
증체율(%)	142.0 ^b	141.4 ^b	140.1 ^b	118.6 ^c	155.3 ^a	144.5 ^b	2.7
사료효율(%)	100.8 ^b	100.0 ^b	99.2 ^b	87.2 ^c	103.7 ^a	101.0 ^b	2.0
일간성장률(%)	1.26 ^b	1.26 ^b	1.25 ^b	1.12 ^c	1.34 ^a	1.28 ^b	0.02
단백질효율	2.02 ^b	2.00 ^b	1.98 ^b	1.74 ^c	2.07 ^a	2.02 ^b	0.04
생존율(%)	100 ^a	95.5 ^a	97.8 ^a	84.5 ^b	100 ^a	97.8 ^a	1.4

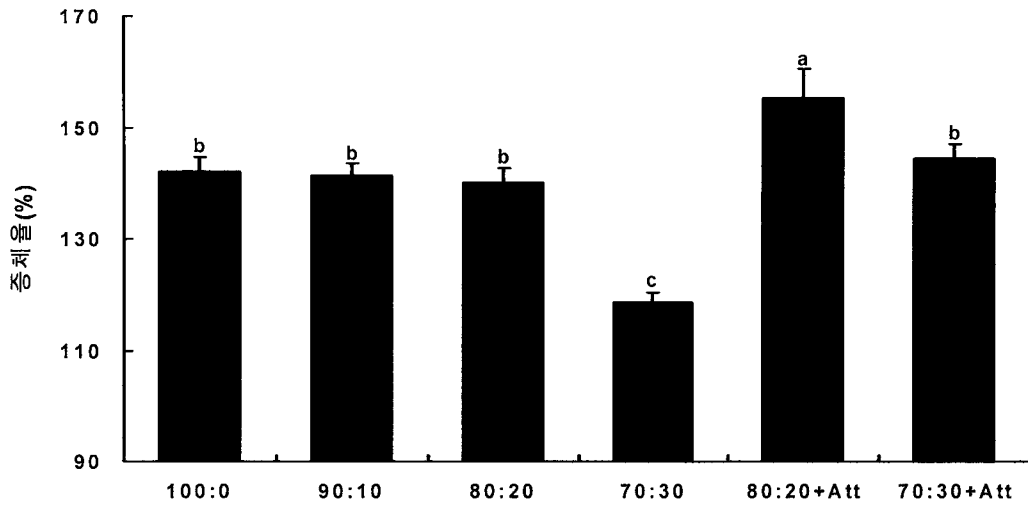


그림 3. 10주동안 실험사료를 공급한 육성기 녀치의 증체율 (WG%).

상기의 값은 3반복의 평균값으로 서로 다른 문자는 유의차를 나타냄 ($P < 0.05$).

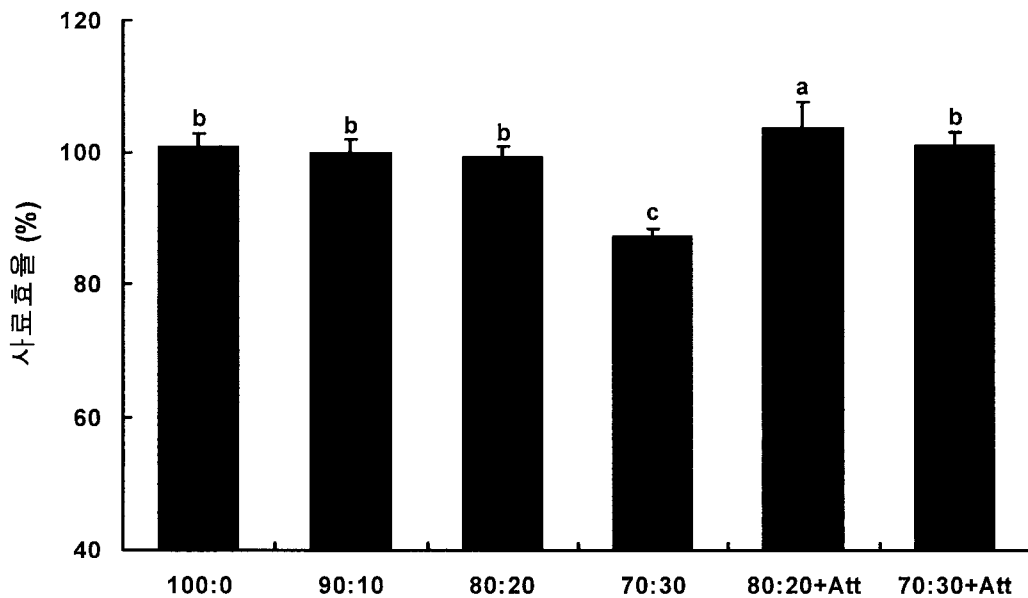


그림4. 10주동안 6가지 실험사료를 공급한 육성기 녀치의 사료효율 (FE%). 상기의 값은 3반복의 평균값으로 서로 다른 문자는 유의차를 나타냄 ($P < 0.05$).

소화율 측정

6가지 사료의 외견상 건물소화율 (AD)과 외견상 단백질소화율 (APD)은 표 6에 나타내었다. 평균 외견상 건물소화율 (AD)은 $81.9 \pm 3.1\%$ 으로 대체 단백질원(탈피대두박)의 대체수준이 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다. 어분의 30%를 탈피대두박으로만 대치한 구가 외관상 건물소화율이 가장 낮았으며 ($P < 0.05$), 한편 어분의 30%를 탈피대두박으로 대치하고 섭취촉진제를 첨가한 구는 대조구나 다른 처리구와 유의적인 차이가 없었다. 평균 외견상 단백질소화율 (APD)은 $91.0 \pm 2.6\%$ 으로 나타났으며 외견상 건물소화율 (AD)과 비슷한 경향을 보였다.

표6. 육성기 넙치에 있어서 6가지 실험사료의 외견상 건물 및 단백질 소화율

사료(어분:탈피대두박)	외견상 건물소화율(%)	외견상 단백질소화율(%)
100:0	84.1 ^b	92.4 ^b
90:10	82.4 ^b	91.5 ^b
80:20	80.3 ^b	90.2 ^b
70:30	76.7 ^c	86.3 ^c
80:20+Alt	85.3 ^a	93.7 ^a
70:30+Alt	82.7 ^b	91.8 ^b
Pooled SEM	0.75	0.70

경제성 분석

사료의 단가는 단백질의 대부분을 어분만으로 공급하는 대조구 사료가 1119.73원/kg으로 가장 비쌌다. 그러나 어분의 10%, 20%, 20%와 섭취촉진제 그리고 어분의 30%와 섭취촉진제를 첨가한 사료는 각각 1010.78, 904.42, 936.46 및 827.81원/kg으로 탈피대두박에 의한 어분의 대체수준이 증가할수록 사료단가가 낮아지는 경향을 보였다. 성장이 가장 좋았던 구는 어분의 20%를 탈피대두박으로 대치하고 섭취촉진제를 첨가하였던 구로서, 이

사료의 단가는 대조구 사료의 단가보다 183.27원/kg이 더 낮았다. 어분의 30%를 탈피대두박으로 대체하고 설킴촉진제를 첨가한 사료는 대조구 사료보다 단가를 291.92원/kg 더 줄일 수 있었다. 이는 1000톤 기준으로 환산시 대조구 사료에 비해 291,920,000 원이 절감되기 때문에 사료비 절감효과가 매우 높을 것으로 예상된다. 더우기, 실제 배합사료 제조시에는 텍스트린과 같은 에너지원은 경제적이지 못하기 때문에 사용되지 않고 있는 실정이므로 사료의 단가를 더 낮출수 있을 것으로 생각된다. 아울러 생사료나 어분의 과다 사용으로 빚어지는 해양 수질 오염과 질병 확산을 예방할 수 있는 부수 효과도 기대할 수 있다.

앞으로 어자원 고갈과 근접국과의 어로수역 및 어획고에 대한 갈등으로 빚어지는 어획량 감소를 우리는 양식산업의 발전과 확대로 해결해야만 한다. 그런 차원에서 해수면 양식 기술을 더 한층 개발 보급하고 어분과 같이 부족되는 양어사료 원료원을 효과적으로 대체할 수 있는 새로운 사료원료의 발굴과 개발이 시급하다고 볼 수 있다. 이러한 상황에서 탈피대두박을 해산어용 양어사료에 활용하는 방안을 적극 제안하고자 한다.

4. 결 론

본 연구 결과는 넙치 사료에 탈피대두박을 사용하여 어분의 20%까지, 결핍 아미노산인 라이신, 메치오닌 및 설킴촉진제를 첨가할 시는 어분의 30%까지 대체할 수 있었다. 또한 앞으로 육성기부터 출하까지 이어지는 세 부적이고 반복적인 연구를 통하여 어분대체를 위한 탈피대두박의 성장단계 별 적정 첨가수준이 규명될 수 있을 것으로 확신한다. 아무쪼록 본 연구의 결과가 다른 국내 주요 해산어종의 배합사료 개발에도 참고가 될 수 있기를 바란다.

5. 참고 문헌

AOAC, 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.

- Cho, C. Y. and S. J. Slinger., 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: Halver, J. H., Tiews, K, (Eds.), Finfish Nutrition and Fish Feed Technology, Vol. II. Heenemann, Berlin, pp. 239~247.
- Hanley F., 1987 The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectively on digestibility determinations in Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture, 66 : 163~179
- 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.
- Mcgoogan B. B. and Gatlin III D. M., 1997. Effects of replacing fish meal with soybean meal in diets for red drum *Sciaenops ocellatus* and potential for palatability Enhancement. Journal Of The World Aquaculture Society Vol. 28, No 4, 12. pp. 374~385.
- Dabrowski, K. and B. Kosak., 1979. The use of fish meal and soybean meal as a protein source in the diet of grass carp fry. Aquaculture 18 : 107~114.
- Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Roem, A.J., 2001 Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. Aquaculture, vol. 193, no. 1-2, pp. 91-106.
- Shimeno, S., T. Mima, O. Yamamoto, and Y. Ando. 1993. Effects of fermented defatted soybean meal in diet on the growth, feed conversion, and body composition of juvenile yellowtail. Nippon suisan Gakkaishi, 59(11), 1883~1888.
- Sugiura, S. H., Dong, F. M., Rathbone, C. K. & Hardy, R. W., 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. Aquaculture, 159: 177-202.
- 조재윤 · 허창경 · 박정환 · 윤길하 · 김유희 · 오승용 · 배승철. 1998. 이스라엘 잉어 (*Cyprinus carpio*)에 대한 어분대체품의 성장 효과. 한국양식학회지. Vol.11(4), pp.487-493.
- 해양수산부 통계연보 2002.