

무지개송어 사료에 있어 산화크롬의 첨가효과와 축산 가공 부산혼합물의 어분대체 가능성

장혜경 · 옥임호 · 배승철
부경대학교 양식학과 사료영양연구소

Effects of dietary Chromic Oxide and Possible Use of the Animal By-product Mixture as a Dietary Fish meal Replacer

Hye-Kyung JANG, Im-Ho OK and Sungchul C. BAI
Department of Aquaculture, National University Pukyong Pusan 608-737, Korea

This study was conducted to evaluate the utilization of animal by-product mixture (ABPM) as a dietary animal protein source of fish meal replacer, and to determine the effect of dietary chromic oxide in growing rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. ABPM is a mixture of five animal by-products such as meat and bone meal (MBM), feather meal (FM), squid liver powder (SLP), poultry by-product (PBP) and blood meal (BM) at a specific weight based ratio. Diet 1 and 2 were formulated on a isonitrogenous and a isocaloric basis of 46.5% crude protein and 16.7 KJ/g diet; diet 1 (WFM 100), 100% of the animal protein source came from white fish meal; diet 2 (ABPM 40), 60% WFM+40% ABPM as the animal protein source; diet 3 (-Cr), commercial diet without chromic oxide; diet 4 (+Cr), commercial diet with chromic oxide. After eight weeks of feeding trials, fish fed diet 2 had a significantly lower body weight gain (WG) and feed efficiency (FE) than that of fish fed the other diets ($P < 0.05$). When comparing diet 3 with diet 4, no significant differences were found in WG and FE ($P > 0.05$). There were no significant differences on condition factor, hematocrit level, serum phosphorus, bone phosphorus, whole body phosphorus, and bone ash among fish from all four diet groups. Fish fed diet 4 had a significantly higher whole body lipid than that of fish fed the other diets ($P < 0.05$). These results indicated that ABPM could be used less than 40% in growing rainbow trout with a sufficient period of acclimation. In addition, the 0.5% of chromic oxide can be used to determine the apparent digestibility of the nutrients in the feed without any adverse effects on growth and body composition.

Key words: Replacer, Fish meal analogs, Animal protein

서 론

최근 어류소비량은 전세계적으로 매년 2.5%씩 증가하고 있으며, 이 중 양식 어류가 전체 증가의 26%를 차지하고 있다 (Hole and Oines, 1991). 또한 수산물이 인체의 영양 및 건강에 미치는 유익한 효과 때문에 그 수요량은 계속 증가 추세에 있다. 그러나 환경오염 및 각국의 경제수역설정으로 어획량은 감소하고 있어서 수산물 공급대책의 일환으로 세계각국은 어류양식의 기술과 양어사료 개발에 역점을 두고 있다 (Rumsey, 1993).

양어사료는 양식 산업 경비의 생산 경비 중 30~50% 정도를 차지하며 양식 생산량 증대와 더불어 양어사료 생산량은 계속 증가하고 있는 추세이다. 그리고 전세계적으로 어분은 상업용 양어사료의 주단백질원으로 이용되어져 왔고, 사료 경비중 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 최근 어분의 주공급원인 정어리의 어획량 감소로 인해 공급이 불안정하여 어분 가격은 계속 상승하고 있다 (McCoy, 1990; Rodriguez-Serna et al., 1996). 특히, 어분대체 혼합되어 있는 인의 이용률 (bioavailability)은 낮아 수질의 부영양화 (eutrophication)를 초래함으로써 (Watanabe, 1991) 수질오염의 측면에서 크게 문제시되고 있어서, 어분 단백질을 대체할 수 있는 영양적으로 우수하고, 가격이 저렴하여 공급이 안정적이며 나아가 수질오염을 극소화 할수 있는 어분 대체 단백질원의 개발에 관한 연구가 매우 필요한 실정이다.

현재 여러 연구를 통하여 어분을 일부 대체할수 있는 동물성

단백질원에 관한 연구가 보고 되고 있는데, 무지개 송어와 잉어에서 혈분, 피혁분 및 육골분 (Luzier et al., 1995; Song et al., 1995; Bai et al., 1997), Chinook salmon에서 우모분 (Fowler, 1990), 나일 틸라피아와 무지개송어에서 혈분, 육골분, 가금부산물 및 육분 등의 동물성 사료원들 (Gallagher and Degani, 1988; Watanabe et al., 1991; Rodriguez-Serna et al., 1996; Lee and Bai, 1997), 조피볼락에서 혈분, 오징어간분, 육골분, 수지박, 우모분 및 가금부산물의 혼합품 (Kim and Bai, 1997)이 어분을 대체하여 사용될수 있다고 보고 되었다. 이외에도 대두박, 콘글루텐밀 등의 식물성 사료원들도 이용 할 수 있다고 보고 되었다 (NRC, 1993; Pongmaneerat et al., 1993; Belal and Assem, 1995; Kaushik, 1995). 특히 동물성 단백질 사료원들은 단백질의 질과 아미노산 조성이 비교적 우수하고, 값싸며, 공급이 안정적일 뿐 아니라 식물성 단백질 사료원보다 인의 이용률 또한 높아 (Fowler, 1990; Kikuchi et al., 1993; Luzier et al., 1995; Rodriguez-Serna et al., 1996) 현재 세계 여러나라에서 이러한 사료원을 이용한 어분대체품의 제작 및 개발에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

일반적으로 사료원내 영양소 소화율 측정에는 여러 가지 방법이 이용되고 있는데 이들 방법은 분 수집형태에 따라 크게 직접식과 간접식으로 나눌수 있고 현재 어류에 의해 소화되거나 흡수가 안되는 무기질인 산화크롬을 지표물질로하여 사료에 첨가 한 후 이를 분에서 회수하여 소화율을 측정 하는 간접식이 널리 이용되고 있다 (Nengas et al., 1995; De La Noue and Choubert, 1986).

그러나 최근 10여년 전부터 외국에서 장기간 고농도 산화크롬의 사용에 문제를 제기하기 시작하였고 저농도 첨가로 소화율측정율이 뛰어난 산화이트륨(Y_2O_3)이나 HCl-Souble Ash등을 (Sugiura et al., 1998) 사용하고 있다.

따라서 본 연구는 육골분, 우모분, 오징어내장분, 가금부산물, 혈분을 이용한 축산 가공 혼합부산물(ABPM)을 제작하여 사료내 어분대체 가능성을 조사하고 사료내 소화율 측정에 이용하는 지표물질인 산화크롬 첨가가 성장에 미치는 영향에 관한 자료를 얻고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 사육관리

실험어는 경북 이화 양어장에서 가져온 약 2g정도의 치어기 무지개 송어 (*Oncorhynchus mykiss*)를 실험환경에 적응할수 있도록 상업사료를 주면서 1주간 예비사육 하였다. 주 사육 실험기간은 4주간 씩 나누어 총 8주간 실시하였다.

예비사육 후 첫 2주간은 평균무게 2.1 ± 0.2 g인 치어를 72 l 유리 사각수조(수용량 60 l)에 30마리씩 수용하여 각 실험구당 3반복으로 무작위 배치하여 사료를 어체중의 4.5~4% (DM basis)로 1일 3 회 공급하였고, 두 번째 4주간은 성장속도가 비슷한 평균무게 6.6 ± 0.3 g의 어류를 동일한 사료군내에서 선택하여 20 마리씩 수용하여 각 실험구당 2 반복으로 재배치하여 사료는 어체중의 2.4~4% (DM basis)로 1 일 2 회 공급하였다. 각 실험수조는 순환여과시스템으로 수조에 사이폰을 설치하여 고행오물을 1 일 2~3 회 배출하였다. 실험기간동안 수온은 16~20°C였고, 수중용존산소는 7~9 mg/l였다.

2. 실험 사료

실험에 사용된 실험사료의 조성표와 일반성분은 Table 1 에 나타내었으며, 축산가공혼합부산물(ABPM) 제조에 사용된 사료원의 일반성분 및 아미노산 분석치는 Table 2 와 3 에 나타내었다.

본 실험사료에서 단백질원은 동물성으로 북양어분(White fish meal, WFM)과 축산가공부산혼합물(ABPM)을 식물성으로 대두박(Soybean meal, SM)과 콘글루텐밀(Corn gluten meal, CGM)을 사용하였다. ABPM는 육골분(MBM), 우모분(FM), 오징어내장분(SLP), 가금부산물(PBP) 및 혈분(BM)을 특정비율로 혼합하여 제조하였다. 북양어분구와 40% 어분대체구의 사료는 National Research Council (NRC, 1993) 자료에 근거하여 조단백질 함량은 46.5%, 가용성 에너지는 16.7 KJ/g (protein, carbohydrate and lipid: 16.7, 16.7 and 37.7 KJ/g)으로 동일하게 맞추어 주었다. 실험사료는 다음과 같다: 사료 1=북양어분구(WFM 100); 사료 2=40% 어분대체구(ABPM 40); 사료 3=상업사료구(-Cr); 사료 4=상업사료+0.5% Cr_2O_3 (+Cr)구. 탄수화물원은 Wheat meal, 지방원으로는 오징어간유를 사용하였고 복합비타민혼합제와 복합미네랄혼합제를 NRC (1993)에 준하여 혼합한 후 펠렛 제조기로 압출성형하였다. 상업사료는 구입후 분쇄하여 Cr_2O_3 를 첨가하거나 첨가하지 않고 다시 펠렛 제조기로 압출성형하였다.

모든사료는 입자크기 1 mm의 Sieve로 고르게 친 후, 밀봉하여 -20°C에 냉동 보관하면서 사용하였다.

Table 1. Composition of the experimental diets (% of dry matter)¹

Ingredient	Experimental diets			
	1 (WFM/100)	2 (ABPM/40)	3 ² (-Cr)	4 ³ (+Cr)
White fish meal ⁴	50.0	30.0	-	-
ABPM ⁵	-	19.3	-	-
Wheat meal ⁶	20.0	20.2	-	-
Soybean meal ⁷	3.0	2.0	-	-
Corn gluten meal ⁸	11.5	12.2	-	-
Yeast	1.0	1.0	-	-
Vitamin premix ⁹	3.0	3.0	-	-
Mineral premix ¹⁰	3.0	3.0	-	-
Fish oil (squid liver oil)	7.0	7.3	-	-
CMC (Binder)	1.0	1.5	-	-
Chromium oxide	0.5	0.5	-	0.5
Proximate analysis (% of dry matter basis)				
Moisture	10.7	11.3	16.8	10.1
Crude protein	48.4	47.8	53.5	53.5
Crude lipid	11.4	11.4	7.5	7.3
Crude ash	10.5	10.2	16.0	14.1
Phosphorus	2.1	1.1	3.3	2.8

¹Feedstuffs not mentioned here are the same feedstuffs as the domestic aquaculture feed companies are using currently.

²Commercial extruded feed without chromium oxide.

³Commercial extruded feed with chromium oxide.

⁴Han Chang Fishmeal Co., Pusan, Korea.

⁵Animal by-product mixture of the following ingredients at the certain ratio based on its dry matter: meat and bone meal, feather meal, squid liver powder, poultry by-product and blood meal.

⁶Young Nam Flour Mills Co., Pusan, Korea.

⁷Sam yang Oil Company, Incheon, Korea.

⁸Dae sang Co, Pusan, Korea

⁹Vitamin premix (mg/kg feed unless indicated otherwise): vit.A, 3000IU; vit.D3, 2400IU; vit.E, 120IU; menadione sodium bisulfate, 6; vit. B1-HCl, 15; vit.B2, 30; vit. B6-HCl, 15; vit.B12, 0.06; vit.C, 300; calcium pantothenate, 150; nicotin amide, 150; inositol, 150; d-biotin, 1.5; choline chloride, 3000; pancreatin, 12.5.

¹⁰Mineral premix (mg/kg feed): $MnSO_4$, 320; $ZnSO_4$, 270; $FeSO_4$, 750; $CuSO_4$, 60; $CoSO_4$, 7; $MgSO_4$, 17.25; K_2SO_4 , 212.24; NaCl, 51.88; K_2HPO_4 , 136.09; $NaSeO_3$, 0.013; KI, 0.15.

Table 2. Proximate and phosphorus analyses of the ingredients (% of dry matter)¹

Ingredient	Protein	Lipid	Ash	Moisture	Phosphorus
Fish meal ²	68.5	10.0	17.1	4.4	3.1
Meat & Bone meal ³	55.5	18.0	23.0	4.2	4.0
Feather meal ⁴	88.7	8.2	3.5	9.8	1.2
Squid liver powder ⁵	51.2	20.6	6.6	10.1	1.7
Poultry by-product ⁶	68.0	16.7	15.1	3.6	2.0
Blood meal ⁷	90.5	0.7	2.3	8.2	0.2

¹Feedstuffs not mentioned here are the same feedstuffs as the domestic aquaculture feed companies are using currently.

²Han Chang Fishmeal Co., Pusan, Korea.

^{3,4,5,6,7}Ewha Oil Company, Pusan, Korea.

3. 어체 측정 및 성분분석

실험 종료 후, 증체율 (Weight Gain, WG), 사료효율 (Feed Efficiency, FE), 헤마토크리트 (Ht), 비만도 (Condition Factor, CF), 전어체 일반성분, 그리고 사료, 혈액, 뼈 및 전어체내 인 성분을 조사하였다.

어체측정은 2 주 간격으로 성장율을 측정하기 위해 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 전체 무게를 측정하였다. 마지막 8주에는 혈액 분석을 위해 각 수조당 3마리씩 임의로 추출하여 미부정맥에서 채혈한 후, 헤마토크리트는 micro-hematocrit method (Brown, 1980)로 측정하였다. 일반성분중 실험사료 및 전어체의 수분은 상압 가열건조법, 조단백질은 Kjeldahl 질소 정량법 ($N \times 6.25$), 조지방은 Folch et al. (1957)법, 조회분은 직접 회화법으로 각각 분석하였다. 그리고 사료, 혈액, 뼈 및 전어체내 인 성분은 Chen et al. (1956)방법에 의하여 분석 하였다. 사료원의 아미노산 분석은 waters HPLC system (510 HPLC pump, 717 automatic sampler, 996 photodiode array detector)을 이용하여 Pico-Tag법으로 분석하였고 분석조건은 다음과 같다: Column size 3.9 mm \times 300 mm, Absorbance 254 nm, Buffer flow rate 1 ml/min, Buffer A 140 mM sodium acetate, Buffer B 60% acetonitrile

4. 통계처리

모든자료는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical Software, St. Paul, MN, USA)로 ANOVA (Analysis of variance) test를 실시하여 최소유의차검정 (LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

본 실험에 사용된 여러 동물성 사료원들의 일반분석 결과 조단백질 함량은 어분에 비해 육골분과 오징어내장분은 다소 낮았고, 가금부산물물은 유사하였으며, 우모분과 혈분은 높았다 (Table 2). 아미노산 분석결과 제한 아미노산은 육골분의 경우 Histidine, Methionine과 Threonine, 우모분의 경우 Methionine, 오징어간분의 경우 Histidine과 Methionine, 가금부산물물의 경우 Methionine, 혈분의 경우 Tryptophan이었다 (Table 3). 이를 상호보완 하기 위하여 사료원들을 혼합하여 축산 가공 부산 혼합물 (ABPM)을 제작 한 후 어분 단백질을 40% 대체하여 사료를 제작 하였다. 특히 단백질의 질과 이용성은 단백질중의 필수아미노산 함량에 의해 평가될 수 있는바, 필수아미노산 함량의 부족 및 지나친 과잉은 어류의 성장에 직접적으로 큰 영향을 준다 (Murai et al., 1984). 또한 각 사료원내 단백질의 질, 소화율 및 생체이용율 (Bioavailability)은 가공과정, 신선도, 보관 및 운송 상태등 여러 요인에 의해 영향을 받을 수 있으므로 이 모든 요인들도 사료내 단백질의 질을 결정 할 때 고려되어야 한다. 그리고 어분 단백질 대체원으로 이용 가능한 동물성 사료원들은 종종 단백질내 필수아미노산 중 1 또는 2개 이상의 제한 아미노산을 갖고 있어서 이들을 어분대체원으로 각각 사용하는 것 보다는 여러 가지의 대체 사료원들을 적정 비율로 섞어서 제조하면 제한 아미노산을 상호보완할 뿐 아니라 각 사료원의 장점도 활용 할수 있기때문에 사료원들을 혼합

제작한 어분 대체품 개발에 대한 사료의 영양학적 연구가 필요한 실정이다 (Rodriguez-Serna et al., 1996).

8 주간의 사육실험결과는 Table 4 에 나타내었다. 사료 2는 다른 사료구에 비해 증체율 (WG, %)과 사료효율 (FE, %)이 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 이는 먹이불임과정에서 상업사료가 이용되었기 때문에 사료 3과 4의 사료섭취량이 월등히 높았으며, 사료내 단백질 함량이 상업사료보다 낮아 섭취후 성장에 있어서 사료 3과 4에 비해 뒤떨어 진 것으로 사료되며, 사료 1에 비해 성장이 낮게 나타난 이유는 본 실험에서 제작한 축산 가공 부산혼합물의 단백질의 질이 어분 보다 낮았기 때문 인 것으로 사료된다.

어체의 혈액분석 결과 헤마토크리트는 모든 사료구간에 유의적 차이가 없이 ($P > 0.05$) 37~39.5% 로 나타났는데 이는 Alexis et al. (1985)의 무지개 송어에 있어서 32~42% 범위의 보고와 유사 하며 모든 실험어가 건강했던 것으로 판단된다. 비만도는 사료 2가 다른 사료구에 비해 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$).

Table 3. Essential amino acid composition of the ingredients (% in ingredient)¹

	WHM ²	MBM ³	FM ⁴	SLP ⁵	PBP ⁶	BM ⁷
Arg.	4.05	3.16	3.20	1.94	3.22	2.54
His.	2.30	1.04	1.35	0.97	2.84	4.37
Ile.	0.92	0.79	2.98	2.10	1.33	0.85
Leu.	2.07	1.78	5.67	3.40	2.87	11.38
Lys.	1.95	1.68	2.33	3.01	2.87	7.67
Met./Cys.	1.03/0.36	0.44/0.20	0.86/0.05	0.70/0.23	0.78/0.02	1.12/0.48
Phe./Tyr.	1.10/2.79	1.13/0.69	2.54/1.01	1.44/0.59	1.39/0.34	4.91/0.70
Thr.	2.09	1.60	3.70	2.66	2.32	5.80
Trp.	0.13	0.11	1.05	0.82	0.38	0.05
Val.	1.67	1.57	4.97	2.95	2.14	8.30
Total	20.46	14.19	29.71	20.81	20.5	48.15

¹Amino acid content of ingredients were analyzed by Pico-Tag method in the laboratory of National Fisheries Research and Development Agency, Daejun, Korea.

²WFM=White fish meal.

³MBM=Meat & born meal

⁴FM=Feather meal.

⁵SLP=Squid liver powder.

⁶PBP=Poultry by-product.

⁷BM=Blood meal.

Table 4. Performance of rainbow trout fed the experimental diets¹

Diet	WG (%) ²	FE (%) ³	CF ⁴	Hematocrit
1. WFM 100	345 ^a	88.6 ^a	1.43 ^a	37.0
2. ABPM 40	272 ^b	68.4 ^c	1.35 ^b	38.0
3. -Cr	355 ^a	76.8 ^b	1.30 ^c	39.5
4. +Cr	346 ^a	78.6 ^b	1.31 ^c	39.5
Pooled SEM ⁵	13	2.8	0.02	0.6

¹Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

²Weight gain (%) = (final weight - initial weight) / initial weight \times 100

³Feed Efficiency (%) = wet weight gain (g) \times 100 / feed intake (g, dry matter basis)

⁴Condition factor = [(wet wt. (g)/total length (cm)]³ \times 100]

⁵Pooled SEM = SD/ \sqrt{n}

전어체의 일반성분 분석 결과는 Table 5에 나타내었다. 8 주간 사료 섭취 후, 수분 및 조단백질 함량은 모든 사료구간에 유의적 차이가 없었다 ($P>0.05$). 조지방 함량은 사료 1이 다른 사료구에 비해 유의적으로 높았다 ($P<0.05$). 그러나 사료 2, 3, 4간에는 유의차가 없었다 ($P>0.05$). 어체의 일반성분조성은 여러가지 요소에 의해 영향을 받는데, 동일한 종안에서 계통에 따라 어체조성이 다르며, 사육환경 중 수온에 따라 크게 영향을 받고, 체중 증가와 함께 성장함에 따라 지방의 함량은 증가하나 수분은 감소하며, 단백질 및 무기질 함량 변화는 적은 편이다 (Murai et al., 1985). 그러나 무엇보다도 어체의 일반성분은 사료 공급량, 사료 배합에 가장 많은 영향을 받는데 (Zeitler et al., 1984; Nandeasha et al., 1995) 어체의 조성 중 조지방이 가장 많은 영향을 받는다 (Pongmaneerat et al., 1993; Belal and Assem, 1995; Zeitler et al., 1984). 사료 1의 전어체내 높은 지질 함량은 어류의 가공 및 보관중 산패의 위험이 높고 맛과 조직의 질감을 떨어뜨리므로 축산가공부산물을 이용한 사료 2의 지질감소 효과는 이러한 문제점을 줄일 수 있는 잇점이 있음을 시사하고 있다. 또한 어체 조성중 조지방 함량은 단백질, 수분 및 회분 함량에 반비례 관계를 보였고 이는 Shimeno et al. (1995)의 잉어 실험결과와 일치 하였다.

최근 양어사료의 질소 및 인은 수질오염의 주요인으로 문제시 되고 있어서 이를 줄이기 위하여 고에너지이며 저단백질 및 저인 사료를 개발하여 수질오염을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Belal and Assem, 1995; Luzier et al., 1995). 식물성 사료원들은 저렴하며 구하기 쉽고 사람들도 많이 이용하고 있어서 그동안 어분 대체원으로 여러 식물성 사료원이 이용되어 왔다 (Watanabe et al., 1991; Law, 1986; Pongmaneerat et al., 1993). 그러나 이들 중 특히 대두박의 경우 사료내 함량이 증가함에 따라 성장율은 증가 하였어도 섭취량은 식물성 사료원의 어분 대체율 증가에 따라 감소하는 문제점 과 사료내 Phytin 및 영양소의 소화율을 저해하는 섬유질이 많으며, 특히 현재 문제시 되는 인의 형태가 Phytin형태이어서 양어내 소화 및 분해가 일어 나지 않고 대부분 배설되어 수질 오염을 일으키며 또한 성장에 필수적인 다른 무기질의 이용율을 저하 시킨다는 문제점이 지적 되어 왔다 (Belal and Assem, 1995; Ogino et al., 1979). 8 주간의 사료 공급 후의 전어체, 혈액, 뼈의 인 및 뼈의 회분은 Table 6에 나타내었는데 모든 사료 구간에 유의적인 차이가 없었다 ($P>0.05$). 그리고 본 실험에 이용된 축산 가공 부산물들은 육골분을 제외하고는 회분 및 인의 함량이 어분에 비해 낮았다 (Table 2). 그리고 본 실험에서 이용

되고 있는 축산 가공 부산물들은 단백질 및 특히 지방의 함량이 비교적 높아 고에너지를 내므로 효율적인 에너지원인 지질을 주 에너지로 사용하게 됨으로써 (Ogino et al., 1976) 사료내 단백질을 절약 할 수 있어서 (Shimeno et al., 1995), 일반 상업사료와 같은 고단백질사료 공급시 초래 될 수 있는 단백질이용성의 저하 및 질소배출 증가 등의 문제점을 줄일수 있는 잇점도 있다.

본 실험에서는 현재 소화율 측정에 널리 이용되고 있는 산화크롬의 첨가가 어류성장애 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위하여 상업사료내 산화크롬을 첨가 하거나 혹은 첨가하지 않고 8 주간 사육한 결과 산화크롬 0.5%의 8주간 첨가는 성장에 영향을 주지 않았을 뿐 아니라 전어체의 일반성분, 혈장 및 뼈 조직 중의 인과 회분 함량에도 영향을 주지 않았다 (Table 4, 5, 6). 일반적으로 사료원내 영양소 소화를 측정에는 여러가지 방법이 이용되고 있는데 이들 방법은 분 수집 형태에 따라 크게 직접식 및 간접식으로 나눌 수 있고 직접식은 분수집의 양적인 회수에 따른 많은 어려움과 문제점이 있어서 현재 어류에 의해 소화되거나 흡수가 안되는 주로 무기질인 지표물질로 산화크롬을 사료에 첨가 한 후 이를 분에서 회수하여 소화율을 측정 하는 간접식이 널리 이용되고 있다 (Nengas et al., 1995; De La Noue and Choubert, 1986). 그러나 장기간 고농도 산화크롬이 어체에 미치는 여러가지 영향에 관하여 의문점이 제기 되어 왔지만 이에 관한 연구가 매우 부족 하였다. 본 실험에서는 무지개송어의 성장결과, 산화크롬은 성장 및 전어체의 일반성분에 영향을 주지 않아 사료내 영양소의 소화율 측정에 0.5%의 산화크롬 첨가는 별다른 문제가 없을것으로 생각 된다. 그리고 양어사료 사료원들의 가공되지 않은 원료의 원상태 및 사료가공 공정은 어류의 성장에 영향을 주며 배합사료 제조시에는 영양소의 생체이용율 (bioavailability)과 여러 사료원들의 소화율에 영향을 미치게 되므로, 영양적으로 어류의 영양소 요구량을 충족 시킬 수 있는 균형잡힌 양어배합사료 작성에 있어서 선결 되어져야 할 중요한 사항이다 (Gomes et al., 1995; Kaushik, 1995; Nengas et al., 1995).

본 실험 결과, 무지개 송어 사료내 어분단백질 대체원으로 본 축산가공부산혼합물의 이용은 40% 수준 이하에서 가능하다고 판단되고 산화크롬은 성장 및 전어체의 일반성분에 영향을 주지 않았으므로 사료내 영양소의 소화를 측정에 0.5%의 산화크롬 첨가

Table 5. Body composition of rainbow trout fed the experimental diets (% of dry matter)¹

Diet	Moisture	Protein	Lipid	Ash
1. WFM 100	68.1 ^b	48.9 ^b	42.3 ^a	6.9 ^b
2. ABPM 40	70.1 ^{ab}	54.0 ^{ab}	33.3 ^b	7.9 ^a
3. -Cr	71.5 ^a	58.0 ^a	31.7 ^b	8.3 ^a
4. +Cr	70.1 ^{ab}	53.4 ^{ab}	32.1 ^b	7.7 ^{ab}
Pooled SEM ²	0.5	1.3	2.3	0.2

¹Means of duplicate groups ; Values in the same column not sharing a common letter are significantly different ($P<0.05$)

²Pooled SEM = SD/\sqrt{n}

Table 6. Phosphorus (P) concentration from whole body, serum and bone of rainbow trout fed the experimental diets¹

Diet	Whole body phosphorus (% DM)	Serum phosphorus (mg/100 ml)	Bone phosphorus (% lipid-free DM)	Bone Ash (% lipid-free DM)
1. 100 WFM	1.5	31.1	10.8	50.5
2. 40 ABPM	1.3	30.1	11.1	50.7
3. -Cr	1.5	27.0	8.3	52.3
4. +Cr	1.5	31.1	9.5	51.9
Pooled SEM ²	0.1	4.4	1.3	0.4

¹Means of duplicate groups ; Values in the same column not sharing a common letter are significantly different ($P<0.05$)

²Pooled SEM = SD/\sqrt{n}

는 별다른 문제가 없음을 보여주었다. 그리고 앞으로 무지개송어에 있어 추후 다른 사료원의 추가 혼합으로 단백질의 질을 향상시키거나 사료유인물질과 같은 첨가제를 사용하므로써 40% 이상의 대체가 가능한 완제품에 관한 연구가 뒤따라야겠다.

요 약

본 연구는 무지개송어 사료의 어분 대체사료원으로서 육골분(MBM), 우모분(FM), 오징어내장분(SLP), 가금부산물(PBP) 및 혈분(BM)을 특정비율로 혼합하여 제조한 어분대체품(ABPM)을 제작하여 사료내 어분의 대체가능성을 조사하고 사료내 소화율 측정에 이용하는 지표물질인 Cr_2O_3 첨가가 성장에 미치는 영향에 관한 자료를 얻고자 실시하였다. 본 실험사료의 주단백질원으로는 동물성단백질원으로 북양어분(White fish meal, WFM)과 축산가공부산물혼합물(ABPM)을 식물성으로 대두박과 콘글루텐밀을 사용하였다. 사료 1과 사료 2의 사료는 National Research Council(NRC, 1993)자료에 근거하여 조단백질 함량은 46.5%, 가용성 에너지는 16.7 KJ/g (protein, carbohydrate and lipid: 16.7, 16.7 and 37.7 KJ/g)으로 동일하게 맞추어 주었다. 실험사료는 사료 1(WFM 100), 사료 2(ABPM 40), 사료3(상업사료(-Cr)), 사료 4(상업사료+0.5% Cr_2O_3 (+Cr))로 4가지를 사용하였다.

일주일간의 예비사육 후 평균무게 2.1 g \pm 0.2인 치어를 30마리씩 3반복으로 무작위 배치하여 4주간 사육한후, 성장속도가 비슷한 평균무게 6.8 \pm 0.3 g의 어류를 동일한 사료군내에서 선택하여 20마리씩 2 반복 재배치 하여 4주간 사육하였다. 8 주간 사료 공급 후 사료 2는 다른 모든 사료구에 비해 증체율(WG, %)과 사료 효율(FE, %)이 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 어체의 혈액분석 결과 헤마토크리트는 전사료구간에 유의차가 없었다 ($P > 0.05$). 전어체 일반성분 분석 결과 수분 및 조단백질 함량은 모든 사료구간에 유의적 차이가 없었으나 ($P > 0.05$), 사료 1의 조지방 함량은 다른 사료구에 비해 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$).

어체의 비만도는 사료 2가 다른 사료구에 비해 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 혈액, 뼈 및 전어체의 인 함량 및 뼈의 회분 함량은 모든 사료구간에 유의적인 차이가 없었다 ($P > 0.05$).

상업사료내 산화크롬을 첨가 하거나 혹은 첨가하지 않고 8 주간 사육한 결과 산화크롬 0.5%의 8주간 첨가는 성장에 영향을 주지 않았을 뿐 아니라 전어체의 일반성분, 혈장 및 뼈 조직 중의 인과 회분 함량에도 영향을 주지 않았다.

본 실험 결과, 무지개 송어 사료내 어분단백질 대체원으로 본 축산가공부산물혼합물의 이용은 40% 수준 이하에서 가능하다고 판단되고 산화크롬은 성장 및 전어체의 일반성분에 영향을 주지 않았으므로 사료내 영양소의 소화율 측정에 0.5%의 산화크롬 첨가는 별다른 문제가 없음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업에 의한 연구비, 부경대학교 해양산업개발연구소(ERC)의 연구비와 부경대학교 해

양식량자원개발 특성화사업단의 지원에 의하여 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Alexis, M.N., E. Papaparaskeva-Papoutsoglou and V. Theochari. 1985. Formulation of practical diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) made by partial diets or complete substitution of fish meal by poultry by-products and certain plant by-products. *Aquaculture* 50, 61~73.
- Bai, S.C., H.K. Jang and K.H. Lee. 1997. Evaluation of leather meal and meat and bone meal as the fish meal replacer in israeli carp diets. *Journal of Aquaculture* 10, 153~161 (in Korean).
- Belal, I.E.H. and H. Assem. 1995. Substitution of soybean meal and oil for fish meal in practical diets fed to channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque): effects on body composition. *Aquaculture Research*. 26, 141~145.
- Brown, B.A. 1980. Routine hematology procedures. In *Hematology; Principles and Procedures*. pp. 7~112. Lea and febiger, Philadelphia.
- Chen, P.S., I.Y. Toribara and H. Warner. 1956. The determination of phosphorus. *Analytical Chemistry* 28, 1756~1758.
- De La Noue, J.D. and G. Choubert. 1986. Digestibility in rainbow trout: Comparison of the direct and indirect methods of measurement. *Progress. Fish. Cult.* 48, 190~195.
- Folch, J., M. Lees and G.H. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497~509.
- Fowler, L.G. 1990. Feather meal as a dietary protein source during parr-smolt transformation in fall chinook salmon. *Aquaculture* 73, 177~187.
- Gallagher, M.L. and G. Degani. 1988. Poultry meal and poultry oil as source of protein and lipid in the diet of european eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*. 73, 177~187.
- Gomes, E.F., P. Rema and S.J. Kaushik. 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130, 177~186.
- Hole, R. and S. Oines. 1991. Can fish silage be used as a nutritional solution to reduce aquaculture waste when considering the slaughtering quality of fish? In: Cowey, C. B. and C. Y. Cho (eds). *Nutritional strategies & Aquaculture Waste*. pp. 21~36. Fish Nutrition research Lab., Ontario, Canada.
- Kaushik, S.J. 1995. Nutrient requirements and supple and utilization in the content for carp culture. *Aquaculture*. 129, 225~241.
- Kikuchi, K., H. Honda, M. Kiyono and I. Miyazono. 1993. Total replacement of fish meal with other protein sources in the diet of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, *Suisanzoshoku*, 25, 345~351.
- Kim, K.W. and S.C. Bai. 1997. Fish meal analog as a dietary protein Source in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Journal of Aquaculture* 10, 143~151 (in Korean).
- Law, A.T. 1986. Digestibility of low-cost ingredients in pelleted feed by grass carp (*Ctenopharyngodon Idella C. et V.*). *Aquaculture* 51, 97~103.

- Lee, K.J. and S.C. Bai. 1997. Hemoglobin powder as a dietary animal protein source for tuvenile Nile tilapia. *The progressive Fish-Culturist* 59, 266~271.
- Luzier, J.M., R.C. Summerfelt and H.G. Ketola. 1995. Partial replacement of fish meal with spray-dried blood powder to reduce phosphorus concentrations in diets for juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Res.* 26, 577~587.
- McCoy, H.D. II. 1990. Fishmeal-The critical ingredient in aquaculture feeds. *Aquaculture Magazine* 16 (2), 43~50.
- Murai, T., T. Akiyama and T. Nose. 1984. Effects of amino acid on efficiency in utilization of diet by fingerling carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 50 (5), 893~897.
- Murai, T., T. Akiyama, T. Takeuchi, T. Watanabe and T. Nose. 1985. Effects of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 54 (40), 605~608.
- Nandeesh, M.C., S.S. De Silva and D.S. Murthy. 1995. Use of mixed feeding schedules in fish culture: performance of common carp, *Cyprinus carpio* L., on plant and animal protein based diets. *Aquaculture Research*. 26, 161~166.
- Nengas, I., M.N. Alexis, S.J. Davis and G. Petichakis. 1995. Investigation to determine digestibility coefficients in diets for gilthead sea bream, *Sparus auratus*, L. *Aquaculture Res.* 26, 185~194.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. National Academy Press. Washington, D. C. 114 pp.
- Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda, and T. Watanabe. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 45, 1527~1532.
- Ogino, C.Y., J.Y. Chiou and T. Takeuchi. 1976. Protein nutrition in fish-VI effects of dietary energy sources on the utilization of proteins by rainbow trout and carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 42, 213~218.
- Pongmaneerat, J., T. Watanabe, T. Takeuchi and S. Satoh. 1993. Use of different protein meals as partial or total substitution for fish meal in carp diets. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 59, 1249~1257.
- Rodriguez-Serna, M., M.A. Olvera-Novosa and C. Carmona-Osalde. 1996. Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry. *Aquaculture Research*. 27, 67~73.
- Rumsey, G.L. 1993. Fish meal and alternative sources of protein feed update. 1993. *Fisheries*, 18, 14~19.
- Shimeno, S., D. Kheyyali and T. Shikata. 1995. Metabolic response to dietary lipid to protein ratios in common carp. *Fisheries Science* 61 (6), 977~980.
- 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* 8, 343~354 (in Korean).
- Sugura, S.H., F.M. Dong, C.K. Rathbone and R.W. Hardy. 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture* 159, 177~202.
- Watanabe, T. 1991. Past and present approaches to Aquaculture waste management in Japan. In: Cowey, C.B. and C.Y. Cho (eds.). *Nutritional strategies & aquaculture wastes*. pp. 137~154. Fish nutrition research lab., Ontario, Canada.
- Watanabe, T., J. Pongmaneerat, S. Sato, and T. Takeuchi. 1991. Quality evaluation of some animal protein sources from rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 57, 495~501.
- Zeitler, M.H., M. Kirchgessner and F.J. Schwarz. 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture* 36, 37~48.

1998년 8월 12일 접수

1999년 7월 5일 수리