

무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) 사료원으로써 대두박의 이용 효과

III. 인(P)의 이용성

김 병 기

한국해양연구소 해양생물연구부

Effects of Dietary Soybean Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

III. Bioavailability of Phosphorus

Pyong Kih Kim

KORDI, Ansan P. O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Feeding experiment was conducted to evaluate effects of dietary soybean meal (SBM) on the phosphorus bioavailability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

Seven diets, containing 0~70% SBM, were made based on iso-nitrogenous and iso-caloric basis of 44% crude protein.

Apparent digestibility of phosphorus was measured 60 and 120 days after feeding. The digestibility coefficient increased gradually as the level of SBM increased up to 46~58%, but decreased at 58~70% SBM level. Phosphorus concentrations in feces decreased with an increase in dietary SBM level. Patterns of post-prandial phosphorus excretion were not similar to those of ammonia excretion, but the amount decreased with the increased SBM level in the diets. Total excretion of phosphorus for 24 hours was $19.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ body wt.} \cdot \text{day}^{-1}$ in the control group, but excreted phosphorus by the 58% and 70% SBM groups was 63.4% and 56.1% of the control group, respectively.

Phosphorus concentration of whole body decreased with an increase in dietary SBM level for 120 days of feeding. However, there were no significant differences in phosphorus concentrations of liver among the experimental groups, except for 70% SBM diet group.

Key words : Soybean meal, Rainbow trout, Phosphorus, Bioavailability, Digestibility

서 론

어류의 사료에는 기호성이나 성장면을 고려하여 단백질원으로 어분을 주로 사용하고 있는데, 어분은 어류가 필요로 하는 아미노산을 고르게 갖춘 양질의 단백질원이지만, 가격이 비싸고 수급이 불안정한데다가, 연제품 등의 수산 가공 식품의 수요 확대에 인하여 골분(骨粉)의 비율이 높은 어분마저 유통되고 있어 질적인 문제점도 있다. 골분이 많은 양어 사료는 어류가 필요로 하는 양보다 훨씬 많은 양의 인(磷)을 함유하고 있는데,

인(P)은 어류 성장에 필수적인 원소이지만 (Ogino et al., 1979) 지나치게 많으면 환경으로 배출되어 질소(N)와 함께 수계의 오염원이 되기 때문에 환경 보호 차원에서 많은 규제의 대상이 된다(Phillips et al., 1993).

무지개송어는 온수성 어류와는 달리 단백질 요구량이 높아 어분의 사용량이 상대적으로 많은데, 어분에는 약 2~3% 정도의 총 인(total phosphorus)이 들어 있어 무지개송어가 필요로 하는 양보다 훨씬 많다(Cho et al., 1994). 따라서 사료중의 인을 줄이는 방법들이 많이 연구되고

있으나, 인의 절대 함량을 낮추기 위해서는 함량이 낮은 단백질원을 찾는 것이 가장 바람직할 것이다.

단백질 대체원 중에서 대두박은 영양이 비교적 균형잡혀 있으며, 대두박에 포함된 인은 어분에 비하여 그 이용성이 낮기는 하지만 그 절대량은 어분의 약 20% 수준으로 적기 때문에 사료중에 대두박의 함량을 높이면 인의 배설량을 줄이는 효과도 있다(Cho et al., 1994). 하지만 대두박에 들어있는 인은 어류가 제대로 소화하지 못하는 화이틴(phytin) 형태이어서 이들의 소화를 향상시키기 위하여 분해효소를 사용하려는 시도도 이루어지고 있다(Rodehutschord and Pfeffer, 1995).

한편, 어분 중의 인 이용율은 어종이나 위의 유무에 따라서도 크게 다른 것으로 알려져 있고(Ogino and Kamizono, 1975; Akiyama et al., 1984), 무지개송어는 phytate 상태의 인을 잉어나 틸라피아 등의 잡식성 어류보다 잘 소화하는 것으로 알려져 있다(Ogino et al., 1979).

따라서, 본 연구에서는 대두박 사료에 포함된

인의 이용성을 검토하기 위하여 29 g의 무지개송어에게 어분과 대두박 중심 사료에 별도의 인을 첨가하지 않은 사료로 사육하면서 사료의 인 이용성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험 어류 및 사육

무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)는 개인 양 어장에서 부화 사육한 치어를 한국해양연구소로 가져와 사육 실험 전까지 약 1 개월간 상품 사료로 예비 사육하였다. 사육 실험은 각 실험구마다 73 마리(평균 체중 29 g) 씩 2 배수로 실험하였다.

사육장치는 김 등(1996a)과 같이 여과조(수량 6 m³)에 4 개의 FRP 수조(1 톤)가 연결된 반순환식 여과 사육 시스템 2 조를 실험에 이용하였고, 각각의 FRP 수조에는 2 개의 cage (1.2 × 0.6 × 0.5 m)를 설치하여 실험구를 무작위로 배치하였다.

사료는 매일 오전과 오후(09:00와 16:00)

Table 1. Ingredient and proximate composition of the test diets for rainbow trout

SBM content (%)	Diet No.							CD ¹
	0	10	22	34	46	58	70	
Diet No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Soybean meal	—	10.0	22.0	34.0	46.0	58.0	70.0	
White fish meal	64.5	57.2	48.5	39.5	30.5	22.0	13.0	
Wheat flour	33.0	30.3	26.9	23.8	21.7	17.2	14.1	
Vitamin mix. ²	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Mineral mix. ³	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Baker's yeast	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
L-methionine	—	0.04	0.10	0.15	0.20	0.25	0.31	
L-lysine	—	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Pollack liver oil	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	—
Cr ₂ O ₃	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—
Total phosphorus ⁴	2.13 ^{ab}	2.14 ^a	2.04 ^b	1.81 ^c	1.70 ^d	1.41 ^e	0.98 ^f	2.04 ^{ab}

¹Commercial diet for rainbow trout.

²Contain ingredients per Kg mixture. A, 800,000 IU ; D₃, 160,000 IU ; E, 5,000 IU ; K, 1.0 g ; B₁, 2.0 g ; B₂, 2.0 g ; B₆, 2.0 g ; B₁₂, 2.0 mg ; C, 10.0 g ; niacin, 10.0 g ; pantothenic acid, 5.0 g ; folic acid, 0.5 g ; choline chloride, 55.0 g ; biotin, 10.0 mg ; inositol, 10.0 g.

³Contain ingredients per Kg mixture. Mn, 40 g ; Fe, 50 g ; Cu, 10 g ; Zn, 60 g ; Ca, 10 g ; I, 1 g ; Co, 50 mg ; Se, 150 mg.

⁴The means in row with the same superscript are not significantly different each other (p>0.05).

두차례로 나누어 무제한(non-restricted) 또는 포만(*ad libitum*) 상태로 공급하였다. 사육방법은 지하수를 보충적으로 시스템에 공급하는 것 외에, 대부분의 사육수는 여과조(물리·생물학적 여과)의 정화 기능에 의존하였다. 또한, 각 사육 시스템에는 수온자동제어장치(thermo-controller)를 설치하여 실험 기간 동안 수온이 17°C를 유지하도록 하였다.

2. 실험 사료의 제조 및 인 함량

실험 사료는 김 등(1996a)이 사용한 것과 같았으며, 그 조성은 Table 1과 같이 어분을 64.5% 사용한 실험 사료를 대조구(사료 1 번)로 하여 점차 그 함량을 13%까지 줄이면서 한편으로는 대두박을 10%에서 70%까지 등간격으로 늘린 7 종류의 실험 사료(사료 2~7 번)를 제조하였다. 그리고 성장 비교를 위해 시판되는 D사의 무지개송어용 사료(사료 8 번)를 함께 사용하였다.

대두박 사료의 인 함량은 Table 1과 같이, 사료내 대두박 함량이 많아짐에 따라 인(P)의 함량은 유의적인 차이를 보일만큼 줄었다($p < 0.05$). 즉, 대두박 0%(사료 1 번)인 사료는 어분만을 주 단백질원으로 사용하여 사료의 2.13%였고, 대두박 함량이 많아짐에 따라 인의 함량은 크게 줄어 대두박 58% 및 70% 사료(사료 6 및 7 번)는 각각 대조구(사료 1 번)의 66% 및 46%에 불과하였다. 한편 성장 비교를 위해 사용한 시판 사료의 인 함량은 2.04%나 되었다.

3. 사료, 분(糞) 및 어체(魚體)의 인 분석

Taussky and Shorr (1953)의 방법에 따라, 건조 시료인 사료와 분(糞)은 0.5 g을, 그리고 어체 근육, 간장 등의 습식 시료는 1.0 g을 정량하여 10 배량의 질산을 첨가한 후 1 ml 가량 남은 때까지 hot plate에서 가열하였으며, 가열 온도는 습식시료는 250°C로 하였고 건조 시료는 300~350°C로 하였다. 이것을 방냉한 후 과염소산을 4 ml 가하여 20 분간 가열하고, 다시 방냉시킨 후 증류수 12 ml를 첨가하여 20~30 분간

재가열하였다. 이를 방냉한 다음 증류수에 녹여 50 ml로 정용하였다. 건조 시료와 습식 시료를 각각 0.2 ml와 0.5 ml 피펫으로 뽑아 5 ml로 희석한 다음 pH 3.8로 조절하였다. 이것을 몰리브덴 청색비법(1% L-ascorbic acid 수용액을 환원제로 사용)으로 발색시켜 흡광도(740 nm)를 재어 인의 함량을 정량하였다.

4. 인의 외관상 소화율 및 배설량

김 등(1996b)의 방법에 따라 사료 공급, 분의 수집 및 산화 크롬을 측정하여 인의 외관상 소화율을 구하였으며, 인의 배설량도 김 등(1996b)의 암모니아 배설량 측정방법과 동일하게 하여 사육수 중의 인 함량을 수질측정기(DEAL 2000, Hack Co., U.S.A.)로 측정하였다.

5. 혈액 중의 인과 칼슘 정량

혈중 인의 경시적인 변화를 측정하기 위하여 48시간 절식한 후 어체중의 2%(건중량 기준)에 해당하는 실험 사료를 공급하고 24시간 동안 혈중 인의 농도 변화를 김 등(1996b)의 방법에 따라 측정하였다. 혈액 중 인(燐)과 칼슘의 정량에는 건식 혈액분석기(Ektachem DT II System, Kodak Co., U.S.A.)를 이용하여 최종 발색 물질의 흡광도(660 nm와 680 nm)를 재어 정량하였다.

6. 통계 처리

모든 측정값은 Statistical Analysis System (SAS)으로 처리하였고, 실험 구간별 유의성 검정은 Duncan's Multiple Range Test (Duncan, 1955)로 95% 유의 수준에서 하였다.

결 과

1. 인(P)의 외관상 소화율 및 배설량

실험 사료로 무지개송어를 각각 60 일과 120 일간 사육한 후 인의 외관상 소화율을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 60 일과 120 일 모두에서 대두박 함량이 많을수록 소화율이 증가하다가

Table 2. Apparent digestibility (%) of phosphorus in soybean meal diet for rainbow trout

Duration (day)	Diet No.						
	1	2	3	4	5	6	7
Digestibility (% ± SD)							
60	35.5 ± 1.4	36.0 ± 0.7	39.5 ± 1.2	43.9 ± 1.2	49.4 ± 0.4	53.7 ± 0.9	45.4 ± 0.3
120	33.8 ± 0.7	34.0 ± 1.0	40.1 ± 2.0	42.3 ± 1.4	50.3 ± 0.3	46.0 ± 1.0	43.2 ± 0.7
Phosphorus in feces (% , dry feces)							
60	7.7	6.9	6.6	5.3	4.1	3.9	3.6
120	7.6	7.2	6.7	5.6	4.2	3.7	3.3

*Refer to Table 1.

각각 사료 6번과 5번에서 정점을 보인 후 감소하였다. 즉 60 일간 사육한 경우, 사료 1 번의 35.5%에서부터 서서히 증가하다가 사료 6 번에서 53.7%로 정점을 보였고, 사료 7 번에서는 45.4%로 감소하였다. 그리고 120 일간 사육한 경우도 그 경향은 비슷하였으나 사료 1 번의 33.8%에서 시작하여 사료 5 번의 50.3%가 정점이었고, 사료 6 번과 7 번은 각각 46.0%와 43.2%로 오히려 줄었다. 전반적으로는 120 일간 사육한 무지개송어의 소화율이 60 일간 사육한 것보다 낮았다.

한편, 분(糞) 중의 인 함량을 조사하였더니 대두박 함량이 많아지면서 그 양은 줄었다. 즉, 60 일 후에는 사료 1 번이 7.7%로 가장 높았지만 대두박 함량이 많아지면서 점차 줄어들어 사료 6 및 7 번 공급구는 각각 사료 1 번의 50.6% 및 46.8% 정도였으며, 이 경향은 120 일 후에도 마찬가지였다.

그리고 실험 사료를 공급한 후 24 시간 동안 어느정도의 인이 배설되는지를 12 시간씩 나누어 측정한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 대체로 인의 배설은 전반부 12 시간이 후반부 12 시간보다 그 양이 많았고, 대두박 함량이 많을수록 인의 배설량은 감소하는 경향이였다. 즉 전반부 12 시간 동안의 인의 배설량은 0.61~1.03 mg · kg⁻¹ · hr⁻¹ 수준이었지만, 후반부 12 시간 동안에는 0.30~0.73 mg · kg⁻¹ · hr⁻¹이 배설되었다. 그리고 24 시간 동안의 인의 총배설량은 대조구인 사료 1 번이 19.68 mg · kg⁻¹ · hr⁻¹로 가장 많았고, 대두박 함량이 많아짐에 따라 인의 배설량은 줄어들어 사료 6 번 및 7 번은 각각 사료 1 번의 63.4% 및 56.1%

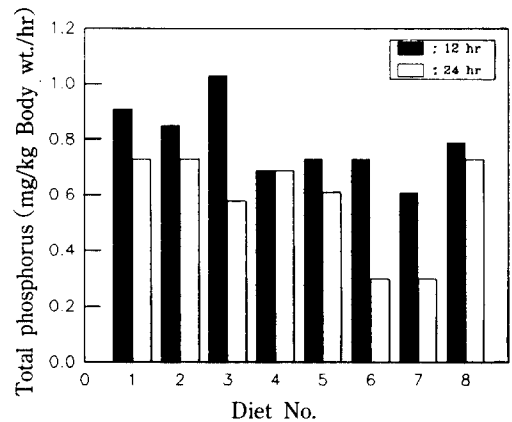


Fig. 1. Excretion of total phosphorus of rainbow trout within 12 hrs and 24 hrs after feeding of test diets. Diet 1~8 refer to Table 1.

수준이었고, 사료 8 번(시판 사료 공급구)은 18.24 mg · kg⁻¹ · hr⁻¹으로 사료 1 번의 92.7% 수준이었다.

2. 어체 및 조직의 인(P) 함량

내장을 제거한 무지개송어의 전어체(全魚體)의 인 함량을 조사한 결과는 Table 3에 나타내었다. 사육 실험을 개시할 때에는 0.47%였으나, 대두박 사료를 60 일간 공급하였더니 실험 전보다도 줄어 0.31~0.38%가 되었다. 하지만 이 때까지는 공급구 간에 유의적인 차이는 없었으나, 120 일간 공급하였더니 대두박 함량에 따라 유의적인 차이 (p<0.05)가 있었다. 즉, 대두박을 첨가하지 않은 사료 1 번 공급구는 0.36%로 가장 많아 다른 사료들과 유의차를 보였다. 그러나 대두박 함량

10~58%의 공급구(사료 2~6 번)와 상품 사료 공급구는 0.30~0.33%의 수준으로 서로 유의적인 차이가 없었다. 그리고, 대두박 함량 70% (사료 7 번)의 공급구는 0.29%로 인의 축적이 가장 낮았다.

한편, 대두박 사료로 120 일간 사육한 무지개송어를 대상으로 사료를 공급하고 24 시간이 지난 다음에 간장과 근육 중의 인(P) 함량을 조사한 결과, 간장의 경우에는 대두박 함량이 많을수록 적은 경향이어서 사료 1~6 번 공급구는 0.08~0.09% 수준으로 서로 비슷하였으나, 사료 7 및 8 번은 각각 0.06% 및 0.07%로 유의적으로 적었다($p < 0.05$). 그리고 근육의 경우에는 0.23~0.27%였으며, 사료 3 번 및 7 번 공급구에서 유의적($p < 0.05$)으로 적었다. 한편 근육 중의 인 함량은 내장을 제거한 총어체가 지닌 총 인 함량의 69~90%나 되어 인의 대부분이 근육에 축적되어 있음을 알 수 있었으며, 그 비율은 대두박 함량이 많은 공급구일수록 약간 증가하는 경향을 보였다.

3. 혈액 중의 인(P)과 칼슘(Ca) 함량 변화

대두박 사료를 섭취하고 난 후 무지개송어 혈액 중 인 함량의 경시적인 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 사료 공급 직전(0 시간)의 무지개송어 혈액 중에는 24.4~32.4 mg/100 ml 수준의 인이 들어 있었으며, 사료 섭취 1 시간 후에는 31.5~32.8 mg/100 ml로 약간 상승하였다. 그러나 그 후

에는 실험 사료에 따라 약간의 증감이 있기는 하였지만 대체로 24 시간 후까지 일정하게 30 mg/100 ml 수준을 유지하였다.

한편, Table 4에는 사료 섭취 전후인 0, 1, 3, 6, 9, 12, 18 및 24 시간에 측정된 혈액 인의 평균값을 나타내었다. 모든 공급구에서 26.2~28.6

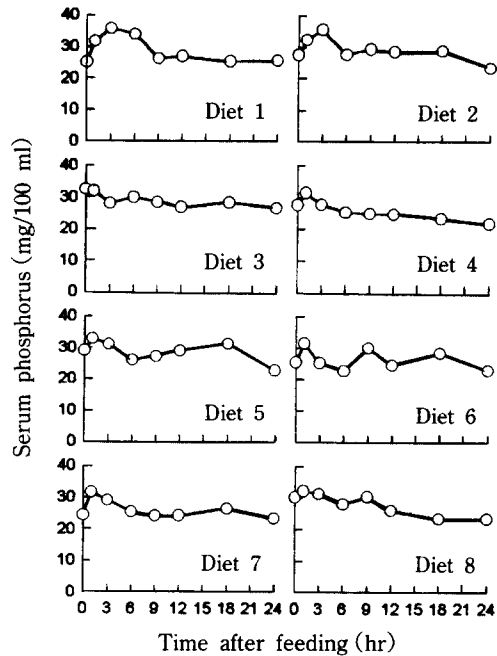


Fig. 2. Post-prandial changes of serum phosphorus of the rainbow trout fed the experimental diets. Diet 1~8 refer to Table 1.

Table 3. Phosphorus contents (%) of the rainbow trout fed the experimental diets

	Diet No. ¹								Pooled SEM
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Whole body (guttet) ²									
Start	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	—
60 days	0.35 ^a	0.32 ^a	0.23 ^a	0.36 ^a	0.35 ^a	0.31 ^a	0.37 ^a	0.38 ^a	0.021
120 days	0.36 ^a	0.30 ^a	0.32 ^b	0.33 ^b	0.30 ^b	0.31 ^c	0.29 ^c	0.33 ^b	0.012
Liver ²									
120 days	0.09 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.08 ^{ab}	0.09 ^a	0.06 ^c	0.07 ^{bc}	0.010
Muscle ²									
120 days	0.25 ^{bc}	0.26 ^{ab}	0.23 ^c	0.25 ^{bc}	0.27 ^{ab}	0.25 ^{abc}	0.23 ^c	0.27 ^a	0.013

¹Refer to Table 1; the means in same rows with the same superscript are not significantly different ($p > 0.05$).

²basis on wet weight.

Table 4. Calcium and phosphorus levels in the serum of rainbow trout during 24 hr after single feeding of soybean diets

Component (mg/100 ml)	Diet No. ¹								Pooled SEM
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Ca	10.2	—	10.7	11.5	—	11.8	11.4	12.5	0.83
P	28.6	28.6	28.6	27.9	28.7	27.9	26.2	28.2	3.28

*Refer to Table 1.

Table 5. Changes of serum Ca/P ratio in rainbow trout fed with the experimental diets

Time (hrs)	Diet No.*							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.25	0.31	0.32	0.33	0.32	0.36	0.35	0.36
3	0.29	0.35	0.38	0.39	0.34	0.46	0.34	0.37
6	0.32	0.38	0.37	0.48	0.41	0.46	0.48	0.45
9	0.38	0.35	0.37	0.43	—	0.41	0.48	0.43
12	0.41	0.41	—	0.42	0.39	—	0.48	0.51
18	0.53	0.34	—	0.48	0.38	0.42	0.48	—
24	0.43	0.46	0.42	0.60	0.51	0.48	0.44	0.59

*Refer to Table 1.

mg/100 ml 수준을 나타내었으나, 사료 7 번 공급구는 26.2 mg/100 ml 으로 다소 낮았다.

한편 사료 중에 인이 부족하면 칼슘의 대사 기능이 저하하는지를 조사하기 위하여 혈액 중 칼슘 농도의 경시적인 변화를 조사한 결과에서도 그 변화 양상은 인과 비슷하였다. 즉, 사료 섭취 후 24 시간까지 거의 10 mg/100 ml로 일정하였지만, 대두박 함량이 많아 회분 함량이 적은 사료 1 및 3 번 공급구는 각각 10.2 및 10.7 mg/100 ml이었고, 대두박 함량이 많은 사료 4, 6 및 7 번 공급구는 11.4~11.8 mg/100 ml로 이보다 약간 높았으며, 특히 상품 사료 공급구는 11.0~13.7 mg/100 ml(평균 12.5 mg/100 ml)로 공급구 중에서 가장 높은 값을 나타내었다.

또한, 사료 섭취 후 혈액 중의 Ca/P 구성비를 보면, Table 5와 같이 사료 섭취 후 시간이 경과함에 따라, 또한 사료 내 대두박 함량이 많을 수록 그 구성비는 증가하는 경향을 나타내었다.

고 찰

무지개송어는 온수성 어류와는 달리 사료 단

백질의 요구량이 높아 피할 수 없이 단백질원으로 어분을 많이 사용하며, 그 결과 그들이 필요로 하는 양보다 훨씬 많은 총 인(total phosphorus)이 사료 중에 포함되어 있다(Cho et al., 1994). 그러나 어류 사료의 단백질원으로 어분 대신 대두박을 다량 첨가할 경우에 별도로 인을 보충해 주지 않으면 인이 부족하여 성장 저해를 받을 수가 있고(Watanabe et al., 1980, 1988), 또한, 인이 결핍되면 체지방 증가, 혈액 중 인의 감소, 뼈의 만곡 현상 등이 나타나기도 하며(Andrews et al., 1973; Ogino and Takeda, 1976), 나아가 간의 글리코겐 함량 감소, 어체의 회분, 칼슘 및 인의 함량 등이 현저히 감소하는 증상이 있다고 알려져 있다(Sakamoto and Yone, 1978).

그러나 본 연구에서는 사료 6번 및 7 번(대두박 58%와 70%) 공급구를 제외하고는 혈중 인의 함량이 27.9~28.7 mg/100ml 수준으로 서로 유사하였고, 전어체의 인 함량은 실험사료 공급후 60일째에는 0.32~0.38%로 Ogino and Takeda (1976)가 보고한 0.4~0.5% 수준보다 낮았으나 실험구간 유의차는 없었다(p>0.05). 또, 120일째는 대조구가 0.36%인 반면 나머지 2~5번

실험구는 0.30~0.33%로 유의적으로 낮기는 하지만 120일째의 근육 및 간의 인 함량은 대조구(사료 1 번)에 비하여 큰 차이를 보이지 않았고, 김 등(1996b)과 같이 대두박 사료 공급으로 인한 체지방의 감소는 없으며, 척추 반곡 및 폐사율 증가 등의 현상이 관찰되지 않은 점 등으로 미루어 대두박을 사료의 48%까지 첨가하여 120일간 사육하여도 인의 부족으로 인한 성장 감소 및 생리적인 장애는 없을 것으로 사료된다.

무지개송어와 같은 유위어는 인의 이용율이 60~70%로 높고(Ogino and Kamizono, 1975; Akiyama et al., 1984), phytate 인은 잉어나 틸라피아 등의 잡식성 어류보다 약 2 배 이상 소화를 잘 시킨다(Ogino et al., 1979). 또, 무지개송어의 인 요구량은 0.7~0.8% (Ogino and Takeda, 1976) 수준이며, 어분의 잠재적인 인 이용율이 86% 정도로 상당히 높기 때문에 어분이 사료중에 일부 사용된다면 대두박을 적정 수준으로 사용하여도 인의 부족 증상은 없을 것으로 사료된다. 그러나, 본 연구에 이용된 실험 사료의 총 인 함량은 사료 1 번 공급구(대조구)가 2.13%로 가장 많았고, 대두박 함량이 늘어남에 따라 인의 양도 크게 줄어들어 사료 6 번이 1.41%, 사료 7 번(대두박 70% 함유)이 0.98% (사료 1 번의 50%) 수준이었다. 그러나, 위에서 언급한 인 이용율을 기초로 할 때 사료 7 번(대두박 70% 공급구)만이 약 0.22%의 가용 인을 함유하여 무지개송어의 인 요구량을 맞추지 못하였다.

하지만 본 연구에서는 60 일 및 120 일에 인의 외관상 소화율을 조사한 결과 소화율은 대조구에서 각각 35.5% 및 33.8%로 가장 낮았으나 대두박 함량이 높아질수록 소화율은 서서히 증가하여 사료 6 번(60일 후) 및 5 번(120일 후) 공급구에서 각각 53.7%와 50.3%로 정점을 보이고, 그 이상의 대두박 함량(사료 7 번)에서는 오히려 감소하였다. 이러한 결과는 Gomes et al. (1995) 등이 갈색 어분을 주료한 대조구와 전지 및 탈지 대두박을 30%(어분 50% 대체) 및 60%(어분 100% 대체) 첨가한 사료로 무지

개송어의 인 외관상 소화율을 측정된 결과(38.4%~44.6%)와 유사하였고, 나아가 대두박을 30% 첨가한 실험구에서 44.6%로 정점을 보이고 그 이상은 오히려 소화율이 감소하는 것으로 보고하고 있어 그 경향도 유사하였다. 인의 소화율은 어분의 질과 다른 원료의 구성비에 따라 인의 이용효율도 차이가 날 수 있겠지만 본 연구에서는 대두박을 46~58%까지 첨가하여도 가용인의 부족이 일어나지 않을 것으로 사료된다.

한편, 실험 사료를 60일 및 120일간 무지개송어에게 먹여서 전 어체의 인 축적 정도를 파악한 결과, 사육 60 일째에는 모든 공급구에서 0.31~0.38% 수준으로 유의차가 없었고($p < 0.05$), 120 일째에도 사료 1~6 번 공급구는 0.30~0.33% 수준으로 다른 연구자들의 결과(3.0~4.5%)와 거의 비슷한 수준이었으나(Ogino and Kamizono, 1975; Ogino et al., 1979), 사료 7 번 공급구만이 0.29%로 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 더욱이, 120 일째에 근육 및 간장의 인 함량 조사에서도 사료 7 번이 각각 0.23% 및 0.06%로 다른 공급구보다 유의적으로 낮아($p < 0.05$) 사료 중의 인 함량이 적었음을 알 수 있었다.

본 연구에서 대두박 사료로 120일간 사육한 무지개송어를 대상으로 사료 섭취 후 7회에 걸쳐 혈중 인의 경시적인 변화를 측정하여 인의 흡수 경향을 조사한 결과, 사료 7 번 공급구가 다소 낮았으나 전체적으로 약 28 mg/100 ml의 수준을 유지하였다. 그러나 해산어류인 방어의 경우, 사료 중에 대두박 30%를 첨가한 사료로 12 주간 사육한 결과 혈액 중의 인이 7.96~8.82 mg/100 ml로 대두박 함량에 따른 차이는 없다고(Shimeno et al., 1993) 하지만 본 연구와 큰 함량 차이를 보이는 것은 담수어류는 삼투압 조절을 위하여 해산어류보다 많은 양의 요소를 배설해야 하고, 그 결과 인의 배설량도 약 40배 높은 것으로 보고(Chester Jones et al., 1969)된 점으로 미루어 어종 및 서식 환경에 따라 인의 소화 및 이용성에 큰 차이가 있는 것으로 사료된다.

어류의 인은 골격과 비늘에 집중되어 있고,

뼈에서는 인회석 상태로 칼슘과 합쳐 있거나 tricalcium phosphate 상태로 존재한다(Yone and Toshima, 1979). 그리고, 영양 대사 측에서 칼슘과 인의 대사 작용은 서로 밀접한 관계에 있으나 육상동물과는 달리 어류는 사료중의 칼슘 함량은 인의 요구 수준에 영향을 주지는 않지만 적정 Ca : P의 비율은 중요한 것으로 알려져 있다(Andrews et al., 1973). 그러나 본 연구에서는 실험 사료의 Ca : P 비율은 조사하지 않았지만 사료 중 인의 함량 차이와 칼슘의 소화 및 흡수 경향과의 관계를 조사하고자 무지개송어 혈액 중 인과 칼슘의 양적 변동을 조사하였다. 그 결과 대두박 함량이 많은 공급구일수록 혈중 칼슘의 양은 약간 늘어나는 경향이어서 결과적으로 인에 대한 칼슘의 구성비도 커지는 것으로 나타나 사료 중 인 함량이 줄어들어도 칼슘 대사에는 지장이 없는 것으로 나타났다.

어류에 있어서 인의 배설은 주로 요소를 통해서 이루어지는데 대두박 사료로 120 일간 사육한 어류를 대상으로 실험 사료 공급 후 24 시간 동안(1 일) 인의 배설량을 측정하였다. 인의 1 일 배설량은 사료 1 번(대조구) 공급구가 19.86 mg Kg⁻¹ body mass day⁻¹였고, 대두박 함량이 늘어남에 따라 배설량은 줄어들어 사료 7 번(70% 대두박) 공급구에서는 10.91 mg · Kg⁻¹ body mass · day⁻¹로 대조구의 약 55% 수준으로 감소하였다. 또한, 1 일 중 전반 12 시간이 후반 12 시간보다 더 많

은 양을 배설하여 암모니아의 배설 형태와는 달리 인의 대사가 빠른 것으로 나타났다. 인은 주로 분을 통하여 배설되며, 대두박 함량이 많은 사료를 먹인 어류의 분은 수중에서 용출이 잘 되므로(Watanabe and Pongmaneerat, 1993), 본 실험에서 2 시간 간격으로 분을 수집하였으나 분에 포함된 상당량의 용존 인이 배설량으로 계산되었을 가능성이 있었다. 그러나, Watanabe and Pongmaneerat (1993)에 의하면 절식시킨 무지개송어는 13 mg · Kg⁻¹ body mass · day⁻¹의 인을 배설하는 것으로 알려져 있어, 위의 양을 기초 배설량으로 간주할 때 본 연구의 7 번 공급구(70% 대두박)는 이 수준을 넘지 않는 것으로 사료되었다.

이상의 연구 결과를 기준으로 하고, 김 등(1996 a)의 성장 결과를 활용하여 대두박 공급에 따른 인의 이용성을 비교한 결과는 Table 6에 나타내었다.

Table 6에서와 같이 실험사료의 대두박 함량이 증가할수록 사료 중에 포함된 인의 체내 보유율(retention)은 증가하는 반면, 분(糞)과 뇨(尿)를 통해서 외부로 배설하는 양은 증가하는 경향을 보였다. 또, 사료 중 총 인의 체내 보유율은 전체적으로 10.3~16.4% 정도로 Gomes et al. (1995) 등이 보고한 21.6~27.4%보다 크게 낮아 총 인의 이용율이 매우 낮은 것으로 나타났다. 한편, 본 실험사료로 무지개송어를 1톤 생산할

Table 6. Retention and discharge rates of dietary total phosphorus by rainbow trout fed with soybeal meal based diets

	Soybean meal level (%)							CD ¹
	0	10	22	34	46	58	70	
P in diets (%)	2.13	2.14	2.04	1.81	1.70	1.41	0.98	2.04
FC ²	1.18~1.45	1.28~1.46	1.27~1.51	1.30~1.66	1.24~1.58	1.34~1.68	1.47~1.71	1.14~1.44
P supplied (kg)	25.1~30.9	27.4~31.2	25.9~30.8	23.5~30.0	21.1~26.9	18.9~23.7	14.4~16.8	23.3~29.4
P in carcass (%)	0.35~0.36	0.30~0.32	0.32	0.33~0.36	0.30~0.35	0.31	0.29~0.37	0.33~0.38
Digestibility (%)	33.8~35.5	34.0~36.0	39.5~40.0	42.3~43.9	49.4~50.3	46.0~53.7	43.2~45.4	-
Retention (%)	13.9~11.7	10.9~10.3	12.4~10.4	14.1~12.0	14.2~13.0	16.4~13.1	20.1~22.0	14.2~12.9
Discharge (%)	86.1~88.3	89.1~89.7	87.6~89.6	85.9~88.0	85.8~87.0	83.6~86.9	79.9~78.0	85.8~87.1
Discharge (kg) ³	21.6~27.3	24.4~28.0	22.7~27.6	20.2~26.4	18.1~23.4	15.8~20.6	11.5~13.1	20.0~25.6

¹Commercial rainbow trout diet. ²Feed co-efficiency cited from Kim et al. (1996). ³kg phosphorus per 1,000 kg production in wet basis.

경우 총 인의 배설량은 대두박 함량이 늘어날수록 크게 감소하는 경향을 보여 사료 7번 공급구의 총인 배설량은 대조구(사료 1번)와 상품사료 공급구의 각각 절반 수준이었으며, 전체적으로는 총 인을 11.5~28.0 kg (섭취량의 78.0~89.1%) 배설하여 Merican and Phillips (1985)의 8.1~20.7 kg과 Gomes et al. (1995)의 72.4~78.2 %보다 많았다. 이러한 원인으로 본 실험사료의 인 함량은 2% 내외로 높은 수준이었고, 대두박을 많이 사용하여 소화도가 크게 낮은 phytate 형태의 인이 많이 포함되어 전체적으로 인의 배설 수준이 높았던 것으로 사료된다. 또한, 최근에는 사료 중의 가용 인 함량을 늘리는 대신 총 인의 함량을 크게 줄이는 경향이어서 이러한 배설 수준은 매우 높은 것으로 사료된다.

이상의 결과와 같이 무지개송어 사료에 별도의 인을 보충시키지 않고, 대두박을 58%까지 사용하여도 인의 부족으로 인한 생리적 장애는 거의 없는 것으로 판단이 되었다.

요 약

사료 단백질원으로써 대두박의 이용성을 조사하기 위하여 무지개송어를 120일간 사육하면서 대두박 사료에 포함된 인(P)의 생물학적 이용성을 평가하였다.

실험 사료로는 단백질원으로 어분을 64.5% 사용한 대조구(사료 1 번) 및 상품 탈지 대두박을 10~70%까지 등간격으로 늘린 사료(사료 2~7 번)를 제조하여 사용하였으며, 실험사료의 인 함량은 대조구는 2.13%였으나, 대두박 함량이 많아지면서 인의 양은 감소하여 58% 및 70% 실험구는 각각 대조구의 66% 및 46% 수준이었다. 사육후 60 일과 120 일째에 인의 소화율을 측정하였더니, 대두박 함량이 증가할수록 소화율은 증가하여 대두박 함량 56% 및 46% 실험구에서 각각 53.7% 및 50.3% 로 가장 높았으며, 그 이상의 농도에서는 오히려 감소하였다. 분(糞) 중의 인 함유량은 대조구가 7.6~7.7% 수준이

었으며, 대두박 함량이 증가할수록 그 비율은 줄어 대두박 함량 70% 실험구에서는 대조구의 50% 수준까지 줄었다. 한편, 섭이후 1 일(24 시간) 동안 인의 배설은 암모니아의 경우와는 달리 전반 12 시간이 후반보다 더 많았고, 총 배설량은 대조구가 19.68 mg · kg⁻¹ body wt. · day⁻¹로 가장 많았으며, 대두박 함량이 증가할수록 감소하여 58% 및 70% 실험구에서는 각각 대조구의 63.4% 및 56.1% 수준이었다.

그리고 전어체의 인 함량은 성장함에 따라 감소하였고, 특히 120 일째의 70% 대두박 첨가구에서는 전어체 및 간장(肝臟) 중 함량이 유의적으로 낮았지만, 다른 실험구에서는 대두박 함량에 따른 유의적인 차이가 없었다.

참 고 문 헌

- Akiyama, T., T. Murai, Y. Hirasawa and T. Nose, 1984. Supplementation of various meals to fish meal diet for chum salmon fry. *Aquaculture*, 37 : 217-222.
- Andrews, J. A., T. Murai and C. Cambell, 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. *J. Nutr.*, 103 : 771-776.
- Chester Jones, I., Chan, D. K. O. and Rankin, J. C., 1969. Renal function in the European eel (*Anguilla anguilla* L.). Effect of caudal neurosecretory system, corpuscles of Stannius, neurohypophysial peptides and vasoactive substances. *J. Endocrinol.*, 43 : 21-31.
- Cho, C. Y., J. D. Hynes, K. R. Wood and H. K. Yoshida, 1994. Development of high-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture*, 124 : 293-305.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11 : 1-42.
- Gomes E. F., P. Rema, A. Gouveia and A. Oliva Teles, 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) : Effect of the quality of the fish meal based control diets

- on digestibility and nutrient balances. *War. Sci. Tech.*, 31(10) : 205-211.
- Merican, Z. O. and Phillips, M. J., 1985. Solid waste production from rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, cage culture. *Aquac. Fish. Man.*, 1 : 55-69.
- Ogino, C. and M. Kamizono, 1975. Mineral requirements in fish. I. Effects of dietary salt-mixture levels on growth, mortality and body composition in rainbow trout and carp. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 41 : 429-434.
- Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda and T. Watanabe, 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 45 : 1527-1532.
- Ogino, C. and H. Takeda, 1976. Mineral requirements in fish-III. Ca and P requirement in carp. *Bull. Jpn. Soc. Sci.*, 42 : 793-799.
- Phillips, M. J., R. Clarke and Mowat, 1993. Phosphorus leaching from Atlantic salmon diets. *Aquacultural Engineering*, 12 : 47-54.
- Rodehutschord M. and E. Pfeffer, 1995. Effects of supplemental microbial phytase on phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *War. Sci. Tech.*, 31 (10) : 143-147.
- Sakamoto, S. and Y. Yone, 1978. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 227-229.
- Shimeno, S., M. Kumon, H. Ando and M. Ukawa, 1993. The growth performance and body composition of young yellowtail fed with diets containing defatted soybean meal for a long period. *Nippon Suisan Gakkai-shi*, 59 : 821-825.
- Watanabe, T. and J. Pongmaneerat, 1993. Potential of soybean meal as a protein sources in extruded pellets for rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkai-shi*, 59 : 1415-1423.
- Watanabe, T., A. Murakami, L. Takeuchi, T. Nose and C. Ogino, 1980. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46 : 361-367.
- Watanabe, T., S. Satoh and T. Toshio, 1988. Availability of mineral in fish meal to fish. *Asian Fisheries Science*, 1 : 175-195.
- Yone Y. and Toshima N., 1979. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 45 : 753-756.
- 김병기 · 진중균 · 허형택 · 조재윤, 1996a. 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) 사료원으로써 대두박의 이용 효과 I. 성장. *한국양식학회지*, 9(3) : 265-278.
- 김병기 · 진중균 · 허형택 · 조재윤, 1996b. 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) 사료원으로써 대두박의 이용 효과 II. 소화율, 배설 및 체조성 변화. *한국양식학회지*, 9(4) : 395-407.