

GOVP1199805607

제2차년도
최종보고서

639.31
L2936
v.2

잉어용 오염저감 사료의 개발

Development of a less pollution diet for carp



연구기관
강원대학교

1997. 10.

농림부

제 출 문

농 립 부 장관 귀하

본 보고서를 “잉어용 오염저감 사료의 개발에 관한 연구” 과제
(협동연구과제 “저오염사료 현장평가”)의 최종 보고서로 제출합니
다.

1997년 10월 20일

주 관 기 관 명: 강원대학교

총괄연구책임자: 김 정대

연 구 원: 정 관식

연 구 원: 우 영배

연 구 원: 김 광석

연 구 원: 송 재성

연 구 원: 이 승복

협동연구기관명: 청평 내수면 연구소

협동연구책임자: 이 종윤

연 구 원: 손 송정

연 구 원: 최 낙중

연 구 원: 김 성원

연 구 원: 이 완옥

연 구 원: 김 응오

요 약 문

I. 제 목

잉어용 오염저감 사료의 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

국내 내수면 어류양식은 1980년대 초반 배합사료의 개발과 함께 약 10여년의 단기간에 괄목할만한 발전을 이룩하였다. 그러나 내수면 어류양식 생산량의 70%를 차지하는 잉어양식은 댐과 호를 이용한 가두리 양식장에서 이루어지고 있기 때문에 수질오염원으로 대두되기 시작하여, 급기야 환경당국에서는 가두리 양식장의 면허기간 완료와 함께 면허연장을 불허한다는 방침을 수립하였다. 그러나 이러한 규제조치는 호소주변의 모든 오염원의 오염기여율에 대한 과학적인 연구결과 자료에 의한 것이 아닌 여론무마를 위한 점오염원의 제거라는 측면이 두드러지고 있어 사양가들의 빈축을 사고 있다. 1996년 7월 3일 제출된 국립수산진흥원, 국립환경연구원 한강수질검사소, 한국수자원공사 댐관리처 및 한국전력공사 환경관리처의 댐호수질상황 합동조사에 의한 최종보고서에 의하면 소양호의 경우 가두리 양식장에 의한 총 인 부하량이 연평균 42톤으로 전체 오염원의 15.5%로 타오염에 비해 미미한 것으로 나타나, 타오염원에 의한 오염을 감소방안이 먼저 제시되어야 함을 시사하고 있다.

어류양식은 동물성 고단백질 및 w3 불포화지방산(EPA 및 DHA)이 풍부한 건강식품 생산산업이며, 고용효과 및 관련산업에 미

치는 영향을 고려할 때 양식장의 폐쇄는 단순히 어류생산의 중단에만 그치는 것이 아니라 경제적, 사회적으로 심각한 물의를 야기하게 될 것이다. 하지만, 단기간의 양적발전 동안 사료의 질적개선을 위한 인력이나 연구시설이 전무하여 연구개발이 그만큼 뒤따르지 못했던 것 또한 수질오염 문제를 유발한 원인으로 지적될 수 있다. 미국이나 유럽과 같은 선진 양식국에서는 어류양식에 의한 수질오염 문제가 80년대 초반에 대두되기 시작했으나, 사료의 질적개선으로 정부의 오염규제 조치에도 불구하고 지속적으로 어류양식에 의한 생산량이 증가되고 있다. 이러한 예를 볼 때 우리 정부도 산업의 폐쇄가 아닌 사료개발을 통해 환경과 친화할 수 있는 방향으로 가두리 양식장의 지속적인 발전을 유도하는 것이 국민의 건강이나 경제, 산업적 측면에서 바람직할 것이다.

어류양식에 의한 수질오염은 궁극적으로 급여되는 사료로부터 유래하기 때문에 사료의 질적개선이 이루어진다면 오염율은 유의적으로 감소될 수 있다. 본 연구는 잉어사육을 위한 오염저감 사료의 개발에 그 목적을 두고 있다. 이를 위하여 인의 함량이 낮은 식물성과 동물성 원료의 어분대체 효과를 성장과 질소 및 인 배설량 차원에서 비교하고, 배합사료내 이용가능한 인의 수준을 쉽게 평가할 수 있도록 잉어 사료배합에 이용되는 원료사료의 인 이용성을 여러 가지 분채집방법에 따라 평가하며, 사료배합의 표준화를 위하여 최대성장과 최소오염을 만족시키는 잉어의 인 요구량을 설정하며, 원료사료의 영양소 및 에너지 이용성과 사료내 적정 단백질/지방의 비율을 조사하여 질소의 배설량을 감소시키고자 하는 것이다. 본 연구는 저오염사료의 개발로 가두리 잉어양식에 의한 오염부하량을 최소화시켜 잉어양식이 국민의 건강식품산업으로서 지속될 수 있는 토대를 마련하는

데 그 중요성을 둔다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 잉어사료내 대두박의 어분대체 효과:

본 연구는 어분의 대체자원으로서 대두박의 적정첨가 수준을 설정하기 위하여 수행되었는데, 대두박 함량을 달리한 실험사료에 미생물 phytase의 첨가가 잉어의 성장과 인 배설량에 미치는 영향(실험 1)을 조사한 후, 대두박을 기초로한 사료내 일인산칼슘과 미생물 phytase의 첨가가 잉어의 성장과 인 배설량에 미치는 영향(실험 2)을 조사하였다.

실험 1에서는 $92.2 \pm 1.9\text{g}$ 의 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*)를 사용하였으며, 실험사료는 배합한 후 효소의 역가손실을 감안하여 열을 가하지 않고 약 4.0mm크기의 스파게티모양으로 성형한 후 그늘에서 자연건조 시켰다. 실험사료의 구성은 갈색어분 30%, 대두박 30%, 소맥분 35.28%로 구성된 기초사료에 대두박으로 어분을 25% 대체한 사료(S₂₅), 50% 대체한 사료(S₅₀), 75% 대체한 사료(S₇₅) 및 100% 대체한 사료(S₁₀₀)에 사료내 총인의 함량을 1.23~1.25%로 맞추기 위해 대두박 대체수준이 증가함에 따른 인 감소분을 일인산칼슘(MCP)을 첨가하여 동일하게 유지하였으며, 기초사료구외 실험사료에 phytase를 각각 500FTU씩 첨가하였다. 또한, 어분의 수준이 감소함에 따라 저하된 메치오닌 및 라이신을 보충하기 위해 각 0.1%씩 증가시켰고 감소되는 에너지를 보충하기 위해 어유를 각 0.5%씩 점증시켰다. 총 5처리 2반복으로(25미/반복) 완전임의 배치하였다.

실험 2에서는 $71.5 \pm 2.9\text{g}$ 의 잉어 250마리를 사용하였으며, 실험

사료는 실험 1에 전술한 바와 동일한 방법으로 성형하였다. 실험사료의 구성은 기초사료에 phytase를 500FTU첨가한 것(BP)과 기초사료에 Monocalcium phosphate(MCP) 1%를 첨가한 BM₁구, MCP 2% 첨가한 BM₂구 및 MCP 1%와 phytase 500FTU를 혼합 첨가한 BM₁P구로, 5종류의 사료에 2반복(25마리/반복)으로 완전임의 배치하였다.

실험사료의 섭취에 따른 성장 및 사료효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 사료섭취량(feed intake), 사료요구율(feed conversion ratio)과 어체내 축적량에 기반한 질소 및 인의 수증 배설량을 평가하기 위하여 개시어와 종료어의 도체분석을 실시한 후 섭취한 영양소에서 체내 축적된 영양소량을 감하여 축적된 영양소로 계산하여 질소 축적효율(nitrogen retention efficiency; NRE) 및 인 축적효율(phosphorus retention efficiency; PRE)을 조사하였다. 질소 및 인의 이용효율은 증체량 단위로 표시하였다.

2. 동물성 원료사료의 어분대체효과:

본 실험은 사료내 어분으로부터 유래하는 단백질의 25% 및 50%를 어류농축단백질과 혈분으로 각각 대체한 사료를 부상사료로 제조한 후 급여하여 잉어의 성장과 오염부하량에 따른 동물성 단백질 급원의 어분대체 효과를 조사하고(실험 1), 시판사료와 저인사료의 오염도를 비교하고자(실험 2) 수행되었다.

실험 1에서는 20.3±1.9g의 이스라엘 잉어 700마리를 사용하였으며, 실험사료는 갈색어분 25%를 함유한 기초사료, 어류농축단백질(FPC)로서 어분으로 공급되는 단백질을 25% 및 50% 대체한 FPC₂₅ 및 FPC₅₀ 사료 그리고 혈분(BM)으로서 25% 및 50% 대체한 BM₂₅ 및 BM₅₀ 사료 5종이었다. 어분과 어류농축단백질 및 혈분은 화학적

분석후 단백질 비율로 대체하였다. 혼합된 실험사료는 Wenger Extruder X-185를 이용하여 부상사료로 제조하였으며, 5처리 2반복으로(70마리/반복) 완전임의 배치하였다.

실험 2에서는 $65.2 \pm 0.79\text{g}$ 의 이스라엘 잉어 480마리를 사용하였으며, 실험사료는 시판사료 3종류(EP사료)와 Wenger Extruder X-185를 이용하여 제조된 3종류의 실험사료 총 6종이었다. 6처리 2반복으로(40마리/반복) 완전임의 배치하였다.

3. 원료사료내 인 이용성 평가:

본 실험은 국내에서 이용가능한 원료사료에 의한 인 소화율을 평가하기 위한 것으로서, 150g의 육성용 거울잉어를 이용하여 분채집 방법에 따른 인 소화율의 변이를 구명코자 수행되었다. 실험 1에서는 침전분과 침전분+부상분 채집에 의한 인 이용성을 비교하였으며, 실험 2에서는 분짜내기법에 의한 인 이용성을 평가하였다.

실험 1의 경우 150g의 이스라엘 잉어 300마리를 사육수조당 15마리씩 처리당 2반복으로 총 10개의 실험사료(표준사료 및 9종의 시험사료)를 20개의 순환여과식 사육조에 공시하였다. 분채집은 10일간의 적응기간후 자체고안된 침전장치를 이용하여 최초 1주일엔 침전된 분(settled feces)만을 채집하였으며, 후속적으로 일주일간은 침전된 분과 부상된 분(floated feces)을 함께 채집하였다. 이 때 유출수와 함께 배설되는 상당량의 분을 회수하였다. 각 반복별로 채집된 분은 균일하게 혼합한 뒤 건조시켜 분석할 때 까지 냉동보관하였다.

실험 2의 경우 실험 1에 공시하였던 어류 300마리를 이용하여 실험1에서 사용한 것과 동일한 실험사료를 이용하여 실시하였으며, 분짜내기 방법에 의한 1차 분채집은 7일간의 휴식기간을 둔 후 1일간의 절식에 이어 3일동안 실험사료를 급여한 다음 최종 급여 1시간

후 마취제(tricaine methane sulfonate; MS-222[®]) 3 mg/l 용액으로 가볍게 마취시킨 후 어류를 마른 형질으로 완전히 감싼 다음 복부 중앙부분으로부터 항문방향으로 가볍게 문질러 수행하였으며, 충분한 분을 채집하기 위하여 2차 분채집은 스트레스를 회복하기 위하여 일주일간의 사료급여후 동일한 방법으로 수행하였다.

분채집방법에 따른 원료사료의 조회분 및 외관상 소화율을 비교하기 위하여 우선적으로 표준사료와 시험사료의 소화율을 Maynard와 Loosli(1969)의 공식에 의해 구한 다음, 각 원료사료의 소화율을 Cho등(1982)에 의한 공식으로 다음과 같이 구하였다.

Apparent digestibility coefficients(ADCs) =

$$100 - \left[\frac{\text{nutrient in feces}(\%) \times \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ in diet}(\%)}{\text{nutrient in diet}(\%) \times \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ in feces}(\%)} \right] \times 100$$

ADCs of the test ingredient =

$$(\text{ADCs of test diet} - 0.7 \times \text{ADCs of reference diet}) / 0.3$$

ADCs of the MCP =

$$(\text{ADCs of test diet} - 0.97 \times \text{ADCs of reference diet}) / 0.03$$

4. 잉어의 인 요구량 설정 연구:

본 연구는 어분 30% 및 10%를 함유하는 관행사료를 이용하여 이스라엘 잉어의 인 요구량이 참잉어의 그것과 유사한지를 조사하기 위하여 수행되었다.

어분 30%를 함유한 사료급여시의 인 요구량(실험 1) 연구에서는 $18 \pm 0.52\text{g}$ 의 이스라엘 잉어 1,260마리를 사용하여 15일간의 적응기간을 거쳐 8주간(사료급여 55일) 사양실험을 실시하였다. 6종의 실

험사료는 처리당 3 반복(70 마리/반복)으로 완전임의 배치하였으며, 어체중의 계량 및 마리수 측정은 본실험의 개시와 종료시에 각각 24시간 절식후 행하였다. 기초사료는 갈색어분 30%, 대두박 30%, 소맥분 25%, 어유 2%, 대두유 3%, 비타민과 미네랄 1.1% 및 알파전분(α -starch) 8.9%로 구성되었다. 이용가능 인의 수준을 등급화하기 위하여, 알파전분을 대신하여 일인산칼슘(monocalcium phosphate: MCP)을 1, 2, 3, 4, 및 5% 첨가하였다. 충분히 혼합된 각 실험사료는 CPM社(California, USA)의 펠렛기를 이용하여 직경 2.5mm 크기의 펠렛으로 성형한 후 절반은 2mm 크기의 크럼블로 제조하였다. 처음 3주간은 크럼블을, 후속 5주간은 펠렛을 급여하였다. 기초사료의 인 소화율은 산화크롬을 1% 첨가한 후 침전분(settled feces)과 부상분(floated feces)을 채집하여 간접법으로 구하였다. 사료내 이용가능한 인(available P)은 분석된 사료내 총인에서 MCP로 부터 유래한 인의 이용성을 90%로 하여 기초사료의 측정된 이용가능 인에 더하여 계산하였다.

어분 10%를 함유한 사료급여시의 인 요구량(실험 2) 연구에서는 개시어체중 $34 \pm 2.04g$ 의 이스라엘 잉어 400마리를 사용하였으며, 14일간의 적응기간을 거쳐 6주간(사료급여 42일) 사양실험을 실시하였다. 기초사료는 갈색어분 10%, 대두박 47%, 소맥분 31.8%, 어류농축단백 5%, 어유 5%, 비타민과 무인(P) 함유 미네랄 혼합물 1.2%로 구성되었다. 이용가능 인의 수준을 등급화하기 위하여, 일인산칼슘(MCP)을 1, 2, 3, 및 4%를 소맥분을 대신하여 첨가하였다. 각 실험사료의 혼합물은 Wenger Extruder X-185를 이용하여 다음과 같은 조건으로 직경 4mm 크기의 펠렛으로 성형하였다: Feeder RPM 35 (약 7톤/h); Cylinder내 steam 및 water, 395kg/h 및

21.8-25.8kg/min; Extruder barrel내 steam 및 water, 865-966kg/h 및 2.2-2.6kg/min. 실험사료는 처리당 2 반복(40 마리/반복)으로 완전입의 배치하였다. 기초사료의 인 소화율은 성형된 기초사료를 재분쇄하여 산화크롬을 1% 첨가한 후 육골분쇄기를 이용하여 국수처럼 성형하였으며 분채집은 침전분(settled feces)과 부상분(floated feces)을 채집하여 간접법으로 구하였다. 사료내 이용가능한 인(available P)은 분석된 각 실험사료내 총인에서 실험 1에서와 같은 방법으로 기초사료의 측정된 이용가능 인에 더하여 계산하였다.

이용가능한 인의 사료내 수준에 따른 어류의 성장 및 사료 이용효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 일일성장지수(daily growth index), 사료 섭취량(feed intake), 사료요구율(feed conversion ratio), 질소 섭취량(nitrogen intake), 단백질 이용효율(protein efficiency ratio)을 조사하였다. 아울러, 어체내 축적량에 기반하여 사료내 인 수준에 따른 질소 및 인의 수증 배설량을 평가하기 위하여 개시어(開始魚)와 종료어(終了魚)의 도체분석을 통한 질소 및 인의 축적율을 조사하였다.

5. 원료사료의 영양소 및 에너지 소화율 평가:

잉어용 관행사료의 배합에 주로 사용되는 원료사료의 영양소 및 에너지 소화율을 측정하기 위하여 평균 55g의 잉어 1,000미를 20개의 사육수조에 처리당 2반복으로 반복당 각 50미씩 공시하였다. 유출구 전면부에는 부상하여 유출수로 배출되는 상당량의 분을 회수하기 위하여 유리섬유를 고정시켰다. 10일간의 적응기간 동안 시판사료를 급여하였으며, 후속 2일간의 절식후 개시어체중을 측정하였다. 표준사료 및 9종의 실험사료를 27일간 급여하여 사양실험을 행하였으며, 사양실험 최종10일간 분채집을 수행하였다. 종료어체중의 측정은

최종 분쇄집이 끝난 다음날 아침에 수행하였다. 매일 아침 첫번째 사료 급여전 채집된 분은 55 ℃의 열풍순환 건조기를 이용하여 건조한 후 분쇄하였으며, 10일간의 분은 균일하게 혼합한 다음 분석 때 까지 냉동보관 하였다.

표준사료(reference diet)는 카제인(BBA, France) 50%, 타피오카 알파전분(Bangkok, Thailand) 37.9%, 대두유 6%, 어유 4%, 비타민 혼합제 0.5%, 광물질 혼합제 0.3%, 콜린 0.3% 및 산화크롬 1%로 배합하였으며, 실험사료(experimental diet)는 배합된 표준사료 70%에 실험코자하는 원료사료 30%로 구성되었다. 일인산칼슘(MCP)의 경우 표준사료 97%에 3%를 혼합하여 제조되었다. 표준사료 및 혼합된 각 실험사료는 25%의 증류수와 반죽시킨 다음 3mm 다이가 부착된 육골분쇄기를 이용하여 국수(spaghetti)처럼 성형하였다. 그후 55 ℃의 열풍순환 건조기를 이용 2일간 건조하였다. 사료는 일일 5번씩 매회 섭취도가 떨어질 때까지 급여하였으며, 실험기간 동안의 사육수온은 26~30 ℃의 범위를 보였다.

6. 사료내 단백질/지방의 적정 수준 설정 연구:

본 연구는 어류의 성장을 최대화하고 질소배설량을 최소화하는 사료내 단백질과 지방의 최적수준을 설정하기 위하여 수행되었다. 실험사료는 어분의 수준을 25%로 고정한 다음 3수준의 단백질(30, 35 및 40%)과 2수준의 지방(8 및 12%)으로 총 6종을 제조하였다. 아울러 저단백 사료(단백질 25%, 지방 8%) 1종과 시판사료 1종을 비교구로 사용하였다. 평균 어체중 97g의 이스라엘 잉어 840 미를 8처리 3반복 반복당 35미씩 완전임의 배치하였다. 실험기간은 6주였으며, 사료는 일일 3회 급여하였다.

단백질과 지방의 사료내 수준에 따른 어류의 성장 및 사료 이용 효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 일일성장지수(daily growth index), 사료 섭취량(feed intake), 사료요구율(feed conversion ratio), 질소 섭취량(nitrogen intake), 단백질 이용 효율(protein efficiency ratio)을 조사하였다. 아울러, 어체내 축적량에 기반하여 사료내 인 수준에 따른 질소 및 인의 수중 배설량을 평가하기 위하여 개시어(開始魚)와 종료어(終了魚)의 도체분석을 통한 질소 및 인의 축적율을 조사하였다.

7. 저오염 사료의 설계 및 오염도 평가:

본 연구는 지금까지의 결과자료에 기반하여 저오염 사료를 설계, 제조하여 시판사료와의 성장도, 오염도 및 경제성을 평가하기 위하여 수행되었다. 오염도 평가는 실험실 수조를 이용한 실험과 병행하여 가두리를 이용 현지적용 실험(협동연구)으로 동시에 수행되었다.

실험사료는 어분의 수준을 10%로 고정하고 대두박과 소맥분에 기반한 30% 단백질 사료와 어류농축 단백질 5%를 첨가하여 35% 단백질로 제조된 2종의 사료로서 상업용 익스트루더를 이용하여 부상사료로 제조하였다. 2종의 시판사료와 함께 총 4처리 3반복 반복당 30미씩 152g의 어류를 완전임의 배치하였다. 가두리를 이용한 현지적용실험에서는 4종의 실험사료를 2반복씩, 반복당 320미씩 공시하였다. 실험사료는 어체중의 3% 급여를 원칙으로 하여 일주일 단위로 급여량을 보정하였다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 잉어사료내 대두박의 어분대체 효과:

실험 1의 결과는 어분을 대두박으로 50% 대체하고 MCP와 동시에 phytase를 첨가함으로써 증체량에 영향없이 오염원인 질소 및 인의 배설량을 각각 23%, 12% 줄일 수 있음을 보여주었으며, 실험 2에서는 microbial phytase 첨가시 사료내 식물성 원료에 함유되어있는 피틴태 인의 이용성이 개선되고, 사료내 MCP의 첨가와 동시에 phytase를 첨가하여 사료내 유효인의 함량을 요구량의 수준에 접근시킬수록 단백질의 이용효율과 질소 및 인의 이용효율이 개선되어 수중으로 배설되는 양이 줄어드는 것으로 나타났다. 그러나 미생물인 분해효소의 역가를 감안하여 익스트루전 가공을 거치지 않았기 때문에 기초사료구의 성장능력이 저조하게 나타나 실제조건하에서의 인 분해효소 첨가효과에 대한 재조명이 있어야 할 것으로 보인다.

2. 동물성 원료사료의 어분대체효과:

어류농축단백질(FPC)로서 어분을 대체한 결과 증체 kg당 질소 배설량에는 차이가 없었다. 인 배설량은 어류농축단백질로서 어분으로 공급되는 단백질을 50%까지 대체함으로써 인 배설량을 35%까지 낮출 수 있었으며, 혈분으로 어분단백질을 25% 대체한 결과 인 배설량을 약 15%까지 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 이용불가능한 인의 함량이 높은 어분의 수준을 낮추고, FPC와 같은 원료를 첨가할 경우 사료요구율의 개선으로 성장율의 증가와 함께, 질소 및 인의 배설량을 감소시킬 수 있다는 것이 입증되었다. 본 실험에서는 어분 12.5%

및 FPC 11.5%를 함유하는 사료를 섭취한 어류의 질소 및 인 배설량이 시판사료 급여구에 비해 각각 20~36% 및 25~60% 정도 감소한 것으로 나타났다.

3. 원료사료내 인 이용성 평가:

침전분에 의한 모든 원료사료의 소화율은 0 이하의 수치로 과소 평가되어 침전분을 이용하여 인 소화율을 측정하는 것은 바람직한 방법이 아닌 것으로 판명되었다. 침전분+부상분구에서 간접식 백색어분(WFM-S)의 회분 및 인 소화율은 14.1% 및 9.9%, 직접식 백색어분(WFM-F)의 경우 5.7% 및 6.8%, 갈색어분(BFM)의 경우 8.1% 및 13.0%였다. 식물성 원료사료에서의 인 소화율은 침전분+부상분 채집법에서 대두박(SBM) 13.0%, 콘글루텐(CGM) 12.1%, 호마박(SSM) 8.3% 및 소맥분(WFL) 9.8%로 나타났으며, 효모(BY)의 경우 인 소화율은 42.1%로 나타났다. 일인산칼슘(MCP)의 경우 침전분+부상분구가 80.2%로 나타났다.

짜내기법에 의해 측정된 간접식 백색어분의 회분 및 인 소화율은 16.6% 및 17.1%, 직접식 백색어분(WFM-F)의 경우 12.4% 및 7.9%, 갈색어분(BFM)의 경우는 16.1% 및 14.2%로 나타났다. 식물성 원료사료의 경우 회분 및 인 소화율은 대두박(SBM)이 12.9% 및 11.1%, 콘글루텐(CGM)은 15.2% 및 12.1%, 호마박(SSM)의 경우 14.93% 및 2.2%, 소맥분(WFL)의 경우 12.0% 및 10.3%로 나타났으며, 효모(BY)의 경우는 74.4% 및 61.3%로 나타났다. 일인산칼슘(MCP)의 경우 회분 및 인 소화율은 각각 92.8%, 91.5%로 나타났다. 인 소화율의 경우 호마박에서만 침전분+부상분 채집법이 8.3%로 짜내기법 2.2%보다 높게 나타났고($P < 0.05$), 맥주효모의 경우 짜내기

법에서 61.3%로 침전분+부상분 42.1% 보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 두 채집방법을 비교할때, 회분 소화율에서 나타난 경향과 같이 짜내기분 채집법이 높게 나타나는 경향이 있었으나 두 방법 간에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

4. 잉어의 인 요구량 설정 연구:

본 실험의 결과 이용가능한 인의 수준이 0.67%였던 MCP2구가 성장과 사료이용효율, 그리고 질소 및 인 배설량의 모든 측면에서 가장 우수한 능력을 보여 이미 보고된 잉어의 인 요구량 수준(0.6-0.7%)과 일치하는 경향을 보였다. 그러나 사료내 총인 함량을 1% 이하로 줄이기 위하여 어분을 10% 사용한 관행사료를 이용하여 급여한 결과는 이용가능한 인의 수준이 0.57%였던 MCP 2% 첨가구가 성장과 사료이용효율, 그리고 질소 및 인 배설량의 모든 측면에서 가장 우수한 능력을 보였다. 이상의 결과로부터 사료내 어분수준과 어체의 크기에 따라 인 요구량 수준이 약간씩 변이를 보일수 있다는 것이 확인되었다. 그러나 적정 MCP의 첨가수준은 약 2%인 것으로 판명되었다.

5. 원료사료의 영양소 및 에너지 소화율 평가:

단백질 소화율은 대두박(SBM)이 91.9%로 실험원료중 가장 높았으며, 호마박(SSM)이 77.6%로 가장 낮았다. 어분의 경우 85.8%(BFM)에서 87.8%(WFM-F)로 86.6%의 소화율을 나타낸 소맥분(WFL)과 유의적인 차이가 없었다. 어분의 지방 소화율은 83.5%(BFM)에서 85.8%(WFM-S와 WFM-F)로 유사하였으며, 호마박(SSM), 맥주효모(BY)의 소화율과 유의적인 차이를 보이지 않았

다. 한편, 실험원료중 지방함량이 가장 낮았던 SBM과 콘글루텐(CGM)의 소화율은 각각 88.3% 및 74%로 처리구중 가장 높은수치와 가장 낮은 수치를 보였다. 에너지 소화율은 어분이 77.4-81.3%로 식물성 원료사료에 비해 높게 나타났으며, 식물성 원료사료중에서는 BY가 70.6%로 SBM, SSM 및 WFL과 유의적인 차이를 보이지 않았으나 CGM(64.5%)은 이들중 가장 낮았다($p < 0.05$).

본 실험의 결과자료는 배합된 사료의 가소화 단백질및 이용가능한 함량을 예견하는데 유용하게 사용될 수 있을것으로 보인다. 그러나 가소화 에너지 자료는 대부분의 시판잉어사료가 익스트루전 공정을 거쳐 제조된다는 점을 고려할때 이용가능한 에너지 함량계산에 활용될 수 없을 것이다. 이를 위해서는 익스트루전 가공을 거친후 식물성 원료의 에너지소화율 측정을 새로이 수행해야할 것이다.

6. 사료내 단백질/지방의 적정 수준 설정 연구

본 연구는 어류 성장의 최대화와 질소배설량의 최소화를 만족시키는 사료내 단백질/지방의 적정수준을 설정하기 위하여 수행되었다. 개시어체중 97g 의 잉어를 6주간 사육한 결과 저단백고지방 사료의 경우 성장율은 고단백사료에 비해 유의적으로 감소하였으나 질소배설량은 처리구중 가장 낮게 나타났다. 지방수준이 12%에서 단백질 수준이 30%에서 40%로 증가함에 따라 질소배설량은 33.4g에서 48g으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 지방수준 8%에서 단백질 수준을 30%에서 35%로 증가시켰을 경우는 43.3 및 42.2g으로 유사하였으나, 40% 단백질구에서는 50.8g으로 높게 나타났다. 본 실험의 결과 저단백 고지방 사료의 성장률은 시판사료에 비해 유의적으로 개선되었으며, 특히 질소 배설량은 약 50%의 감소를 나타내고 있어

경제성을 고려할 경우 저가의 저오염 사료 제조가 가능할 것으로 판단되었다.

7. 저오염 사료의 설계 및 오염도 평가

저가(A) 및 고가(B) 저오염 사료와 2종의 시판사료(Com-1, Com-2)를 6주간 급여한 결과 증체량은 A 사료구가 142.7g으로 처리구 중 가장 우수하였으며, 시판사료의 평균 증체량 116g에 비해 약 23% 개선되었으며, B 사료구는 133.8g으로 두 번째로 높았다. 단백질 이용효율 또한 A 사료구가 2.61로 가장 우수하였다($P < 0.05$). 증체단위당 질소 배설량은 A 사료구가 38.3g으로 가장 낮았으며 Com-1구가 59.4g으로 가장 높았다. 인 배설량은 A 사료구가 8.2g으로 B 사료구 8.5g과 유사하였으나 시판사료구는 9.9g(Com-1) 및 25.3g(Com-2)으로 높게 나타났다. 본 실험의 결과 저가 저오염 사료의 질소 및 인 배설량은 시판사료구의 평균치에 비해 각각 35% 및 53.4%의 상대적 감소치를 보였다. 동일사료를 사용하여 가두리 사육을 통한 현지적용 실험에서도 증체량은 A 사료구가 223.1g으로 가장 우수하였고, B 사료구가 211.8g으로 두 번째를 차지하였다. 질소 배설량은 A 사료구가 39.6g으로 가장 낮았고 Com-2구가 61.8g으로 가장 높았다. 인 배설량은 고가 저오염 B 사료구가 8.6g으로 가장 낮았으며, A 사료구는 9.5g으로 두 번째로 나타났다. 그러나, 경제성면에서는 A 사료구가 Kg 생산에 소요되는 사료비용이 764.6원으로 가장 낮았으며 B 사료구는 1007.8원, Com-1구는 912.2원 및 Com-2구는 1014.8원으로 나타났다. 본 실험의 결과 저가 저오염 사료 A의 질소 및 인 배설량은 시판사료구의 평균치에 비해 각각 32.8% 및 48.7% 감소되었으며, 경비면에서도 시판사료구에 비해 약 199원이 절약되는

것으로 나타났다.

본 연구결과들은 시판 잉어사료 제조 회사에 보급되면 쉽게 저가 저오염 사료의 산업화가 유도될 것으로 보인다. 따라서, 양식산업의 활성화를 위해 저오염 사료의 생산이 시급한 현 상황에서 본 결과자료를 학회지나 결과발표회를 통해 보급하는 것이 시급할 것으로 판단된다. 세계곡물 생산의 부진으로 실험초기(1995년)에 비해 사료 원료비의 지대한 상승으로 인해 사료생산에 소요되는 비용은 계속적으로 증가되고 있다. 또한, 계속된 경기침체와 어류양식에 대한 정부의 미래 청사진 제시 결여에 인한 어류 생산량 감소 및 어가의 지속적 하락으로 가두리 잉어양식의 지속적 발전은 불투명한 상태로 남아있다. 한편, 2년간 지속된 본 연구결과의 학회지를 통한 발표와 더불어 시판 잉어사료의 질적개선이 빠르게 진행되고 있는 것으로 나타나 잉어용 저오염 사료의 산업화는 자연스럽게 유도될 것으로 예상된다. 이 경우 동물성 어분의 절약 및 어류생산비의 절감이 두드러질 것으로 확신된다. 그러나, 성어의 인 요구량 설정, 알파화된 원료 사료의 에너지 소화율, 제조된 저오염 사료의 적정 급여율 등에 관한 연구는 앞으로 계속되어야 할 과제로 남아 있다.

Development of a less pollution diet for carp

Summary

I. Replacement of dietary fish meal by soybean meal for growth and feed utilization of carp: microbial phytase supplementation to carp diet

For the purpose of determination of an optimal soybean meal(SBM) level in diet, carp weighing 92.2g were fed diets containing different levels of SBM. Microbial phytase was supplemented to diets except the control at the level of 500 FTU. Fish fed diets S₂₅ and S₅₀, in which 25% and 50% fish meal of control diet were replaced by SBM, respectively, showed weight gain higher than other groups. Fish fed the diet S₅₀ excreted the least nitrogen(61.4g) and phosphorus(13g) per kg gain. Subsequently, effects of either phytase or monocalcium phosphate(MCP) or both supplementation to 25% fish meal and 40% SBM containing diet were studied in carp weighing 71.5g. Results suggested that nitrogen and phosphorus excretion could be reduced by microbial phytase supplementation. And also, such an effect would be increased by meeting available phosphorus need for carp using MCP.

II. Replacement of dietary fish meal by animal protein sources: fish protein concentrate and spray-dried blood meal

Dietary fish meal was partially substituted with fish protein concentrate(FPC) or blood meal(BM) in order to study growth, feed

utilization and excretion of nitrogen(N) and phosphorus(P) of carp weighing 20.3g. Growth trial was conducted for 6 weeks using 5 experimental diets: Basal diet(Basal) containing 25% brown fish meal, and 4 diets(FPC₂₅, FPC₅₀, BM₂₅ and BM₅₀) in which protein from brown fish meal was replaced by that of either FPC or BM at the levels of 25% and 50%, respectively. A total of 700 fish were randomly allocated to 5 treatments with 2 replicates. Fish were fed 3 times a day to apparent satiety by hand at water temperature of 26 to 28 °C. Weight gain(31.9g) of fish fed the diet BM₅₀ was the lowest($p < 0.05$), while that of fish fed the diet BM₂₅(39.0g) was the highest among all treatments. There were, however, no significant differences among fish fed 4 diets except BM₅₀. Feed conversion ratio of fish groups fed the diets FPC₅₀(0.91) and BM₂₅(0.93) was superior($P < 0.05$) to that of fish fed the diet BM₅₀(1.13). Protein and phosphorus in whole body of fish at the end of the experiment were relatively constant. N excretion(59.2g) per kg gain of fish fed the diet BM₅₀ was the highest($P < 0.05$) among treatments, although there were no significant differences among other fish groups ranging from 42.0g(FPC₅₀) to 50.9g(FPC₂₅). P excretion of fish fed the diet FPC₅₀ was the lowest(7.0g) among treatments($P < 0.05$). The highest P excretion(10.8g) was found in fish fed basal diet, which were, however, not different($p > 0.05$) from those of fish fed diets FPC₂₅ and BM₅₀. The present results showed that P excretion could be greatly decreased by partial substitution of dietary fish meal with FPC or BM.

Subsequently, utilization of dietary nitrogen(N) and phosphorus(P) was evaluated in carp fed 4 commercial(A, B, C and D) and 2 experimental(E and F) diets containing a low level of fish meal with fish protein concentrate(FPC) for 4 weeks. Duplicate groups of 40 fish weighing 65.2 ± 0.79 g(mean \pm SD) were fed 3 times a day to apparent satiety by hand. Weight gain and feed conversion ratio(FCR) of fish fed commercial diets were in the range of 38 to 42g and 1.10 to 1.15, respectively. Fish fed the diet F containing 12.5% fish meal with 11.5% FPC showed the best weight gain(45g) and FCR(0.89). Protein efficiency ratio of fish groups fed FPC containing diets was superior($P < 0.05$) to other groups. N excretion of fish

fed commercial diets ranged from 50.3 to 57.6g per kg gain, which was significantly reduced in fish fed the other two diets. The highest P retention(45.5%) was found in fish fed the diet F, which resulted in the least P excretion(6.4g/kg gain). P excretion ranged from 8.5 to 15.4g in fish groups fed commercial diets.

III. Phosphorus availability of different feed ingredients fed to carp

Phosphorus availability of different feed ingredients fed to carp was determined using 3 different feces collection methods(settled, settled+floated and stripped feces). A total 300 fish averaging 150g of body weight were held in a recirculated rearing system(2 replications, 15 fish/tank). The availability values determined by settled feces were less than zero for all test ingredients. The values determined by stripped feces(STF) were higher than those by settled+floated feces(SF+FF) for all test ingredients except sesame meal, although there was no significant differences among them except brewer's yeast. The availability value by SF+FF and STF was 9.9% and 17.1% for steam-dried white fish meal, 6.8% and 7.9% for flame-dried white fish meal, 13.0% and 14.2% for brown fish meal, 5.4% and 11.1% for soybean meal, 12.1% each for corn gluten meal, 8.3% and 2.2% for sesame meal, 9.8% and 10.3% for wheat flour, 42.1% and 61.3% for brewer's yeast and 80.2% and 91.5% for monocalcium phosphate.

IV. Phosphorus requirement of carp fed practical diets

Six practical diets with graded levels of monocalcium phosphate (MCP: 0, 1, 2, 3, 4, and 5%) were fed to triplicate groups of carp for 8 weeks. Available phosphorus(Av. P) levels in dry diets ranged from 0.24 to 1.27%. Seventy carp weighing 18g/fish were allotted in each tank of 130 L maintained at 26 to 28 °C. Fish were fed 3 times daily to apparent satiety by hand. Fish fed basal diet having 0.24% Av. P showed the lowest growth.

The best performance in weight gain(44g), feed conversion ratio(1.02) and protein efficiency ratio(2.33) was found in fish fed the diet containing 2% MCP(0.67% Av. P). Chemical composition of whole body of fish at the end of trial did not show any difference($P>0.05$) among treatments. P gain maintained constant at the level of 0.15g/fish. The best results in terms of P loss(13g/kg gain) and P retention efficiency(23.4%) were observed in fish fed diet having 1% MCP(0.42% Av. P), which were, however, not different ($P>0.05$) from those of fish fed diet having 2% MCP. On the other hand, fish fed the latter diet excreted the least nitrogen(44g/kg gain) and showed the highest nitrogen retention efficiency of 35.6%. The present results showed that the available P in practical diets should be kept at the level of 0.7% for juvenile carp.

Subsequently, duplicate groups of carp were reared with 5 diets containing practical ingredients with graded levels of Av. P from 0.12 to 1.02 for 6 weeks. Fifty carp weighing 34g were allotted in each tank. The lowest growth was shown in fish fed basal diet containing 0.12% Av. P. Fish fed 0.57% Av. P showed the highest weight gain(55.9g) and daily growth index (2.95) among treatments, although there were no differences($P>0.05$) in two criteria above-mentioned, feed conversion ratio and protein efficiency ratio of fish fed diets with above Av. P. While nitrogen(N) intake maintained constant, N gain and retention efficiency increased($P<0.05$) with an increase in dietary Av. P from 0.12 to 0.57%, which, in turn, resulted in a decreased N loss from 62g to 42.9g. However, no significant differences were found in such criteria among groups fed diets containing Av. P above 0.57%. The highest P gain was shown in fish fed diet having 0.57% Av. P, although P loss and retention efficiency were the best in fish fed the basal diet. The results suggest that practical diet for juvenile carp be formulated such as to have available P level in dry diet of 0.6% for both maximal growth and minimum P loss.

V. Nutrient and energy digestibilities of various feedstuffs fed to carp

This study was conducted with carp to determine apparent protein, lipid and gross energy digestibility coefficients and apparent calcium and phosphorus availabilities of the following feedstuffs: steam-dried white fish meal (WFM-S), flame-dried white fish meal (WFM-F), brown fish meal (BFM), soybean meal (SBM), corn gluten meal (CGM), sesame meal (SSM), wheat flour (WFL), brewer's yeast (BY) and monocalcium phosphate (MCP). Test diets consisting of a 70:30 mixture of reference diet to test ingredient were utilized with chromic oxide as an external indicator. Fecal collection was made during 10 days before the end of feeding trial lasted for 27 days. The best weight gain and feed utilization were found in fish fed MCP containing test diet. Protein digestibility was high for most ingredients, ranging from 81.2% for BY to 91.9% for SBM, with the exception of SSM which was 77.6%. Lipid digestibility coefficients ranged 74% for CGM to 85.8% for two kinds of white fish meal. Digestible energy coefficients were generally high for fish meals, ranging from 77.4% for WFM-S to 81.3% for WFM-F, whereas those for plant feedstuffs were significantly ($P < 0.05$) lower, from 64.5% for CGM to 70.6% for BY. Phosphorus availability from fish meals was variable with a low of 6.6% for WFM-F and a high of 13.6% for WFM-S. Phosphorus availability from SBM and BY was 7.3% and 57.2%, respectively. Calcium and phosphorus availabilities from MCP were 84.6% and 80.6%, respectively. These results provide more precise information concerning nutrients and energy utilization of carp and will allow ingredient substitutions in practical diet formulations based on levels of available protein and phosphorus.

VI. Optimal dietary protein and lipid levels for carp

In order to establish an optimal dietary protein(P) and lipid(L) levels

based on growth and nitrogen(N) loss, carp weighing 97.2g were fed diets with different P(32, 38 and 42%) and L(8 and 12%) for 6 weeks. Two diets, low P with medium L(P29L10) and commercial(Com) were also employed as a comparative groups. The highest weight gain(125.1g) was found in fish fed diet P42L12, while that(110.8g) of fish fed diet P32L12 was not different from those of fish fed diets P38L8, P38L12 and P42L8. Feed conversion ratio did not show a significant difference($P>0.05$) among treatments except P32L8, P29L10 and Com. The same trend was found in protein gain in whole body which maintained constant at 18.2 to 19.8g except 3 groups above-mentioned. Protein retention efficiency decreased with an increase in dietary level, showing the highest value(44.1%) for fish fed diet P32L12. A decrease in protein level resulted in a significant reduction in N excretion. Fish fed diet P32L12 excreted 334.g N/kg gain, while 50.8g and 66.1g N were excreted by fish fed diets P42L8 and Com, respectively. The present results suggest that protein level in commercial carp diet be greatly reduced.

VII. Formulation of a less pollution diet: estimation of pollution loads and feed cost for carp production

Less pollution diets with low(A) and high(B) cost were formulated and fed to carp with 2 commercial feeds(Com-1 and Com-2) for 6 weeks in order to compare growth performance, excretion of nitrogen and phosphorus, and feed cost for Kg production. Growth trials were parallely conducted using a recirculated rearing system(Exp. 1) and floating net cages(Exp. 2).

The highest weight gain was obtained in fish fed the diet A, which was followed by fish fed the diet B in Exp. 1. The best protein efficiency ratio(2.61) was also found in fish groups A. Nitrogen(N) excretion per kg gain ranged from 38.3(A) to 59.4g(Com-1). Fish fed the diet A showed the best N retention efficiency(37.6%). Phosphorus(P) excretion of fish fed less pollution diets A and B was similar (8.2g vs 8.5g), while fish fed diets Com-1 and Com-2 excreted 9.9g and 25.3g/kg gain, respectively. The highest P retention efficiency(35.9%) was shown in fish fed the diet A. In Exp. 2,

fish fed the diet A showed the highest weight gain(223.1g), while fish fed the Com-2 was the lowest weight gain(169.7g). The best feed conversion ratio(1.08) and protein efficiency ratio(2.56) were found in fish groups fed the diet A. N excretion ranged from 39.6g for A groups to 61.8g for Com-2 groups. Fish fed diets A and B showed the best N retention efficiency of 36.8% and 38.3%, respectively. The lowest P was excreted by fish fed the diet B(8.6g), which was followed by fish groups A(9.5g), whereas fish groups fed diets Com-1 and Com-2 excreted 10.3g and 26.6g P/Kg gain, respectively. Compared to fish groups Com-1 and Com-2, relative reduction values of N and P excretions were 32.8% and 48.7% in fish fed the diet A. The lowest feed cost for Kg production was found in fish groups A, which was 764.6 won. However, it cost 1007.8 won for fish groups B, 912.2 won for Com-1 groups and 1014.8 won for Com-2 groups. The present results clearly showed that a great reduction in pollution loads by carp farming and production cost could be achieved by optimal dietary formulation.

CONTENTS

Summary	x vii
Contents	x x iv
Figure list	x xviii
Table list	x x ix
Photo list	x x x iv
Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Replacement of dietary fish meal by soybean meal: microbial phytase supplementation to diet	5
Section 1. Literature review	5
Section 2. Materials and methods	8
Section 3. Results and discussion	14
Section 4. Summary and conclusion	28
Chapter 3. Replacement of dietary fish meal by animal protein sources: fish protein concentrate and blood meal	32
Section 1. Literature review	32
Section 2. Materials and methods	35
Section 3. Results and discussion	41
Section 4. Summary and conclusion	56
Chapter 4. Phosphorus availability of different feed ingredients	60
Section 1. Literature review	60
Section 2. Materials and methods	62
Section 3. Results and discussion	69
Section 4. Summary and conclusion	79
Chapter 5. Phosphorus requirement of carp fed practical diets	82

Section 1. Literature review	82
Section 2. Materials and methods	84
Section 3. Results and discussion	91
Section 4. Summary and conclusion	114
Chapter 6. Nutrient digestibilities of various feedstuffs	118
Section 1. Literature review	118
Section 2. Materials and methods	120
Section 3. Results and discussion	124
Section 4. Summary and conclusion	132
Chapter 7. Optimal dietary protein and lipid levels for carp	134
Section 1. Literature review	134
Section 2. Materials and methods	137
Section 3. Results and discussion	141
Section 4. Summary and conclusion	150
Chapter 8. Formulation of a less pollution diet: pollution loads and feed cost for carp production	152
Section 1. Literature review	152
Section 2. Materials and methods	155
Section 3. Results and discussion	161
Section 4. Summary and conclusion	176
Chapter 9. Conclusion	181
References	186

목 차

요약문	i
Summary	xvii
Contents	xxiv
목차	xxvi
Figure list	xxviii
Table list	xxix
Photo list	xxxiv

제1장 서론	1
--------------	---

제2장 잉어사료내 대두박의 어분 대체:

미생물 피테이스 첨가효과	5
제1절 연구사	5
제2절 재료 및 방법	8
제3절 결과 및 고찰	14
제4절 적요 및 결론	28

제3장 동물성 원료사료의 어분 대체:

어류 농축 단백질 및 혈분	32
제1절 연구사	32
제2절 재료 및 방법	35
제3절 결과 및 고찰	41
제4절 적요 및 결론	56

제4장 원료사료내 인 이용성

제1절 연구사	60
제2절 재료 및 방법	62
제3절 결과 및 고찰	69
제4절 적요 및 결론	79

제5장 관행사료를 이용한 인 요구량	82
제1절 연구사	82
제2절 재료 및 방법	84
제3절 결과 및 고찰	91
제4절 적요 및 결론	114
제6장 원료사료의 영양소의 영양소 소화율	118
제1절 연구사	118
제2절 재료 및 방법	120
제3절 결과 및 고찰	124
제4절 적요 및 결론	132
제7장 사료내 적정 단백질, 지방 수준	134
제1절 연구사	134
제2절 재료 및 방법	137
제3절 결과 및 고찰	141
제4절 적요 및 결론	150
제8장 저오염 사료의 제조:	
오염부하량 및 경제성 평가	152
제1절 연구사	152
제2절 재료 및 방법	155
제3절 결과 및 고찰	161
제4절 적요 및 결론	176
제9장 결 론	181
참고문헌	186

Figure list

Figure 4-1. Feces collecting apparatus	62
Figure 4-2. Area of belly of Israeli strain of common carp pressed to expel feces	68
Figure 5-1. Weight gain, FCR and DGI of carp fed the experimental diets for 8 weeks	96
Figure 5-2. Weight gain, N loss, NRE and P of carp fed the experimental diets for 8 weeks	103
Figure 5-3. Weight gain, FCR and DGI of carp fed the experimental diets for 6 weeks	106
Figure 5-4. Weight gain, N loss, NRE and P loss of carp fed the experimental diets for 6 weeks	113

Table list

Table 2-1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets	10
Table 2-2. Ingredient composition(%) of the experimental diets	12
Table 2-3. Chemical composition of the experimental diets	13
Table 2-4. Weight gain and feed conversion ratio of carp fed the experimental diets for 6 weeks	15
Table 2-5. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks	16
Table 2-6. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	17
Table 2-7. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	18
Table 2-8. Weight gain and feed conversion ratio of carp fed the experimental diets for 6 weeks	21
Table 2-9. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks	22
Table 2-10. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	24
Table 2-11. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	26
Table 3-1. Composition of the experimental diets	37
Table 3-2. Amino acid composition of the experimental diets(g/100g DM)	38
Table 3-3. Composition of the experimental diets	39
Table 3-4. Growth and feed utilization of fish fed the experimental diets	

for 6 weeks	42
Table 3-5. Whole body composition of fish fed the experimental diets for 6 weeks	43
Table 3-6. Nitrogen(N) utilization of fish fed the experimental diets for 6 weeks	44
Table 3-7. Phosphorus(P) utilization of fish fed the experimental diets for 6 weeks	46
Table 3-8. Growth and feed utilization of fish fed the experimental and commercial diets for 4 weeks	49
Table 3-9. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 4 weeks	50
Table 3-10. Nitrogen(N) utilization of fish fed the experimental diets for 4 weeks	51
Table 3-11. Phosphorus(P) utilization of fish fed the experimental diets for 4 weeks	54
Table 4-1. Ingredient composition of the reference diet	63
Table 4-2. Chemical composition of various ingredients for digestibility measurement	65
Table 4-3. Chemical composition of the reference and experimental diets(dry matter basis)	66
Table 4-4. Quality of rearing water used during the experimental period	66
Table 4-5. Ash and phosphorus content(%) of feces collected by two different methods	71
Table 4-6. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of ash and P in ingredients tested by two different feces collection methods	72

Table 4-7. Ash and phosphorus content(%) of feces collected by stripping method	75
Table 4-8. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of ash and P in ingredients tested by stripping method	76
Table 4-9. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of ash and P in ingredients tested by two different feces collection methods	77
Table 4-10. Comparison of phosphorus digestibility of feed ingredients by carp	78
Table 5-1. Ingredient composition(%) of the basal diet	85
Table 5-2. Chemical composition(g/100g, as-fed basis) of the experimental diets	85
Table 5-3. Ingredient composition of the basal diet	89
Table 5-4. Chemical composition of the experimental diets	90
Table 5-5. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 8 weeks	92
Table 5-6. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 8 weeks	98
Table 5-7. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 8 weeks	99
Table 5-8. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 8 weeks	100
Table 5-9. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	105
Table 5-10. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks	108

Table 5-11. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	110
Table 5-12. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	111
Table 6-1. Chemical composition of ingredients for digestibility measurement (g or kJ/100g)	121
Table 6-2. Chemical composition of the experimental diets composed of 70% reference diet and 30% test ingredient	122
Table 6-3. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets	125
Table 6-4. Fecal composition of fish fed the experimental diets	126
Table 6-5. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of the experimental diets	127
Table 6-6. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of test ingredients	128
Table 6-7. Digestible protein(DP), energy(DE) and phosphorus (DPh) values of test ingredient	131
Table 7-1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets .	138
Table 7-2 Growth and feed utilization of carp fed experimental diets for 6 weeks	142
Table 7-3. Whole body composition(%) of carp fed the experimental diets for 6 weeks	143
Table 7-4. Protein utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	144
Table 7-5. Phosphorus utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	145

Table 8-1. Chemical composition of the experimental diets	157
Table 8-2. Amino acid composition of the experimental diets	158
Table 8-3. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	162
Table 8-4. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks	164
Table 8-5. Nitrogen (N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	165
Table 8-6. Phosphorus (P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	166
Table 8-7. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	169
Table 8-8. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks	170
Table 8-9. Nitrogen (N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	171
Table 8-10. Phosphorus (P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks	173
Table 8-11. Feed cost (won) needed for 1 kg gain of fish fed the experimental diets for 6 weeks	175

Photo list

Photo - 1. Rearing system in KNU	182
Photo - 2. Wenger extruder X-185	182
Photo - 3. Whole body grinding	183
Photo - 4. Net cages for carp culture	183
Photo - 5. Net cage installation	184
Photo - 6. Weighing and numbering of fish	184
Photo - 7. Sampled fish at the end of the experiment	185

제1장 서론

가축사육의 궁극적인 목표는 인류식품으로서의 단백질 및 에너지 공급원인 고기(meat),란(egg) 및 우유(milk)의 생산에 귀착된다. 이러한 관점에서 어류양식의 중요성은 모든 가축 및 그들의 생산물중 최고의 단백질 효율이 어류에 의해 생산된다는 점에서 두드러지게 나타난다(김, 1993). 우리나라의 잉어 양식어업은 1973년 5월 이스라엘 정부로부터 '이스라엘 잉어' 치어를 기증받아 시험양식에 착수한 것을 기점으로 시작되었다. 1974년 농어민 소득증대의 일환으로 용인 자연농원에 시범단지가 조성되었고, 1975년 12월 31일 내수면 어업개발 촉진법이 제정되었다.

수산년감(1995)에 의하면, 1975년 내수면어업 총 생산량 8,629톤 중 양식에 의한 생산량이 451톤에 불과하던 것이 1994년에 20,865톤(수산년감, 1995)으로 내수면 양식산업은 무려 46배나 성장하여 성장산업의 한 분야로 자리를 굳혔다. 이와 함께, 양식용 어류사료 생산량은 1984년 3,900여톤에서 1994년 105,699톤으로 증가하여, 약 10여년간에 걸쳐 괄목할만한 양적성장을 이루었다.

그러나 1989년 부터 수질환경 보전문제가 사회 관심사로 대두되자 과학적인 실사과정을 거치지 않은채 가두리 양식장이 수질오염을 유발하는 주 원인으로 오인되어 '가두리 면허기간 연장 불허'(환경처 고시 제90-15호 및 16호)라는 방침이 발표되었으며, 1995년부터 시작하여 면허기간이 만료되는 가두리 양식장에서의 면허연장 신청 및 피해보상 등으로 인하여 법적문제로 비화되고 있고, 면허연장의 가능 여부는 아직 미해결 과제로 남아있다. 이러한 영향으로 인하여 잉어사료 생산량은 1989년 70,544톤으로 최고에 달했으나, 그후 점차

적으로 감소하여 1996년 43,525톤을 기록하였다(사료업계 자체통계, 1997년 1월)

세계적으로 환경에 대한 관심이 고조됨에 따라 어류양식에 의한 수질오염은 중요한 연구과제로 다뤄지고 있는데 (Cowey와 Cho, 1991; Watanabe, 1991), 그 중에서도 특히 인의 수중부하가 가장 많은 관심을 유발하고 있다(Hardy 등, 1993; Jacobsen과 Borresen, 1995; Cain과 Garling, 1995). 이러한 시대적 조류에 부응하기 위하여, 우리나라도 수질오염을 줄이기 위한 조치로 부상사료(浮上飼料)의 사용 의무화 및 농림수산부 고시 제1993-44호('93. 8. 2)에 의거 '인의 경우 어린물고기, 종묘용, 육성용은 1.8% 이하, 큰물고기는 1.5%이하로 하며, 물고기중 뱀장어용, 광어용, 방어용은 2.7% 이하로 한다'로 사료내 인 함량을 규제하기에 이르렀다.

국내에서는 김(1991)에 의해 국내에 시판되고 있는 잉어사료를 대상으로 하여 오염도를 조사한 결과 잉어 1톤 생산시 총질소 배설량은 69.5~92.0kg, 인은 19.8~28.0kg으로 일본(총질소 32.5~55.3kg, 총인 12.0~13.8kg; Watanabe, 1991)에 비해 상당히 높은 것으로 나타났다. 이후 일인산칼슘(MCP)을 첨가한 실험사료를 제조하여 실험한 결과(Kim & Ahn, 1993) 질소의 배설량은 조사되지 않았으나 인의 경우 MCP를 2% 첨가한 사료를 급여한 실험구에서 사료효율이 1.2로(무첨가구 2.46) 비록 사료내 인의 함량은 비교구가 1.46%인데 반해 실험구가 2.04%로 높았으나 이용성이 좋은 MCP를 첨가하여 사료효율이 개선됨으로 인하여 배설되는 인의 양이 잉어 생산 톤당 15.5kg으로 비교구 34.9kg에 비해 56%나 줄어든다는 것이 보고되었다. 이후 계속된 연구(원, 1993; 김과 김, 1995; Kim 등, 1995)에서 공통적으로 나타난 현상은 사료내의 인 함량도 중요하겠으나 사료효

율이 좋을수록 오염물질의 배설량은 줄어든다는 결론에 도달하였다. 양식으로 인한 인 배설량을 줄이기 위해서는 어류의 성장, 사료효율, 건강상태 및 번식 등에 영향을 미치지 않고 사료내 인 함량을 줄이는 방법을 모색해야 하는데, 이를 위해서는 설정된 인 요구량에 따라 인 이용성이 높은 원료나 인 첨가제를 사용하여, 사료효율이 보다 좋은 사료를 개발하고 사료허실을 최소화시켜야 한다. 그러나 지금까지 보고된 여러 원료사료내 인의 소화율은 찬넬메기(Lovell, 1978), 잉어와 송어(Ogino 등, 1979)에 국한되어 있으며, 이러한 연구결과 또한 여러 성장단계별 수치가 아닌 특정 단계에 한정되어 있어, 자료의 이용시 상당한 제한이 뒤따르게 된다.

잉어생산에 치중해온 국내 양식산업은 수질오염과 같은 난제에 직면하여 더 이상의 발전 가능성이 희박해지고 있는 실정이다(Kim 과 Ahn, 1993). 이러한 난제에 봉착한 주된 원인은 국내의 양어사료 배합에 사용되고 있는 원료사료의 영양소 및 에너지 소화율 평가, 인 요구량 설정 등과 같은 저오염 사료개발을 위한 기초연구가 거의 수행되지 않았기 때문이라 할 수 있다.

저오염사료를 제조하기 위해서는 여러 사항을 고려해야 하지만, 무엇보다도 우선적으로 사료배합에 이용되는 원료사료내 인 이용성을 구명하고, 인 요구량을 설정하여야 한다. 그리고 사료내 총 인의 함량을 줄이기 위해서는 어분을 대체할 수 있는 식물성 및 동물성 원료사료를 확보하여야 한다. 아울러 질소의 배설량 감소를 위해서는 사료내 단백질과 지방 또는 에너지와의 적정 비율을 설정해야 한다. 잉어의 인 요구량은 Ogino와 Takeda(1976)에 의해 보고된 후 전혀 후속적인 연구가 이뤄지지 않았다. 이들은 정제사료를 제조하여 비늘이 완전히 덮혀있는 4g 크기의 참잉어(common carp)에 급

여하여 유효인 요구량(0.6~0.7%)을 설정하였다. 그러나 국내에서 양식되는 잉어는 비늘이 거의 없는 이스라엘계 잉어로서, 비늘이 인의 주된 대사부위라는 점을 고려할 때 참잉어와 인 요구량에 차이가 있을 것이다. 이러한 가설하에 김과 김(1995)은 사료내 유효인의 함량이 약 0.34% 수준일 때 인 배설량 및 성장도 면에서 우수한 것을 발견하였다. 따라서 이스라엘 잉어의 인 요구량을 설정할 필요성을 제시하였다.

본 연구는 식물성 단백질 급원인 대두박의 어분대체 수준 및 미생물 인 분해효소의 첨가효과, 동물성 단백질 급원인 어류농축단백질과 혈분의 어분대체효과, 원료사료의 단백질, 인 및 에너지 소화율을 조사하고 인 요구량, 사료내 적정 단백질/지방의 수준을 설정하여 잉어용 오염저감 사료를 개발할 목적으로 수행되었다. 이러한 자료에 입각하여 만들어진 저오염 사료의 시판사료에 대한 상대적 오염도 및 경제성은 현지적용실험으로 수행되었다.

제2장 잉어사료내 대두박의 어분대체효과

제1절 연구사

양식산업의 발달과 함께 양어장으로부터의 배출수가 유입되는 수역에서의 부영양화가 심화되고 있기 때문에, 수질오염 감소를 위한 사료의 질적 개선노력이 두드러지고 있다(Cowey와 Cho, 1991). 그러나 국내에서는 가두리 양식장이 수질오염의 주범으로 인식되어 양식업의 면허 연장이 취소되고 수년내에 없어질 운명에 처해있다.

인은 어류에 있어서 가장 필수적인 광물질 중의 하나인 동시에 질소와 함께 수질을 오염시키는 원인물질이다(Watson등, 1992). 양어장에서 배출되는 배출수에는 가용성 인(반응성 및 비반응성) 및 입자상 인이 함유되어 있으며, 영양학적 견지에서 볼 때 입자상 인(섭취되지 않은 사료 및 분)은 어류에 의해 배설되는 인의 대부분(60% 이상)을 구성하고 있으며, 가용성 인은 인산염의 형태로 주로 오줌을 통해 배설된다(Lall, 1991). 어류는 수중의 인을 아가미를 통해 흡수할 수 있으나 수중내 인 함량이 극히 낮기 때문에 인의 주요 공급원은 사료가 될 수 밖에 없다. 사료배합에 이용되는 인 공급원은 여러 가지가 있으나 어류에 따라 생리적 특성이 다르기 때문에 인의 이용성이 다르다. 일반적으로 양어용 사료에 단백질 공급원으로 사용되는 어분은 어류가 필요로하는 인의 량보다 더 많은 인을 함유하고 있다(김 등, 1996). 잉어의 경우 뱀가 없어 위산의 분비가 일어나지 않기 때문에 어분내의 인을 잘 이용하지 못하므로 사료에 가용성 인을 첨가할 필요가 있다(Yone와 Toshima, 1979). Ogino등(1979)은 잉어사료내 사용되는 인 공급제의 용해도가 낮을수록 그

이용성 또한 낮다고 보고하였다.

어류용 배합사료의 경우 어분은 풍부한 가소화 단백질 함량과 우수한 아미노산 조성 때문에 주요 단백질 공급원으로 사용되어 왔다. 어분의 장기적 생산추이를 살펴보면 지난 20년간 어분의 세계 공급량은 단지 27% 증가했을 뿐이며, 최근 주요 어분 생산국의 생산량은 1990년이 1989년에 비해 12% 감소한 수치를 보여주고 있다 (IAFMM, 1991). 2000년까지 양식산업에 소요되는 어분 및 어유는 2배 이상으로 증가할 것으로 기대되는 반면 어분 생산량은 5% 까지 감소될 전망이다 (Rumsey, 1993). 이러한 이유로 인하여 어분을 식물성 단백질 공급원으로 대체하려는 많은 노력이 행해져왔다 (Anderson과 Bettencourt, 1992; Fowler, 1991; Higgs 등, 1979; Mohsen과 Lovell, 1990; Pongmaneerat 등, 1993; Tacon과 Jackson, 1985; Watanabe 등, 1993; Attack 등, 1979; Kim 등, 1995; Viola 등, 1982; 이 등, 1991; 이 등, 1996; 이와 류, 1996).

한편, 대두박과 같은 식물성 원료내에 함유되어있는 인의 대부분은 유기태 형태의 피틴태 인 (phytin-p)이다 (Ketola와 Harland, 1993). 어류나 단위동물에는 피틴태 인을 가수분해시키는 효소인 phytase가 존재하지 않기 때문에 그 이용성이 8~38% (NRC, 1993) 범위로 낮다. 따라서 어류의 최소 인 요구량을 충족시켜주기 위해서 식물성 원료가 많이 함유된 사료에 무기태인 공급제가 첨가되고 있다. 피틴태 인의 이용성을 어떠한 방법으로든 높일 수 있으면 무기태로 첨가되는 인의 양을 줄일 수 있을 것이며 결국 인의 배설량을 줄일 수 있을 것이다. 피틴태 인의 이용성을 높이기 위해 몇몇 연구자들 (Nelson 등, 1968; Simons 등, 1990; 권 등, 1995a,b)은 가금 및 양돈사료에 phytase를 첨가한 결과 피틴태 인의 이용성이 증가하였다

고 하였고, 어류에 있어서도 잉어(Schafer등, 1995), 송어(Rodehutschord와 Pfeffer, 1995) 및 연어(Cain과 Garling, 1995)에 phytase를 첨가 및 phytase로 전처리한 대두박을 사용한 결과 인의 이용성이 증가하였고 그 결과 배설량이 감소하였다고 하였다. Schafer등(1995)은 phytase를 500FTU와 1000FTU를 첨가하여도 인 이용성과 배설량에는 차이가 없었고 증체량에서도 차이가 없었다고 하면서, 그 이유는 사료내 이용 가능한 인이 부족한 때문인 것 같다고 하였다.

본 실험은 어분의 대체자원으로서 대두박의 적정 첨가수준을 설정하기 위하여 수행되었는데, 첫 번째로 대두박 함량을 달리한 실험 사료에 microbial phytase의 첨가가 잉어의 성장과 인 배설량에 미치는 영향(실험 1)을 조사한 후, 대두박을 기초로한 사료내 일인산칼슘과 microbial phytase의 첨가가 잉어의 성장과 인 배설량에 미치는 영향(실험 2)을 조사하기 위하여 수행되었다.

제2절 재료 및 방법

1. 대두박의 수준을 달리한 사료내 미생물 phytase의 첨가 효과(실험 1)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 $92.2 \pm 1.9\text{g}$ (mean \pm SD)의 이스라엘 잉어 (*Cyprinus carpio*)를 사용하였으며, 강원대학교 축산대학 축산학과 부속 어류영양연구실에서 10일간의 적응기간을 거친후 6주간 사양실험을 실시하였다. 적응기간 동안에는 실험에 이용하지 않은 시판사료를 전 실험구에 급여하였다. 어체중의 계량 및 미수측정은 본실험의 개시와 종료시에 각각 24시간의 절식후 행하였다.

실험사료는 배합한후 효소의 역가손실을 감안하여 열을 가하지않고 약 4.0mm크기의 스파게티모양으로 성형한후 그늘에서 자연건조 시켰다. 실험사료의 구성은(Table 2-1) 갈색어분 30%, 대두박 30%, 소맥분 35.28%로 구성된 기초사료에 대두박으로 어분을 25% 대체한 사료(S₂₅), 50% 대체한 사료(S₅₀), 75% 대체한 사료(S₇₅) 및 100% 대체한 사료(S₁₀₀)에 사료내 총인의 함량을 1.23~1.25%로 맞추기 위해 대두박 대체수준이 증가함에 따른 인 감소분을 일인산 칼슘(MCP)을 첨가하여 동일하게 유지하였으며, 기초사료구의 실험사료 kg당 phytase를 각각 500FTU씩 첨가하였다. 또한, 어분의 수준이 감소함에 따라 저하된 메치오닌 및 라이신을 보충하기 위해 각 0.1%씩 증가시켰고 감소되는 에너지를 보충하기 위해 어유(정어리유)를 각 0.5%씩 점증시켰다. 총 5처리 2반복으로(25미/반복) 완전임의 배치하였다.

나. 사양관리

순환여과식 사육장치(photo-1)는 12개의 사육조, 펌프, 침전조, 1차여과조 및 2차분해조로 구성되었다. 실험에 사용된 사육조는 여과수가 최초 및 마지막으로 유입되는 두 사육조를 제외한 10개였으며, 수량은 130L로서 유속(flow rate)은 평균 10~12L/min였으며, 수온은 전 실험기간동안 26~28℃의 범위에 있었다.

각 사육조마다 폭기(aeration)가 계속적으로 이뤄졌으며 실험어류는 사육조에 잘 적응하여 한마리의 폐사어도 발생하지 않았다. 용존산소량, pH 및 암모니아태 질소는 일주일에 1회씩 측정하였으며, 측정치의 평균은 각각 5.8mg/L, 6.9 및 1.5mg/L 였다. 실험사료는 일일 3회씩 10:00, 13:00 및 16:00에 매회 섭취도가 떨어질때까지 급여하였다. 기타의 사양관리는 Kim 등(1995)에 전술한 바와 같았다.

다. 조사항목

실험사료의 섭취에 따른 성장 및 사료효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 사료섭취량(feed intake), 사료요구율(feed conversion ratio)과 어체내 축적량에 기반한 질소 및 인의 수중 배설량을 평가하기 위하여 개시어와 종료어의 도체분석을 실시한 후 섭취한 영양소에서 체내 축적된 영양소량을 감하여 축적된 영양소로 계산하여 질소 축적효율(nitrogen retention efficiency; NRE) 및 인 축적효율(phosphorus retention efficiency; PRE)을 조사하였다. 질소 및 인의 이용효율은 증체량 단위로 표시하였다.

라. 분석방법

사료와 어체의 일반성분(Table 2-1)은 AOAC(1990)의 방법

에 따라 분석하였는데, 수분은 105℃의 오븐에서 24 시간 건조하였으며 단백질(N x 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 에테르추출법으로, 회분은 550℃에서 12시간 회화시켜 분석하였다.

Table 2-1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets

Diet Ingredient	Basal	S ₂₅	S ₅₀	S ₇₅	S ₁₀₀
	%				
Brown fishmeal	30.00	22.50	15.00	7.50	0.00
Soybean meal	30.00	40.50	51.00	61.50	72.00
Wheat flour	35.28	30.57	25.87	21.67	17.47
Soybean oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Sardine oil	1.00	1.50	2.50	3.00	3.50
Vitamin Mix. ¹	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Mineral Mix. ¹	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Lysine(98%)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
DL-methionine(50%)	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
Choline-HCl(25%)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Antioxidant ²	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
M C P ³	-	1.00	1.50	2.00	2.50
Phytase ⁴ (FTU)	-	500	500	500	500
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<i>Chemical composition(%)</i>					
Moisture	4.45	4.57	4.09	4.18	4.30
C. protein	40.59	39.87	38.45	38.31	38.11
C. fat	8.07	7.89	8.80	8.94	8.78
C. ash	7.83	7.94	7.66	7.45	7.05
Ca	2.38	2.21	2.23	1.74	1.68
P	1.23	1.25	1.24	1.25	1.24

¹Supplied the following amounts per kilogram of diet : vitamin A, 35,000 IU; vitamin D₃, 7,000 IU; vitamin E, 70 mg; thiamin, 14 mg; riboflavin, 21 mg; pyridoxine, 14 mg; vitamin B₁₂, 0.14 mg; pantothenic acid, 49 mg; niacin, 105 mg; biotin, 1.4 mg; vitamin C, 70 mg; Mg, 240 mg; Mn, 140 mg; Zn, 280 mg; Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

²Endox[®], Kemin Industries Inc., USA.

³Monocalcium phosphate, Cefkaphos[®], BASF, Germany.

⁴Phytase, Natuphos[®]5000, BASF, Germany (FTU/kg diet).

칼슘함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H_2SO_4 용액과 반응시켜 $KMnO_4$ 로 적정하여 구하였으며, 인(P)은 vandate molybdate-yellow 법으로 470nm에서 spectrophotometer로 분석하였다. 실험의 개시시 10미 및 종료시에 반복당 5미의 잉어를 임의로 채취한후 육골분쇄기를 이용 파쇄하여 잘 섞은후 약 10g 정도의 시료를 취하여 분석에 이용하였다. 나머지 시료는 분석시까지 $-20^{\circ}C$ 의 냉동고에 보관하였다. 얻어진 결과의 통계적 분석은 분산분석과 Duncan (1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package(SAS Inst. Inc., NC, USA)를 이용하여 실시하였다.

2. 대두박을 기초로한 사료내 미생물 phytase의 첨가 효과(실험 2)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 $71.5 \pm 2.9g$ (mean \pm SD)의 잉어(*Cyprinus carpio*) 250마리를 사용하였으며, 7일간의 적응기간을 거친후 6주간 사양실험을 실시하였다. 실험사료는 실험 1에 전술한 바와 동일한 방법으로 성형하였다. 실험사료의 구성은 Table 2-2에 나타낸 바와 같이 기초사료 kg당 phytase를 500FTU첨가한 것(BP)과 기초사료에 Monocalcium phosphate(MCP) 1%를 첨가한 BM_1 구, MCP 2% 첨가한 BM_2 구 및 MCP 1%와 phytase 500FTU를 혼합 첨가한 BM_1P 구로, 5종류의 사료에 2반복(25마리/반복)으로 완전임의 배치하였다.

Table 2-2. Ingredient composition(%) of the experimental diets

Ingredient	Diet				
	B	BP	BM ₁	BM ₂	BM ₁ P
Brown fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Soybean meal	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Wheat flour	29.18	29.17	28.18	27.18	28.17
Soybean oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Sardine oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Vitamin Mix. ¹	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Mineral Mix. ¹	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Lysine-HCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
DL-methionine	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Choline-HCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Antioxidant ¹	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MCP ¹	-	-	1.00	2.00	1.00
Phytase ¹ (FTU)	-	500	-	-	500
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

¹Refer to Table 2-1.

Table 2-3. Chemical composition of the experimental diets

Composition	Diet				
	B	BP	BM ₁	BM ₂	BM ₁ P
Moisture, %	7.02	9.15	8.76	8.09	8.46
C. protein ¹	41.50	41.49	42.78	43.05	42.77
C. lipid ¹	8.88	8.84	8.07	8.33	8.07
C. ash ¹	7.90	7.77	8.46	9.37	8.68
Ca ¹	2.22	2.07	2.16	2.42	2.00
P ¹	1.13	1.29	1.48	1.78	1.41

¹g/100g DM.

나. 사양관리

실험 1과 동일하였다.

다. 조사항목

실험 1에 전술된 바와 같았다.

라. 분석방법

사료의 일반성분(Table 2-3), 개시어와 종료어의 채취 및 분석 그리고 얻어진 결과의 통계적 분석은 실험 1에 전술된 바와 같았다.

제3절 결과 및 고찰

1. 대두박의 수준을 달리한 사료내 미생물 phytase의 첨가 효과(실험 1)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

Table 2-4에는 사양성적을 나타내었는데 증체량에서는 S₂₅ 급여구와 S₅₀급여구가 각각 97.2g, 101.5g으로 타 사료 급여구보다 우수하였고(P<0.05), 타 사료 급여구 간에는 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 사료섭취량(건물)/증체량으로 표시한 사료요구율(FCR)에서는 S₅₀급여구와 S₂₅급여구가 각각 1.38 및 1.47로 타 사료 급여구보다 우수하였으나(P<0.05), 두 처리구 간에는 유의차가 없었고, 대조구와 S₂₅처리구 간에도 유의차가 없었다(P>0.05). 기초사료구(Control)와 S₇₅, S₁₀₀급여구 간에는 차이가 없었으며(P>0.05), 대두박의 대체수준이 50% 이상으로 증가할수록 사료요구율이 증가하는 경향이 있었다.

Ogino등(1979)이 보고한 인의 이용성과 사료 건물 1kg당 phytase 500FTU 첨가한 사료 급여구에서 사료 kg당 MCP 8.2g(유효인으로 0.17%)을 첨가한 것과 동일한 효과를 나타내었다고 한 Schafer등(1995)의 보고를 기초로하여 본 실험에 이용한 실험사료내 유효인의 함량을 계산하면 Control, S₂₅, S₅₀, S₇₅, 및 S₁₀₀사료가 각각 0.23, 0.58, 0.65, 0.72 및 0.80%로 계산되었으며, Ogino와 Takeda(1976)가 보고한 인 요구량 0.6%와 비교할시 기초사료구 외에는 유효인의 요구량을 만족시키고 있는 것으로 나타났다. 그러나 대두박의 어분 대체수준이 50%를 초과할 때 계산상으로 유효인의 함량은 증가하였지만 S₂₅ 및 S₅₀에 비해 성적이 떨어진 것은 인외의

다른 요인에 의해 FCR이 영향을 받은 것으로 사료된다. 몇가지 가능성 있는 요인으로 대두박의 부적절한 열처리에 의한 protease (trypsin) inhibitor의 활력이 높은 것(Dabrowski와 Kozak, 1979; Wilson과 Poe, 1985), 대두박의 아미노산 불균형(Dabrowski등, 1989), 대두박의 에너지함량이 어분에 비해 낮은 것(Viola등, 1983; Hilton과 Slinger, 1986) 및 대두박내의 인 이용성이 어분에 비해 낮은 것(Liebowitz, 1981)을 들 수 있다. 본 실험에서는 아미노산, 에너지 함량을 고려하여 합성아미노산(메치오닌, 라이신) 및 오일을 첨가하여 에너지를 동일화 하였기 때문에 두가지의 원인은 배제할 수 있으나 trypsin inhibitor의 분석은 실시하지않아 의문점으로 남는다.

Table 2-4. Weight gain and feed conversion ratio of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	FCR	PER ¹	DFR ² %
Basal	91.6	83.2 ^b	1.57 ^{ab}	1.50	2.33
S ₂₅	91.6	97.2 ^a	1.47 ^{bc}	1.63	2.42
S ₅₀	92.4	101.5 ^a	1.38 ^c	1.81	2.34
S ₇₅	92.8	84.3 ^b	1.66 ^a	1.50	2.48
S ₁₀	92.8	83.6 ^b	1.67 ^a	1.50	2.47
mean ± SE ³	92.2 ± 1.7	90.0 ± 5.4	1.6 ± 0.1	1.59 ± 0.05	2.41 ± 0.03

¹Protein efficiency ratio = weight gain(g)/Protein intake(g).

²Daily feeding rate = (feed intake/42)×100/((initial body wt.+final body wt.)/2).

³Pooled standard error.

^{abc}Values in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

아울러, 500FTU의 phytase 첨가로 분해할 수 있는 인의 량에 한계가 있어 이용가능한 인이 실지 계산치보다 낮을 가능성이 충분히 있다고 추측되며, 또한 요구량 이상의 인은 성장능력에 필요가

없을 수도 있을 것으로 추측되므로 추후 더 자세한 연구가 수반되어야 할 것이다. 단백질 이용효율(PER)은 1.50~1.81의 범위로 나타났으며 처리구간에 유의성은 없었다($P>0.05$). 일일 급여율(DFR)은 2.33~2.48%로서 처리구간에는 차이가 없었다($P>0.05$).

나. 체조직 조성

Table 2-5에서는 체조직 조성을 표시하였는데 수분함량에서 개시어 77.64%보다 종료어의 체중이 증가할수록 수분함량이 평균 75.6%로 약간 감소하는 경향이 나타났으며 이는 앞선 보고(김과우, 1994; 김과 김, 1995)와 일치하였다. 단백질 함량은 개시어가 14.95%로서 종료어가 15.61~15.94%로 약간 증가하는 경향이 나타났다.

Table 2-5. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P
Initial	77.64±0.18 ^a	14.95±0.04 ^c	5.12±0.03 ^d	2.13±0.02 ^b	1.25±0.03 ^c	0.45±0.01 ^b
Basal	74.14±0.25 ^d	15.62±0.30 ^b	7.94±0.28 ^a	2.49±0.31 ^{ab}	1.39±0.04 ^b	0.49±0.05 ^{ab}
S ₂₅	75.35±0.04 ^c	15.61±0.20 ^b	6.17±0.13 ^b	2.16±0.10 ^b	1.24±0.08 ^c	0.44±0.01 ^{bc}
S ₅₀	74.88±0.52 ^c	15.94±0.05 ^a	6.28±0.03 ^b	2.28±0.16 ^{ab}	1.21±0.01 ^c	0.48±0.03 ^{ab}
S ₇₅	76.96±0.45 ^b	15.66±0.08 ^{ab}	5.71±0.25 ^c	2.49±0.13 ^{ab}	1.56±0.04 ^a	0.50±0.03 ^a
S ₁₀₀	76.66±0.35 ^b	15.66±0.09 ^{ab}	5.22±0.25 ^d	2.60±0.32 ^a	1.44±0.13 ^{ab}	0.54±0.03 ^c
mean	75.94±0.34	15.57±0.16	6.07±0.19	2.36±0.20	1.36±0.07	0.48±0.03

^{abcd}Values(mean±SE) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$).

지방함량의 경우는 유효인의 함량이 가장 낮게 나타난 기

초사료 급여구가 7.94%로 가장 높게 나타났으며($P < 0.05$), 인 함량이 낮은 사료를 잉어에게 급여할때 전어체내 지방함량이 증가하였다는 앞선 보고(Takeuchi와 Nakazoe, 1981; 김과 우, 1994; 김과 김, 1995)와 일치하였다. 인 함량은 0.44~0.54%로서 큰 변이가 없었으며 어류의 체내 인 함량은 생체 단위당 0.4~0.5%로서 상대적으로 일정한 수준으로 유지된다고 한 보고(Lall, 1991; 김과 김, 1995)와 일치하는 결과를 보여주었다.

Table 2-6. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	N(g) per Kg weight gain			N excretion(g) /Kg feed intake	NRE(%) ¹
	Fed	Retained	Excreted ²		
Basal	106.6± 2.2	26.6±1.1	80.0± 1.0	51.0±0.2 ^a	25.0±0.6 ^b
S ₂₅	97.9± 0.1	26.3±0.6	71.6± 0.5	48.9±0.3 ^{ab}	26.9±0.6 ^b
S ₅₀	88.7± 0.6	27.3±0.2	61.4± 0.4	44.4±0.1 ^c	30.8±0.0 ^a
S ₇₅	107.5±10.8	26.7±0.5	80.8±10.3	47.9±1.2 ^b	24.8±2.1 ^b
S ₁₀₀	106.5± 4.2	26.7±0.4	79.8± 3.8	47.7±0.4 ^b	25.1±0.6 ^b
means	101.5± 3.0	26.7±0.3	74.7± 3.0	48.0±0.7	26.5±1.0

¹NRE = nitrogen retained/nitrogen intake x 100.

²Excreted = fed - retained.

^{abc}Values(mean±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P < 0.05$).

다. 질소와 인의 배설량 및 축적효율

Table 2-6에는 질소의 축적량과 배설량을 표시하였는데 kg 증체당 질소 섭취량은 88.7~107.5g의 범위를 나타내었으나 처리구 간 통계적인 유의차는 없었다($P > 0.05$). 증체 단위당 질소 축적량은 26.3~27.3g의 범위를 나타내었고 처리구 간 차이는 없었다($P > 0.05$). 증체 단위당 질소 배설량은 61.4~80.8g의 범위를 나타내었으며 처

리구간에 유의성은 인정되지 않았으나($P>0.05$), 질소 섭취량의 다소에 따라 배설량도 약간씩 차이가 있는 것으로 나타났으며, 어분을 대두박으로 50% 대체한 S₅₀구가 기초사료구에 비해 23% 정도의 질소 배설량이 감소한 것으로 나타났다.

섭취한 사료 kg당 배설되는 질소의 량(g)은 S₅₀사료 급여구가 44.4g으로 타 처리구에 비해 가장 낮았고($P<0.05$), 기초사료구가 51.0g으로 S₂₅급여구(48.9g)를 제외한 타 처리구보다 높게 나타났으며($P<0.05$), 타 처리구 간에는 유의성이 인정되지 않았다($P>0.05$). 사료 섭취량을 기준으로 할 때 S₅₀구가 기초사료구에 비해 질소 배설량이 13% 정도 감소한 것으로 나타났다. 질소 축적효율(NRE)은 S₅₀사료 급여구가 30.7%로 가장 우수하여 타사료 급여구와 유의차가 인정되었다($P<0.05$).

Table 2-7. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	P(g) per Kg weight gain			P excretion(g) /Kg feed intake	PRE(%) ¹
	Fed	Retained	Excreted ²		
Basal	20.1±0.6 ^{ab}	5.3±1.1 ^{ab}	14.8±0.5 ^a	9.4±0.5 ^b	26.4±4.6 ^{ab}
S ₂₅	19.1±0.4 ^b	4.3±0.2 ^b	14.9±0.2 ^a	10.1±0.2 ^a	22.3±0.5 ^b
S ₅₀	17.9±0.2 ^b	4.9±0.5 ^b	13.0±0.7 ^b	9.4±0.5 ^b	27.6±3.0 ^a
S ₇₅	21.9±2.5 ^a	5.5±0.7 ^{ab}	16.3±1.8 ^a	9.7±0.1 ^{ab}	25.3±0.3 ^{ab}
S ₁₀₀	21.6±0.6 ^a	6.3±0.6 ^a	15.3±0.0 ^a	9.2±0.3 ^b	29.0±1.9 ^a
means	20.1±1.2	5.3±0.7	14.9±0.9	9.6±0.3	26.1±2.6

¹PRE = phosphorus retained/phosphorus intake x 100.

²Excreted = fed - retained.

^{ab}Values(mean±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$).

Table 2-7에서는 Kg 증체당 인의 섭취량 및 배설량과 축적효율에 대해 표시하였는데 사료내 인의 함량에는 상관없이 상대적

으로 사료요구율이 저조하였던 S₇₅ 및 S₁₀₀사료 급여구가 21.6~21.9g으로 섭취량이 가장 많았다. 축적된량은 4.3~6.3g의 범위를 나타내었으며, 기초사료구, S₇₅ 및 S₁₀₀ 사료 급여구는 각각 5.3, 5.5 및 6.3g으로 이들 간에는 통계적인 유의차는 없었으며(P>0.05), S₁₀₀사료 급여구가 6.3g으로 S₂₅(4.3g) 및 S₅₀사료 급여구(4.9g)보다 유의적으로 적었으며(P<0.05), 이는 인의 섭취량이 상대적으로 적었던 것에 기인된 것으로 보인다. Kg 증체당 인 배설량은 13.0~16.3g의 범위를 나타내었는데 S₅₀사료 급여구가 13.0g으로 가장 우수하였으며(P<0.05), 나머지 처리구간에는 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 기초사료구에 비하여 S₅₀구가 Kg 증체당 인 배설량에서 12% 감소한 것으로 나타났다.

한편, 인 축적효율(PRE)의 경우 22.3~29.0%의 범위를 나타내었는데 phytase 500FTU첨가로 피틴태 인을 분해하여 MCP로 공급되는 유효인 0.17%이상의 효과는 없는 것으로 보이며, phytase가 기질(피틴태 인)을 분해할 수 있는 능력에는 한계가 있는 것으로 사려된다. 실험설계상 총인의 함량을 일정하게 맞추고 어분의 대두박으로의 대체수준이 증가할수록 이용성이 좋은 MCP로 보충하였기 때문에 인의 축적효율에서 통계적 차이가 나타나지 않은 것으로 추측되며, MCP를 첨가하지 않은 처리구를 두어 비교하였다면 보다 명확한 결과를 얻을 수 있었을 것으로 추론된다.

2. 대두박을 기초로한 사료내 미생물 phytase의 첨가 효과(실험 2)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

기초사료에 phytase를 첨가한 사료 급여구(BP)는 기초사료

급여구(B)보다 증체량과 사료효율에서 약간 개선되었으나(Table 2-8) 통계적 유의차는 없었으며($P>0.05$), 기초사료에 MCP를 첨가한 사료와 MCP와 phytase를 함께 첨가한 사료급여구(BM₁, BM₂, BM_{1P})는 기초사료 급여구보다 우수한 성적을 나타내었다($P<0.05$). 그러나 BM₁구와 BM₂구를 비교했을때 BM₂구가 약간 개선되었으나 유의차는 나타나지 않았다($P>0.05$). 한편 BM₁구에 phytase를 첨가한 BM_{1P}구를 비교하였을때 증체량 및 사료효율이 개선되었으며($P<0.05$), BM₂와 BM_{1P}구 간에는 차이가 없었다($P>0.05$).

MCP를 첨가한 사료구가 기초사료 구보다 성적이 개선된 것은 이용가능한 인(유효인)이 증가한 결과인 것으로 추측된다. 따라서 기초사료는 적정성장에 요구되는 인이 부족된 상태라고 할 수 있겠다. 사료 건물 1kg당 phytase 500FTU 첨가는 MCP 8.2g을 첨가한 것과 동일한 효과를 나타내었다고 한 Schafer 등(1995)의 보고와 제4장에서 측정된 인 이용성을 기초로하여 본 실험에 이용한 실험사료내 유효인의 함량을 계산하면 B, BP, BM₁, BM₂ 및 BM_{1P}사료가 각각 0.13, 0.29, 0.32, 0.52 및 0.48%로 계산되었다. 이는 Ogino와 Takeda (1976)가 보고한 인 요구량 0.6~0.7%와 비교할시 유효인 요구량을 만족시키지 못하고 있다. 그러나 제5장 실험 2에서 어분 10%를 함유한 어체중 34g의 이스라엘잉어의 이용가능한 인 요구량 0.57%와 비교할 시 약간 낮기는 하지만 어체중의 증가에 따라 이용가능한 인 요구량이 낮아지는 경향이 있다고 한 보고와, 어체중 104g의 이스라엘잉어에서 MCP를 1% 첨가하여 이용가능한 인 계산치가 0.34%일 때 가장 성적이 좋았다는 보고(김과 김, 1995)를 비교해 볼 때 본 실험에서 개시체중 71.5g의 이스라엘잉어에서 BM₂ 및 BM_{1P}구의 이용가능한 인 함량이 0.48~0.52%로 거의 중간정도의 수준을 나

타내고 있다.

단백질 이용 효율(PER)은 B구가 1.13, BP구가 1.24로 타 실험구(1.45-1.62)보다 낮게 나타났고($P < 0.05$), B사료에 phytase를 첨가하였을시 약간 개선되었으나 유의차가 없었다($P > 0.05$). MCP를 1% 첨가한 BM₁구는 1.45로 BM₂ 및 BM₁P구보다 낮았고($P < 0.05$), BM₁사료에 phytase를 첨가한 BM₁P구는 1.62로서 유의적으로 개선된 것으로 나타났다($P < 0.05$). 이와같은 결과는 MCP 또는 MCP와 phytase를 동시에 첨가함으로 인하여 유효인의 함량이 증가하여 단백질 이용효율이 증가한 것으로 나타났으며 Lall(1991)과 김과 김(1995)의 앞선 보고와 일치하였다.

Table 2-8. Weight gain and feed conversion ratio of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	FCR	PER ¹	DFR ² %
B	70.8	59.8 ^c	2.14 ^a	1.13 ^c	3.03 ^a
BP	71.8	66.0 ^c	1.95 ^{ab}	1.24 ^c	2.92 ^a
BM ₁	72.0	79.4 ^b	1.62 ^b	1.45 ^b	2.74 ^b
BM ₂	70.8	86.3 ^{ab}	1.44 ^b	1.62 ^a	2.59 ^c
BM ₁ P	72.2	89.2 ^a	1.45 ^b	1.62 ^a	2.63 ^c
mean ± SE ³	71.5 ± 2.6	76.1 ± 4.7	1.72 ± 0.1	1.41 ± 0.1	2.78 ± 0.1

¹Protein efficiency ratio = weight gain(g)/protein intake(g).

²Daily feeding rate = (feed intake/42)x100/((initial body wt.+final body wt.)/2).

³Pooled standard error.

^{abc}Values(means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P < 0.05$).

한편, 일일사료급여율(DFR)의 경우 B구가 3.03%로 BP구와

함께 높게 나타나($P < 0.05$) 사료내 인의 함량이 증가할수록 급여율이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 이것이 인의 함량에 의한 것인지는 본 실험에서는 알 수 없는 실정이다. 그리고 앞선 연구자들(Ogino와 Takeda, 1976; Yone와 Toshima, 1979)에 의해 인의 결핍증상으로 성장을 및 사료효율의 저하가 보고되었는데 이는 사료섭취량과는 상관이 없는 것이어서 명확한 설명이 어렵고 별도의 확인 실험이 수행되어야 될 것으로 보인다.

Table 2-9. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P
Initial	77.89±0.08 ^a	14.73±0.06 ^d	5.03±0.01 ^e	2.18±0.10 ^{abc}	1.25±0.08 ^c	0.46±0.01 ^a
B	73.16±0.25 ^c	14.89±0.08 ^d	9.75±0.23 ^a	2.11±0.15 ^{bc}	1.58±0.02 ^a	0.39±0.05 ^{ab}
BP	74.67±0.28 ^{bc}	15.20±0.13 ^c	7.92±0.11 ^b	2.03±0.33 ^{bc}	1.26±0.06 ^c	0.41±0.06 ^{ab}
BM ₁	73.63±0.35 ^d	15.89±0.08 ^a	7.47±0.36 ^c	1.91±0.07 ^c	1.03±0.02 ^d	0.36±0.01 ^b
BM ₂	74.26±0.06 ^c	15.46±0.13 ^b	6.80±0.06 ^d	2.46±0.10 ^a	1.51±0.01 ^b	0.35±0.03 ^b
BM ₁ P	74.70±0.12 ^b	15.18±0.09 ^c	7.80±0.04 ^b	2.36±0.23 ^{ab}	1.28±0.04 ^c	0.43±0.02 ^a
mean	74.72±0.22	15.22±0.10	7.46±0.63	2.17±0.19	1.32±0.07	0.40±0.03

^{ab,c,d,e}Values(mean±SE of duplicate groups), each pooled from 5 fishes, in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P < 0.05$).

나. 체조직 조성

Table 2-9에서는 체조직 조성을 표시하였는데 수분함량에서 개시어 77.9%보다 종료어의 체중이 증가할수록 수분함량이 74.2%로 감소하는 경향이 나타났다($P < 0.05$). 단백질 함량은 개시어

가 14.7%로서 종료어 14.9~15.9%로 약간 증가하는 경향이 나타났으며 앞선 보고(김과 우, 1994; 김과 김, 1995)와 비슷한 경향을 나타내었다.

지방함량의 경우는 유효인의 함량이 가장 낮게 나타난 기초사료구(B)가 9.75%로 가장높게 나타나($P < 0.05$) 인함량이 낮은 사료를 잉어에게 급여할때 전어체내 지방함량이 증가하였다는 앞선 보고서들(Takeuchi와 Nakazoe, 1981; Schafer 등, 1995)의 결과와 일치하였다. 인 함량은 0.35~0.46%로서 큰 변이가 없었으며 어류의 체내 인 함량은 생체 단위당 0.4~0.5%로서 상대적으로 일정한 수준으로 유지된다고 한 Lall(1991)의 보고와 일치하는 결과를 보여주었다.

다. 질소 및 인의 축적효율과 배설량

Table 2-10에는 질소의 축적량과 배설량을 표시하였는데 kg증체당 질소 섭취량은 기초사료구(B)가 142.4g으로 BP구(129.7g)외 타 실험구(98.8~110.8g)에 비하여 높게 나타났다($P < 0.05$). 이것은 실험사료내 단백질의 함량이나 사료 섭취량에 차이가 거의 나타나지 않았으나 증체량에 차이가 있었고, kg증체당으로 표시함으로 인하여 상대적으로 차이가 발생한 것이다. 한편, kg증체당 질소 축적량은 B구가 23.7g으로 상대적으로 낮게 나타났고($P < 0.05$), BM_1 구가 26.8g으로 가장 높게 나타났다($P < 0.05$).

질소 배설량은 B구가 118.7g으로 가장 높게 나타났고($P < 0.05$), BP구가 104.9g으로 두번째로 많은 것으로 나타났으며($P < 0.05$), BM_1 , BM_2 및 BM_1P 구가 각각 84.0g, 73.5g, 74.6g으로 BBP구보다 낮게 나타났다($P < 0.05$). B구와 BP구를 비교했을때 질소 배설량이 12% 감소되었고($P < 0.05$), BM_1 구와 BM_1P 구를 비교했을때

11% 감소된 것으로 나타났으나 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 이보다 앞선 연구에서(Watanabe, 1991; 김, 1991, Kim과 Ahn, 1993; 김과 우, 1994; 원, 1993; 김과 김, 1995) 개시어체중에 약간의 차이는 있었지만 사료에 따라 Kg 증체당 질소 배설량은 32.5g (Watanabe, 1991)에서 130.9g(원, 1993)의 변이가 있었다. 따라서 사료의 원료 및 성분의 조정으로 질소의 배설량을 줄일 수 있다는 것이 확인 되었다.

Table 2-10. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	N(g) per Kg weight gain			N excretion(g) /Kg feed intake	NRE(%) ¹
	Fed	Retained	Excretion		
B	142.4± 9.1 ^a	23.7±0.3 ^d	118.7± 8.8 ^a	55.3±0.5 ^a	16.7±0.9 ^c
BP	129.7±11.5 ^a	24.8±0.5 ^c	104.9±11.1 ^b	53.6±1.3 ^b	19.2±1.3 ^b
BM ₁	110.8± 3.7 ^b	26.8±0.2 ^a	84.0± 3.9 ^c	51.9±0.7 ^c	24.2±1.0 ^a
BM ₂	98.8± 1.3 ^b	25.4±0.4 ^b	73.5± 1.7 ^c	51.2±0.2 ^c	25.7±0.7 ^a
BM ₁ P	99.2± 5.4 ^b	24.6±0.3 ^c	74.6± 5.6 ^c	51.4±1.3 ^c	24.9±1.6 ^a
mean	116.2± 7.2	25.0±0.3	91.1± 7.1	52.7±0.9	22.1±1.2

¹NRE = nitrogen retained/nitrogen intake x 100.

^{a,b,c}Values(mean±SE of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$).

질소 축적효율(NRE)은 B 및 BP구가 16.7% 및 19.2%로 가장 저조하게 나타났고($P<0.05$), B사료에 phytase를 첨가한 BP사료 급여시 질소 축적효율은 16.7% 대 19.2%로 유의적으로 개선된 것으로 나타났으나($P<0.05$), BM₁과 BM₁P간에는 차이가 없었다($P>0.05$). 인이 결핍될시 질소 이용효율이 낮아지고 유효인의 양이 요구량에

가까워 질수록 증가한다는 보고(Lall, 1991)와 비교해 볼때 B사료에 이용가능한 인의 량이 부족된 상태(0.13%)에서 phytase를 첨가한 결과(BP, 0.29%) 개선된 것으로 나타났고 BM₁사료는 유효인의 계산치가 0.32%로서 BM₁P의 0.48%로 증가하여도 단백질 축적효율이 개선되지 않은 것은 어느 수준 이상의 인은 단백질 대사와는 관련이 없는 것으로 추측된다. 이러한 결과는 MCP를 1% 첨가하여 유효인의 계산치가 0.34% 이상으로 증가하여도 질소 축적효율이 개선되지 않았고 더 이상의 MCP첨가는 질소의 축적효율에 개선효과가 없었다는 보고(김과 김, 1995)와 같은 경향을 나타내었다. 그러나 질소의 축적효율이 변화되지않는 유효인의 함량에서 본 실험에서는 0.32% 수준이었고 김과 김(1995)의 앞선 실험에서는 0.34%로 거의 유사한 결과를 나타내었다.

Table 2-11에서는 kg 증체당 인의 섭취량, 배설량 및 축적효율에 대해 표시하였는데 사료내 인의 함량이 가장 높았던(1.64%) BM₂구가 25.5g으로 섭취량이 가장 많았고 BM₁P구가 20.4g으로 가장 적었으나($P < 0.05$) 나머지 실험구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$).

Kg증체당 축적된 인의 량은 2.7~4.2g의 범위를 나타내었으며 통계적 유의차는 없었으나($P > 0.05$), BM₁사료에 phytase를 첨가한 BM₁P구의 경우 인 축적량이 2.8g에서 4.2g으로 개선되는 경향이 있었다. Kg증체당 인 배설량은 BM₁P사료구가 16.2g으로 가장 적었고($P < 0.05$) 나머지 실험구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). BM₁사료에 phytase를 첨가한 BM₁P구의 경우 인 배설량이 21.0g에서 16.2g으로 감소되었고($P < 0.05$), 감소율은 23%정도로 나타났다. 이와 같은 결과는 Schafer 등(1995)의 실험에서도 보고되었는데, MCP를 0.82% 첨가한 사료보다 phytase를 첨가하였을 경우 인의 배설량이 33% 줄

어 들었다고 하였다. 단위 증체당 인 섭취량이 20.4g으로 가장 적었던 BM₁P구의 경우 인 배설량이 16.2g으로 가장 낮았는데 (P<0.05), 이는 단위 증체당 인 섭취량이 높을수록 오염율이 증가한다고 한 김과 우(1994)의 보고와 일치하였다. 이보다 앞선 연구에서 (Watanabe, 1991; 김, 1991, Kim과 Ahn, 1993; 김과 우, 1994; 원, 1993; 김과 김, 1995; Schafer 등, 1995) kg증체당 인 배설량은 적게는 5.0g (Schafer 등, 1995)에서 많게는 34.9g(원, 1993)의 변이를 나타내었는데 이것 역시 사료의 조정으로 인의 배설량을 줄일 수 있는 가능성을 보여준다고 하겠다.

Table 2-11. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	P(g) per Kg weight gain			P excretion(g) /Kg feed intake	PRE(%) ¹
	Fed	Retained	Excretion		
B	24.2±1.1 ^a	3.3±1.0	20.9±0.1 ^a	9.8±0.6 ^c	13.5±3.6 ^b
BP	25.1±2.2 ^a	3.7±1.3	21.4±3.4 ^a	10.9±0.9 ^c	15.3±6.4 ^{ab}
BM ₁	23.9±0.7 ^a	2.8±0.2	21.0±0.9 ^a	13.0±0.1 ^b	11.9±1.2 ^b
BM ₂	25.5±0.6 ^a	2.7±0.6	22.8±1.2 ^a	15.9±0.5 ^a	10.7±2.6 ^b
BM ₁ P	20.4±1.2 ^b	4.2±0.4	16.2±0.8 ^b	11.2±0.0 ^c	20.5±0.6 ^a
mean	23.8±1.3	3.3±0.8	20.5±1.7	12.2±0.5	14.4±3.5

¹PRE = phosphorus retained/phosphorus intake x 100.

^{a,b,c}Values(mean±SE of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

한편, 인 축적 효율(PRE)의 경우 10.7~20.5%의 범위를 나타내었는데 phytase의 첨가로 인한 인의 이용성 증가에 대해 검토할 때

기초사료(B)가 13.5%였고 BP구가 15.3%로 통계적인 유의차는 없었으나($P>0.05$) 개선된 경향이 나타났고, BM_1 구가 11.9%, 여기에 phytase를 첨가한 BM_1P 구가 20.5%로 개선된 결과를 나타내었고 ($P<0.05$), 개선정도는 42%나 되는 것으로 나타났다. MCP를 0.82% 첨가한 사료에 phytase를 500FTU 첨가한 경우 인의 축적효율이 35.8%에서 45.1%로 증가되어 26%의 개선효과가 있었다고 한 Schafer 등(1995)의 보고와 일치하는 경향을 나타내었다.

제4절 적요 및 결론

1. 대두박의 수준을 달리한 사료내 미생물 phytase의 첨가 효과(실험 1)

대두박 수준을 달리한 잉어사료에 미생물 phytase의 첨가가 잉어의 성장능력과 질소 및 인의 배설량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 개시체중 $92.2 \pm 1.9\text{g}$ 인 잉어 250미를 5처리 2반복으로 완전임의 배치하여 6주간의 사양실험을 실시하였다. 실험에 이용한 사료는 갈색어분 30%, 대두박 30%, 소맥분 35.28%로 구성된 기초사료에 대두박으로 어분을 25% 대체한 사료(S₂₅), 50% 대체한 사료(S₅₀) 75% 대체한 사료(S₇₅), 100% 대체한 사료(S₁₀₀)에 사료내 총인의 함량을 동일하게 하기 위하여 MCP를 각각 1%부터 시작하여 0.5%씩 점증시켰다. 기초사료구의 실험사료에 phytase를 500FTU씩 첨가하였고 어분의 수준이 감소함에 따른 메치오닌 및 라이신을 보충하기 위하여 각 0.1%씩 점증시켰으며, 또한 에너지의 감소분을 보충하기 위하여 어유(정어리유)를 각 0.5%씩 점증시켰다. 일일 3회 매회 섭취도가 떨어질 때 까지 급여하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

가. 증체량에서는 S₂₅ 및 S₅₀ 급여구가 각각 97.2g 및 101.5g으로 타 사료 급여구보다 우수하였고(P<0.05) 타 처리구간에는 유의차가 없었다(P>0.05). 사료요구율은 S₅₀구와 S₂₅급여구가 각각 1.38 및 1.47로 타 처리구보다 우수하였고(P<0.05), 대두박 대체수준이 50%이상으로 증가할수록 사료요구율이 증가하는 경향이 있었다.

나. 단백질 이용효율은 1.50~1.81의 범위를 나타내었고 처리구간 차이가 없었으나 S₅₀구가 1.81로 약간 높게 나타났다.

다. 체조직 조성에서는 개시어의 수분함량이 77.64%로서 종료어의 평균 75.6%보다 높았으며, 체중이 증가할수록 수분함량이 감소하는 경향을 보였다. 어체내 단백질 함량은 체중이 증가할수록 약간 증가하는 경향이 있었으며, 지방함량은 사료내 유효인 함량이 가장 낮았던 기초사료구가 7.94%로 가장 높게 나타났다($P < 0.05$). 인 함량은 0.44~0.54% 범위로 나타났다.

라. 증체 단위당 질소 배설량은 61.4~80.8g의 범위를 보였으며 처리구간 차이는 없었으나($P > 0.05$), 질소 섭취량의 다소에 따라 배설량도 약간씩 차이가 있는 것으로 나타났으며, S₅₀구가 기초사료구에 비해 질소 배설량에서 23% 정도 감소한 것으로 나타났다. 사료 섭취 kg당 질소 배설량은 S₅₀구가 44.4g으로 타 처리구에 비해 낮았으며($P < 0.05$), 기초사료구가 51.0g으로 S₂₅구(48.9g)를 제외한 타 처리구보다 많았고($P < 0.05$), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 사료 섭취량을 기준으로 할 때 S₅₀구가 기초사료구에 비해 질소 배설량이 13% 정도 감소된 것으로 나타났다.

마. Kg증체당 인 배설량은 13.0~16.3g 범위로 나타났고 S₅₀구가 13.0g으로 가장 우수하였고($P < 0.05$), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 어분을 대두박으로 50% 대체하고 phytase를 500FTU 첨가함으로써 인 배설량이 12% 감소한 것으로 나타났다.

이상의 결과는 어분을 대두박으로 50% 대체하고 MCP와 동시에 phytase를 첨가함으로써 증체량에 영향없이 오염원인 질소 및 인의 배설량을 각각 23%, 12% 줄일 수 있음을 나타내었다.

2. 대두박을 기초로한 사료내 미생물 phytase의 첨가 효과(실험 2)

대두박을 기초로한 사료에 microbial phytase의 첨가가 이스라엘잉어의 성장능력과 질소 및 인의 배설량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 평균 개시어체중 71.5g인 이스라엘잉어 250마리를 5처리 2반복으로 완전임의 배치하여 6주간의 사양실험을 실시하였다. 실험에 이용한 사료는 대두박, 갈색어분 및 소맥분을 위주로하여 배합한 기초사료(B)와 기초사료에 phytase 500FTU를 첨가한 BP구와, MCP를 1% 첨가한 BM₁구, MCP를 2% 첨가한 BM₂구, MCP 1%와 phytase 500FTU를 동시에 첨가한 BM₁P구로 일일 3회 매회 섭취도가 떨어질때 까지 급여하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

가. 기초사료에 phytase를 첨가한 BP구는 B구보다 증체량이 약간 개선되었으나 통계적 유의차가 없었고($P>0.05$), MCP 첨가구 및 MCP와 phytase를 동시에 첨가한 구는 증체량이 B 및 BP구에 비하여 개선되었다($P<0.05$). BM₁구에 phytase를 첨가한 BM₁P구는 증체량에서 유의적으로 개선되었으나($P<0.05$) BM₂구와는 차이가 없었다. 사료요구율에서는 기초사료에 비해 MCP와 phytase를 첨가한 구에서 개선된 결과가 나타났으나 B구를 제외한 처리구간에는 차이가 없었고, B 및 BP구 간에도 차이가 없었다.

나. 단백질 이용효율은 B 및 BP구가 각각 1.13, 1.24로 타 실험구(1.45-1.62)보다 낮았으며($P<0.05$), BM₁구는 1.45로 BM₂ 및 BM₁P구 1.62보다 낮았다($P<0.05$).

다. 체조직 조성에서는 개시어의 수분 77.9%로서 종료어 평균

74.2%보다 높았으며, 체중이 증가할수록 수분함량이 감소하는 경향이 있었다. 어체내 단백질 함량은 사료내 유효인의 함량이 많을수록 많았으나 지방함량은 단백질 함량과는 반대되는 경향이 있었다.

라. Kg증체당 질소 배설량은 B구가 118.7g으로 가장 많았고 ($P<0.05$), BM_1 , BM_2 및 BM_1P 가 각각 84.0g, 73.5g 및 74.6g으로 B 및 BP구보다 적었다($P<0.05$). Phytase의 첨가로 질소 배설량은 11~12% 감소되었다.

마. Kg증체당 인 배설량은 BM_1P 구가 16.2g으로 가장 적었고, 나머지 처리구간 (20.9-22.8)에는 차이가 없었다 ($P>0.05$). Phytase의 첨가로 인의 배설량은 23% 감소되었다.

이상의 결과는 microbial phytase 첨가로 사료내 식물성 원료에 함유되어있는 피틴태 인의 이용성이 개선됨을 보여주었다. 아울러, 사료내 MCP의 첨가와 동시에 phytase를 첨가하여 사료내 유효인의 함량을 요구량의 수준에 접근시킬수록 단백질의 이용효율과 질소 및 인의 이용효율이 개선되어 수중으로 배설되는 양이 줄어드는 것으로 나타났다. 그러나 미생물 인 분해효소의 역가를 감안하여 익스트루전 가공을 거치지 않았기 때문에 기초사료구의 성장능력이 저조하게 나타나 실제조건하에서의 인 분해효소 첨가효과에 대한 재조명이 있어야 할 것으로 보인다.

제3장 동물성 원료사료의 어분대체효과

제1절 연구사

어분은 양질의 아미노산 조성과 높은 기호성으로 인해 양어사료 내 주된 동물성 단백질급원으로서 이용된다(NRC, 1983). 그러나 어분의 가격은 비싸며, 증가하는 수요와는 반대로 그 생산량은 점차 감소될 전망이다(Rumsey, 1993). 하지만 이러한 어분의 사용상에 따른 문제점은 어분이 함유하고 있는 높은 인 함량에 있다. 국내에서 사용되는 어분의 인 함량은 2.5~3.5%로서 어류의 인 요구량보다 훨씬 높다(김 등, 1996c). 잉어사료내 이용되는 어분으로부터 유래된 인은 위산의 부재로 인해 그 이용성이 극히 낮아 사육수내로 거의 대부분 배설되게 된다. 이렇게 배설되는 인은 수중에서 유리되어 부영양화를 유발하게 될 것이다. 이미 전세계적으로 환경에 대한 관심고조와 함께 어류양식에 의한 수질오염을 줄이기 위한 연구가 계속되고 있는데(Cowey와 Cho, 1991), 그 중에서도 특히 인의 수중부하가 가장 많은 관심을 유발하고 있다(Hardy 등, 1993; Jacobsen과 Borresen, 1995; Cain과 Garling, 1995). 이러한 오염물질의 배설량을 줄이기 위한 방안으로 인의 함량이 낮은 원료사료 또는 인의 이용성이 높은 원료 또는 인 첨가제의 선택사용 등이 사료내 인 함량을 줄이는 방법으로 대두되고 있다.

사료내 인 함량을 줄이기 위하여 어분수준을 저하시키려고 할 때는 대체급원의 이용에 따른 어류의 성장저하가 유발되지 않아야 한다. 이를 위해서는 어분만큼 아미노산 조성이 양호하고 기호성이 뛰어난 원료사료를 확보하여야 하는데, 기호성이 떨어지는 식물성 원

료와는 달리 어류농축단백질(fish protein concentrate)이나 혈분(steam-dried blood meal)이 이용가능한 원료로 대두되고 있다. 어류농축단백질은 어업부산물로서 가수분해효소를 이용하여 제조되기 때문에 단백질의 이용율이 우수함과 동시에 유리된 아미노산에 의한 기호성이 개선되며, 제품생산의 최종단계에서 골격부분은 제거되기 때문에 단백질의 함량이 높고 인의 함량은 아주 낮게 유지된 장점을 지닌다(Bouchez와 Azzi, 1991). 어류농축단백질은 이미 오래전부터 지상가축의 초기성장단계에서 이용되었는데(Jenkins 등, 1982), 최근 연어초기사료에 있어 그 이용성이 입증되었다(Berge와 Storebakken, 1996). 그러나 생산가격이 높아 사료내 첨가량은 5% 이하로 제한되고 있다. 혈분은 도축부산물로서 어류농축단백질과 마찬가지로 단백질 조성이 우수하며 인 함량이 낮아 어분의 대체원으로서 가치가 있다. Luzier 등(1995)은 무지개 송어사료내 혈분에 의한 어분의 부분적인 대체는 성장율과 인 배설량의 저하에 효과적이라고 보고하였다. 최근, 송 등(1995)은 잉어용 사료내 어분의 혈분에 의한 완전대체 가능성을 보고했으나, 그 가격이 너무 비싸 사료내 이용수준은 제한적이다.

제2장의 실험 1과 2에서 대두박의 어분대체 수준이 증가할 경우 일인산칼슘이나 미생물 인분해효소의 첨가는 기초사료구에 비해 유의적인 성장 및 질소와 인의 이용에 있어 개선효과를 나타내긴 했으나, 이러한 결과는 근본적으로 기초사료구의 급여에 의한 성장이 부진했던데 기인하고 있다. 또한 첨가구의 개선효과가 나타나긴 했지만 지금까지의 타연구결과(Kim 등, 1995; 김과 김, 1995)에 비하면 질소나 인의 배설량이 상당히 높게 나타났는데, 그것은 미생물 인분해효소의 역가감안을 위해 실험사료가 익스트루전 가공이 아닌 펠렛으

로 가공되었기 때문에 기인한다고 볼 수 있다. 본 실험은 사료내 어분으로부터 유래하는 단백질의 25% 및 50%를 어류농축단백질과 혈분으로 각각 대체한 사료를 부상사료로 제조한후 급여하여 잉어의 성장과 오염부하량에 따른 동물성 단백질 급원의 어분대체 효과를 조사하고(실험 1), 시판사료와 저인사료의 오염도를 비교하고자(실험 2) 수행되었다.

제2절 재료 및 방법

1. 어류농축단백질 및 혈분의 어분대체효과(실험 1)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 평균 $20.3 \pm 0.44\text{g}$ (mean \pm SD)의 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*) 700마리를 사용하였으며, 강원대학교 축산대학 축산학과 부속 어류영양연구실에서 10일간의 적응기간을 거친 후 6주간 사양실험을 실시하였다. 실험사료는 갈색어분 25%를 함유한 기초사료, 어류농축단백질(FPC)로서 어분으로 공급되는 단백질을 25% 및 50% 대체한 FPC₂₅ 및 FPC₅₀ 사료 그리고 혈분(BM)으로서 25% 및 50% 대체한 BM₂₅ 및 BM₅₀ 사료 5종이었다. 어분과 어류농축단백질 및 혈분은 화학적 분석후 단백질 비율로 대체하였다. 혼합된 실험사료는 Wenger Extruder X-185(photo-2)를 이용하여 부상사료로 제조하였으며, 실험사료의 구성 및 화학적 조성은 Table 3-1에 나타난 바와 같다. 5처리 2반복으로(70마리/반복) 완전임의 배치하였다.

나. 사양관리

순환여과식 사육장치 및 수질은 제2장에서 전술된 바와 같았으며, 수온은 전 실험기간동안 26~28℃의 범위로 유지되었다. 실험에 사용된 사육조는 여과수가 최초 및 마지막으로 유입되는 두 사육조를 제외한 10개였으며, 실험어류는 사육조에 잘 적응하여 한마리의 폐사어도 발생하지 않았다. 실험사료는 일일 3회씩 10:00 13:00 및 16:00에 매회 섭취도가 떨어질때까지 급여하였다.

다. 조사 항목

제2장에서 전술한 바와 같았다.

라. 분석 방법

실험사료 및 어체의 일반성분(Table 3-1) 및 결과의 통계적 분석은 제2장에 전술한 바와 동일하였다. 실험의 개시시 15마리 및 종료시에 반복당 5마리의 잉어를 임의로 채취한후 육골분쇄기를 이용 파쇄하여 잘 섞은후 약 20g정도의 시료를 취하여 분석에 이용하였다. 사료내 아미노산 분석은(Table 3-2) 시료 1g을 6N HCl로 105℃에서 24시간 가수분해한 다음 PITC(Phenylisothiocyanate) 유도체 시약으로 반응시켜 적절히 희석시킨 다음 HPLC(Waters, USA)로 정량하였다.

Table 3-1. Composition of the experimental diets

Ingredient(%)	Diet				
	Basal	FPC ₂₅	FPC ₅₀	BM ₂₅	BM ₅₀
Brown fish meal	25.0	18.0	12.5	18.5	12.5
Fish protein conc.	-	5.8	11.5	-	-
Blood meal	-	-	-	5.0	9.5
Wheat flour	19.1	19.0	20.1	21.6	23.7
Soybean meal	48.0	49.3	48.0	47.0	46.4
Fish oil	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
MCP ¹	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
P-free vit.min.mix ²	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
<i>Chemical composition(%)</i>					
Moisture	11.19	13.52	9.66	14.33	13.08
C. protein ³	45.29	47.11	45.87	47.33	46.18
C. fat ³	9.02	9.83	9.93	8.50	7.26
C. ash ³	9.33	8.64	8.01	8.63	7.87
TCHO ^{3,4}	36.36	34.42	36.19	35.54	35.69
Ca ³	2.05	2.07	2.20	2.31	1.98
P ³	1.51	1.43	1.15	1.40	1.30
G. energy(kcal/g) ⁵	490.00	499.96	501.19	493.25	488.01

¹Monocalcium phosphate, Cefkaphos[®], BASF, Germany.

²Supplied the following amounts per kilogram of diet : vitamin A, 40,000 IU; vitamin D₃, 8,000 IU; vitamin E, 80 mg; thiamin, 16 mg; riboflavin, 24 mg; pyridoxine, 16 mg; vitamin B₁₂, 0.16 mg; pantothenic acid, 56 mg; niacin, 120 mg; biotin, 1.33 mg; vitamin C, 80 mg; choline, 750 mg; Mg, 240 mg; Mn, 60 mg; Zn, 120 mg; Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

³g/100g DM.

⁴TCHO = fiber + nitrogen free extracts

⁵Calculated based on the energy content of protein, fat and TCHO being 5.64, 9.44 and 4.11 kcal/g, respectively.

Table 3-2. Amino acid composition of the experimental diets(g/100g DM)

Amino acid	Basal	FPC ₂₅	FPC ₅₀	BM ₂₅	BM ₅₀
Asp	3.32	3.86	3.55	3.69	4.30
Glu	6.93	6.90	7.08	6.44	7.65
Ser	1.94	2.00	1.31	1.91	2.22
Gly	2.15	2.22	2.21	2.02	2.14
His	1.27	1.21	1.12	1.36	1.63
Arg	2.43	2.40	2.17	2.16	2.35
Thr	1.80	1.85	1.77	1.89	2.06
Ala	2.28	2.27	2.09	2.18	2.46
Pro	2.39	2.34	2.21	2.27	2.26
Tyr	1.21	1.23	1.09	1.10	1.22
Val	1.60	1.71	1.52	1.74	2.10
Met	0.76	0.82	0.67	0.71	0.93
Cys	0.22	0.26	0.20	0.13	0.14
Ileu	1.35	1.53	1.40	1.33	1.27
Leu	2.54	2.57	2.30	2.57	3.10
Phe	1.68	1.76	1.58	1.74	2.05
Lys	2.78	2.73	2.50	2.67	3.20

2. 시판사료와의 성장도 및 오염도 비교(실험 2)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 $65.2 \pm 0.79\text{g}$ (mean \pm SD)의 이스라엘 잉어 (*Cyprinus carpio*) 480마리를 사용하였으며, 10일간의 적응기간을 거친 후 4주간 사양실험을 실시하였다. 실험사료는 시판사료 3종류(EP사료)와 Wenger Extruder X-185를 이용하여 제조된 3종류의 실험사료(Table 3-3) 총 6종이었다. 6처리 2반복으로(40마리/반복) 완전임의 배치하였다.

나. 사양관리

실험 1에 전술한 바와 동일하였다.

다. 조사항목

제2장에서 전술한 바와 같았다.

Table 3-3. Composition of the experimental diets

Ingredient(%)	Diet					
	A	B	C	D	E	F
Brown fishmeal				13.00	10.00	12.50
Fish protein conc.				-	5.00	11.50
Soybean meal				53.00	48.00	48.00
Wheat flour				27.00	28.78	20.08
Sardine oil				5.00	5.00	5.00
P-free vit.min. mix. ¹	closed			0.90	1.20	1.40
Antioxidant				0.02	0.02	0.02
MCP ¹				1.00	2.00	1.50
Mold inhibitor				0.07	-	-
Natuphos [®] 5000 ¹				0.01	-	-
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<i>Chemical composition(%)</i>						
Moisture	8.8	7.3	10.8	12.3	12.7	10.9
C. protein ¹	44.0	43.3	42.3	43.0	40.0	46.2
C. fat ¹	7.9	7.1	7.5	8.9	9.6	10.4
C. ash ¹	9.8	9.1	7.3	7.3	7.6	7.9
TCHO ¹	38.3	40.5	42.9	40.8	42.8	35.5
Ca ¹	2.30	2.27	1.50	1.55	1.51	1.71
P ¹	1.72	1.43	1.17	1.14	1.35	1.32
G. energy(kcal/g) ¹	480.1	477.7	485.7	494.2	492.1	504.6

¹Refer to Table 3-1.

라. 분석방법

실험사료 및 어체의 일반성분(Table 3-3) 및 결과의 통계적 분석은 제2장에 전술한 바와 동일하였다. 실험의 개시시 15마리 및

종료시에 반복당 5마리의 잉어를 임의로 채취한후 육골분쇄기를 이용하여 파쇄하여 잘 섞은후 약 20g정도의 시료를 취하여 분석에 이용하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 어류농축단백질 및 혈분의 어분대체효과(실험 1)

가. 증체 및 사료이용효율

실험사료는 Table 3-1에서 보는 바와 같이 건물기준으로 조단백질 함량은 45.3~47.3%의 변이를 보이고 있으며, 지방은 8.5~9.9%, 인 함량은 1.2~1.5%의 범위를 나타내고 있다. 어류농축 단백질(FPC)로 갈색어분의 단백질을 50%대체한 FPC₅₀사료가 인(P) 함량이 1.15%로 가장 낮게 나타났다. 메치오닌 함량은 0.67%(FPC₅₀)에서 0.93%(BM₅₀)의 범위를 보였으며, 라이신은 2.50%(FPC₅₀)에서 3.20%(BM₅₀)의 범위를 보였는데, 혈분의 첨가비율이 높았던 BM₅₀구에서 대체로 높게 나타났다(Table 3-2).

개시체중에서 FPC₂₅구가 20.8g으로 FPC₅₀구 19.4g보다 유의적으로 높았으나($P < 0.05$), 타처리구 간에는 차이가 없었다. 실험사료를 6주간 급여한 결과 증체량에서 FPC₅₀구와 BM₂₅구가 각각 38.3g 및 39.0g으로 BM₅₀구(31.9g)보다 유의적으로 우수하였으나($P < 0.05$), 기초사료구 및 FPC₂₅구와는 차이가 없었고, 기초사료구, FPC₂₅구 및 BM₅₀구 간에도 차이가 없었다($P > 0.05$). 사료섭취량에서는 34.7~36.2g으로 차이가 없었다. 사료요구율에서는 증체량에서 나타난 결과와 같이 FPC₅₀구와 BM₂₅구가 각각 0.91 및 0.93으로 BM₅₀구(1.13)보다 우수하게 나타났으나($P < 0.05$), 기초사료구 및 FPC₂₅구와는 차이가 없었고, 기초사료구, FPC₂₅구 및 BM₅₀구 간에도 차이가 없었다($P > 0.05$). 일일성장지수(DGI)에서도 FPC₅₀구와 BM₂₅구가 각각 2.79 및 2.78로 BM₅₀구(2.38)보다 우수하였으나($P < 0.05$), 기초사료구 및 FPC₂₅구와는 차이가 없었고, 기초사료구, FPC₂₅구 및 BM₅₀구 간에도

차이가 없었다 ($P>0.05$). 일일사료섭취율 (DFR)에서는 BM_{50} 구가 2.69%로 FPC_{50} 구 2.37%보다 높았으나 ($P<0.05$), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다.

Table 3-4. Growth and feed utilization of fish fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Initial wt. <i>g/fish</i>	Wt. gain <i>g/fish</i>	F. intake <i>g DM/fish</i>	FCR ¹	DGI ² %	DFR ³ %
Basal	20.4 ^{ab}	34.4 ^{ab}	34.7 ^{ns}	1.01 ^{ab}	2.53 ^{ab}	2.47 ^{ab}
FPC_{25}	20.8 ^a	35.9 ^{ab}	35.8	1.00 ^{ab}	2.60 ^{ab}	2.54 ^{ab}
FPC_{50}	19.4 ^b	38.3 ^a	34.7	0.91 ^b	2.79 ^a	2.37 ^b
BM_{25}	20.4 ^{ab}	39.0 ^a	36.2	0.93 ^b	2.78 ^a	2.52 ^{ab}
BM_{50}	20.6 ^{ab}	31.9 ^b	36.0	1.13 ^a	2.38 ^b	2.69 ^a
sem ⁴	0.49	1.94	0.92	0.06	0.11	0.09

¹Feed conversion ratio = dry feed intake/wet wt. gain.

²Daily growth index = $100[(\text{final wt.})^{1/2} - (\text{initial wt.})^{1/2}]/\text{feeding days}$.

³Daily feeding rate = $(\text{feed intake}/42) \times 100/[(\text{initial wt.} + \text{final wt.})/2]$.

⁴Standard error of means.

^{ab}Values (means of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$); ns = nonsignificant.

어류농축단백질 (FPC)로서 어분으로 공급되는 단백질을 대체하는 것은 증체량 및 사료요구율 및 일일성장지수와 같은 성장능력에 대한 개선효과는 거의 없는 것으로 나타났으며, 혈분으로서 어분단백질을 50% 대체한 (BM_{50}) 결과 25% 대체한 것 (BM_{25})보다 저조하였던 것은 혈분 내의 영양소 이용율이 좋지 못한 것에 기인된 것으로 추정되나 본 실험에서 50% 이상을 대체해 보지 않아 정확한 결론을 맺기 어려운 실정이다.

나. 체조직 조성

Table 3-5에는 개시어 및 실험에 사용하였던 어류의 체조직 조성을 나타내었다. 개시어의 수분함량은 77.2%로 BM₂₅구 보다 유의적으로 높게 나타났으나(P<0.05), 나머지 처리구 간에는 75.3~77.2%로 차이가 없었다(P>0.05). 체중이 증가할수록 수분함량이 줄어든다는 보고(Gerking, 1955; Brown, 1957)와는 상이한 결과를 나타내었으나 약간 감소하는 경향은 나타났다. 단백질 함량은 개시어가 13.8%로 FPC₅₀구(14.8%)보다 낮았으나(P<0.05) 타 처리구와는 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 지방함량은 개시어가 4.0%로 기초사료구(4.9%)를 제외한 타 처리구보다 낮았으며(P<0.05), FPC₂₅, FPC₅₀ 및 BM₂₅구가 각각 5.9%, 6.0% 및 6.1%로 BM₅₀구를 제외한 타 처리구보다 높게 나타났다(P<0.05).

Table 3-5. Whole body composition of fish fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P
Basal	76.3±0.54 ^{ab}	14.4±0.31 ^{ab}	4.9±0.47 ^{bc}	2.4±0.19 ^b	0.8±0.06 ^{ns}	0.48±0.04 ^{ns}
FPC ₂₅	75.7±0.32 ^{ab}	14.6±0.17 ^{ab}	5.9±0.14 ^a	2.3±0.10 ^b	0.8±0.03	0.47±0.01
FPC ₅₀	75.8±0.25 ^{ab}	14.8±0.08 ^a	6.0±0.34 ^a	2.2±0.04 ^b	0.8±0.02	0.46±0.02
BM ₂₅	75.3±0.13 ^b	14.6±0.04 ^{ab}	6.1±0.16 ^a	2.3±0.03 ^b	0.8±0.03	0.44±0.01
BM ₅₀	76.7±0.81 ^{ab}	14.7±0.17 ^{ab}	5.6±0.20 ^{ab}	2.2±0.10 ^b	0.8±0.02	0.46±0.01
Initial	77.2±0.07 ^a	13.8±0.17 ^b	4.0±0.15 ^c	2.6±0.33 ^a	0.9±0.07	0.54±0.05

^{abc}Values(means±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significant different(P<0.05); ns = nonsignificant.

회분함량은 개시어가 2.6%로 타 처리구보다 높게 나타났으며(P<0.05), 나머지 처리구 간에는 2.2~2.4%로 차이가 없었다

($P>0.05$). 칼슘함량은 개시어 0.9%, 처리구 0.8%로 차이가 없었으며, 인 함량도 0.44~0.54%로 차이가 없었다($P>0.05$). 이러한 사실은 어체내 인 함량은 생체 단위당 0.4~0.5%로서 상대적으로 일정한 수준으로 유지된다는 보고(Lall, 1991; 김, 1994; 김과 김, 1994; 김과 김, 1995; Kim 등, 1995)와 일치하는 결과를 나타내었다.

Table 3-6. Nitrogen(N) utilization of fish fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	N intake <i>g/fish</i>	PER ¹	N gain <i>g/fish</i>	NRE ² %	N excretion <i>g/kg wt.gain</i>
Basal	2.51 ^b	2.19 ^{ab}	0.81 ^b	32.1 ^{bc}	49.8 ^{ab}
FPC ₂₅	2.70 ^{ab}	2.13 ^{ab}	0.87 ^{ab}	32.2 ^{bc}	50.9 ^{ab}
FPC ₅₀	2.55 ^b	2.40 ^a	0.94 ^a	36.8 ^a	42.0 ^b
BM ₂₅	2.74 ^a	2.28 ^a	0.94 ^a	34.2 ^{ab}	46.4 ^b
BM ₅₀	2.66 ^{ab}	1.92 ^b	0.78 ^b	29.2 ^c	59.2 ^a
sem	0.07	0.11	0.05	1.63	4.14

¹Protein efficiency ratio = weight gain/protein intake.

²Nitrogen retention efficiency = N gain/N intake x 100.

^{abc}Values(means of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$).

다. 질소 및 인의 축적효율과 배설량

질소 이용 효율에 대해서는 Table 3-6에 나타내었다. 질소 섭취량은 BM₂₅구가 2.74g으로 기초사료구(2.51g) 및 FPC₅₀구(2.55g)보다 많았으나($P<0.05$) 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다($P>0.05$). FPC₂₅ 및 BM₂₅구가 질소 섭취량이 높게 나타난 것은 사료내 조단백질 함량이 각각 47.1% 및 47.3%로 타 사료보다 높았던 것에 기인한 것으로 보이며, 질소 섭취량은 사료내 단백질 함량과

비례적으로 증가하는 경향이 나타났다. 단백질 이용효율(PER)은 FPC₅₀ 및 BM₂₅구가 각각 2.40 및 2.28로 BM₅₀구(1.92)보다 우수하였으나($P < 0.05$), 나머지 처리구간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). BM₅₀구가 BM₂₅구보다 저하된 것은 혈분 단백질의 이용효율이 낮은 것에 기인된 것으로 보인다.

질소 증가량(N gain)은 FPC₅₀ 및 BM₂₅구가 0.94g으로 기초사료구(0.81g) 및 BM₅₀구(0.78g)보다 많았으나($P < 0.05$) FPC₂₅(0.87g)구와는 차이가 없었고, 기초사료구, FPC₂₅ 및 BM₅₀구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 질소축적효율(NRE)은 FPC₅₀구가 36.8%로 BM₂₅(34.2%)를 제외한 타 처리구보다 우수하였고($P < 0.05$), BM₂₅구가 29.2%로 기초사료구(32.1%) 및 FPC₂₅구(32.2%)를 제외한 타 처리구보다 저조하였다($P < 0.05$). 증체 kg당 질소 배설량은 BM₅₀구가 59.2g으로 FPC₂₅(50.9g) 및 기초사료구(49.8g)를 제외한 타 처리구보다 많았으며($P < 0.05$), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었으나($P > 0.05$) FPC₅₀구가 42.0g으로 대체적으로 낮게 나타났다. 또한 FPC₅₀구가 42.0g으로 비록 BM₅₀구를 제외한 타 처리구와는 차이가 없었으나 어류농축단백질의 이용효율과 사료의 에너지함량이 Table 3-1에서 보는 바와 같이 501.2kcal/g으로 높았던 사실에 연관된 것으로 추정되며, 질소의 배설량과 사료내 단백질 및 에너지함량과의 상관관계에 대해서는 추가적인 연구가 이뤄져야 할 것으로 보인다.

실험사료를 6주간 급여한 어류의 인 이용효율은 Table 3-7에 나타내었다. 인 섭취량(P intake)은 기초사료구, FPC₂₅구 및 BM₂₅구가 각각 0.52g 및 0.51g으로 타 처리구에 비해 많았으며($P < 0.05$), BM₅₀구가 0.47g으로 앞의 세 처리구보다 적었고($P < 0.05$), FPC₅₀구가 0.4g으로 가장 적었다($P < 0.05$). 기초사료구, FPC₂₅ 및

BM₂₅구가 인 섭취량이 많았던 것은 Table 3-1에서 알 수 있듯이 각 사료의 인 함량이 각각 1.51%, 1.43% 및 1.40%로 타 사료보다 많았던 것에 기인된 것으로 추정된다.

Table 3-7. Phosphorus(P) utilization of fish fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	P intake <i>g/fish</i>	P gain <i>g/fish</i>	PRE ¹ %	P excretion <i>g/kg wt. gain</i>
Basal	0.52 ^a	0.15 ^a	29.2 ^{ab}	10.8 ^a
FPC ₂₅	0.51 ^a	0.15 ^a	30.1 ^{ab}	10.0 ^{ab}
FPC ₅₀	0.40 ^c	0.13 ^b	33.0 ^a	7.0 ^c
BM ₂₅	0.51 ^a	0.15 ^a	29.8 ^{ab}	9.2 ^b
BM ₅₀	0.47 ^b	0.13 ^b	27.9 ^b	10.6 ^a
sem	0.01	0.01	1.70	0.80

¹Phosphorus retention efficiency = P gain/P intake x 100.

^{a,b,c}Values(means of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significant different(P<0.05).

인 증가량(P gain)은 기초사료구, FPC₂₅ 및 BM₂₅구가 0.15g으로 타 처리구보다 많았으며(P<0.05), FPC₅₀ 및 BM₅₀구가 0.13g으로 타 처리구에 비해 적었다(P<0.05). 인 증가량도 섭취량에 비례하여 증가하였는데 이는 함유된 원료사료내 인 이용성이 비슷하였던 것 때문일 것으로 추측된다. 인 축적효율(PRE)은 FPC₅₀구가 33.0%로 BM₅₀구 27.9%보다 유의적으로 높았으나(P<0.05), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다(P>0.05). 증체 kg당 인 배설량은 FPC₅₀구가 7.0g으로 가장 적었으며(P<0.05), BM₂₅구가 9.2g으로 두 번째로 낮게 나타났으나(P<0.05) FPC₂₅구(10.0g)와는 차이가 없었고(P>0.05) 기초사료구 및 BM₅₀구가 각각 10.8g 및 10.6g으로 FPC₂₅구와 더불어

어 타 처리구보다 높게 나타났다($P < 0.05$). 기초사료구에서 어분단백질을 혈분으로 25% 대체한 결과 인 배설량은 10.8g에서 9.2g으로 유의적으로 감소하였으나 대체수준이 50%로 증가한 결과 10.6g으로 기초사료구와 동일한 수준으로 많아졌다. 따라서 혈분으로 어분단백질을 대체하는 수준을 50% 이하로 하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

본 실험결과 어류농축단백질로서 어분을 대체한 결과 증체 kg당 질소 배설량에는 차이가 없었으며, 질소 배설량을 줄이기 위해서는 사료내 에너지, 단백질의 비율을 조정함으로써 가능한 부분이라 추정된다. 인 배설량에 있어서는 어류농축단백질로서 어분으로 공급되는 단백질을 50%까지 대체함으로써 인 배설량을 35%까지 낮출 수 있었으며, 혈분으로 어분단백질을 25% 대체한 결과 인 배설량을 약 15%까지 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 인 함량이 어분보다 낮은 동물성 단백질 공급원으로서 어분을 대체하면서 사료내 에너지, 단백질의 비율을 조정하여 저오염사료를 제조하는 것이 가능할 것으로 보이며, 질소의 배설량을 줄이기 위해서는 추가적인 연구가 뒤따라야 할 것이다.

2. 시판사료와의 성장 및 오염도 비교(실험 2)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

Table 3-3에서 보는 바와 같이 실험사료에서 시판사료 A, B 및 C사료는 조단백질 함량이 각각 건물기준으로 44.0, 43.3 및 42.3%로 나타났으며, D, E 및 F사료는 43.0, 40.0% 및 46.2%로 나타났다. 인 함량은 시판사료 A 및 B가 1.72% 및 1.43%로 타 사료보다 높게 나타났으며, 이의 원인은 어분의 사용량이 많았던 것으로 추정되는데, 이것은 실험사료 D, E 및 F사료의 경우 갈색어분을 13%, 10% 및 12.5% 사용하고 MCP를 각각 1.0%, 2.0% 및 1.5% 첨가한 사료에서 회분함량이 7.3%, 7.6% 및 7.9%인데 비해 A 및 B 시판사료의 회분함량은 9.8% 및 9.1%로 상대적으로 높은 것에서 유추할 수 있다.

Table 3-8에는 사양성적을 나타내었는데 마리당 사료섭취량에서는 어류농축단백질(FPC)을 11.5% 함유한 사료(F) 급여구가 40.1g으로 가장 적었고($p < 0.05$), A사료 급여구가 47.5g으로 가장 많은 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 타 처리구 간에는 차이가 없었다($p > 0.05$). 증체량에서는 F사료 급여구가 45.0g으로 가장 우수하였다($p < 0.05$). A 및 E사료 급여구가 각각 42.0g, 41.6g으로 B, C 및 D사료 급여구 38.0~38.9g에 비해 우수하게 나타났다($p < 0.05$). B, C 및 D사료 급여구는 38.0~38.9g으로 이들 간에는 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

사료섭취량(건물)/증체량으로 표시한 사료요구율(FCR)에서는 FPC를 함유한 F사료 급여구가 0.89로 타 사료급여구보다 우수하게($p < 0.05$) 나타났으며, A, B, C 및 D사료 급여구 간에는 차이가 없

었다($p>0.05$). E사료 급여구는 1.05로 A, B 및 C사료 급여구보다 우수하였으나($p<0.05$), D사료 급여구(1.10)와는 유의차가 없었다($p>0.05$). F사료의 경우 사료섭취량이 40.1g으로 가장 낮았던데 비하여 증체량이 45.0g으로 가장 우수하여 사료요구율이 0.89로 유익적으로 우수하게 나타났다. F사료 급여구가 타사료 급여구보다 사료요구율이 우수하였던것에 대한 한가지 원인으로 Table 3-3에서 보듯이 F사료의 에너지 함량이 504.6kcal/g으로 타사료에 비해 상대적으로 높았던 것을 들 수 있을 것이다.

Table 3-8. Growth and feed utilization of fish fed the experimental and commercial diets for 4 weeks

Diet	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	F. intake g DM/fish	FCR ¹	DGI ² %	DFR ³ %
A	64.6 ^{ns}	42.0 ^b	47.5 ^a	1.13 ^a	2.60 ^{ab}	1.98 ^a
B	65.1	38.0 ^c	43.8 ^b	1.15 ^a	2.37 ^c	1.86 ^b
C	65.1	38.4 ^c	43.6 ^b	1.14 ^a	2.39 ^c	1.85 ^b
D	65.6	38.9 ^c	42.6 ^b	1.10 ^{ab}	2.41 ^c	1.79 ^b
E	65.8	41.6 ^b	43.9 ^b	1.05 ^b	2.55 ^{bc}	1.81 ^b
F	65.1	45.0 ^a	40.1 ^c	0.89 ^c	2.74 ^a	1.63 ^c
sem ⁴	0.93	1.07	0.88	0.03	0.07	0.04

¹Feed conversion ratio = dry feed intake/wet wt. gain.

²Daily growth index = $100\{(\text{final wt.})^{1/2} - (\text{initial wt.})^{1/2}\}/\text{feeding days}$.

³Daily feeding rate = $(\text{feed intake}/42) \times 100 / \{(\text{initial body wt.} + \text{final body wt.})/2\}$.

⁴Standard error of means.

^{abc}Values (means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$); ns = nonsignificant.

일일성장지수(DGI)는 F사료 급여구가 2.74로 A사료 급여구(2.60)와 함께 가장 우수하게 나타났으나($p<0.05$), A사료 급여구 및

E사료 급여구(2.55)간에는 차이가 나타나지 않았고($p>0.05$), 이외의 타 처리구 간에는 차이가 없었다($p>0.05$). 일일사료섭취율(DFR)에서는 A사료 급여구가 1.98%로 가장 많은 것으로 나타났고($p<0.05$), F사료 섭취율은 1.63%로 가장 낮게 나타났으며($p<0.05$), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다($p>0.05$).

나. 체조직 조성

어류의 체조직 조성은 Table 3-9에 나타내었다. 수분함량에서는 A사료 급여구가 75.9%로 가장 높았으며($p<0.05$), F사료 급여구가 75.4%로 두 번째로 높게 나타났다($p<0.05$). E사료 급여구가 73.2%로 가장 낮게 나타났으나($p<0.05$), 처리구간 설명 가능한 특정한 경향치는 없었으며, 체중이 증가할수록 수분함량이 감소한다는 일반적인 사실(Gerking, 1955; Brown, 1957)과는 상이한 결과를 나타내었다.

Table 3-9. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 4 weeks

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P
A	75.9±0.10 ^a	15.3±0.08 ^a	5.9±0.28 ^{cd}	2.2±0.04 ^{ns}	0.90±0.03 ^{bc}	0.47±0.02 ^{ab}
B	74.4±0.29 ^c	14.6±0.07 ^b	6.8±0.12 ^{ab}	2.4±0.08	0.96±0.04 ^{abc}	0.45±0.01 ^{ab}
C	74.3±0.13 ^c	15.0±0.22 ^a	6.4±0.10 ^{bc}	2.4±0.13	0.84±0.03 ^c	0.49±0.04 ^{ab}
D	74.6±0.16 ^c	15.3±0.13 ^a	6.9±0.14 ^{ab}	2.4±0.11	1.02±0.04 ^{ab}	0.43±0.02 ^b
E	73.2±0.11 ^d	15.2±0.16 ^a	7.3±0.24 ^a	2.6±0.09	1.00±0.06 ^{ab}	0.47±0.01 ^b
F	75.4±0.11 ^b	14.9±0.10 ^{ab}	5.8±0.05 ^d	2.5±0.11	1.05±0.02 ^a	0.52±0.01 ^a
Initial	74.4±0.03 ^c	15.1±0.11 ^a	7.2±0.13 ^a	2.3±0.24	0.90±0.01 ^{bc}	0.50±0.03 ^{ab}

^{a,b,c,d}Values(means±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$); ns = nonsignificant.

단백질 함량은 B사료 급여구가 14.6%로 F사료 급여구 (14.9%)를 제외한 타 사료급여구보다 낮게 나타났으나($p < 0.05$), 타 사료 급여구 및 개시어 간에는 14.9~15.3%로 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 지방함량은 개시어가 7.2%였고 B, D 및 E사료 급여구가 각각 6.8%, 6.9% 및 7.3%로 타 사료급여구보다 높게 나타났으나 ($p < 0.05$), 이들 처리구간에는 차이가 없었다($p > 0.05$). F사료 급여구가 5.8%로 A사료 급여구(5.9%)를 제외한 타 처리구보다 낮게 나타났 다($p < 0.05$).

Table 3-10. Nitrogen(N) utilization of fish fed the experimental diets for 4 weeks

Diet	N intake <i>g/fish</i>	PER ¹	N gain <i>g/fish</i>	NRE ² %	N excretion <i>g/kg wt. gain</i>
A	3.35 ^a	2.01 ^b	1.06 ^a	31.6 ^{bc}	54.6 ^{ab}
B	3.03 ^b	2.01 ^b	0.84 ^c	27.7 ^c	57.6 ^a
C	2.95 ^{bc}	2.09 ^b	0.92 ^{bc}	31.1 ^{bc}	52.9 ^{ab}
D	2.93 ^{bc}	2.12 ^b	0.98 ^{ab}	33.4 ^{ab}	50.3 ^b
E	2.80 ^c	2.38 ^a	1.03 ^{ab}	36.9 ^a	42.5 ^c
F	2.96 ^b	2.43 ^a	1.06 ^a	35.7 ^{ab}	42.4 ^c
sem	0.06	0.06	0.05	1.86	2.57

¹Protein efficiency ratio = weight gain/protein intake.

²Nitrogen retention efficiency = N gain/N intake x 100.

^{abc,d}Values(means of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P < 0.05$).

회분함량에서는 개시어를 비롯한 전 처리구에서 2.2~2.6%의 범위로 차이가 없었다($p > 0.05$). 칼슘함량은 C사료 급여구가 0.84%로 A, B, C사료 급여구 및 개시어를 제외한 타 처리구보다 낮

게 나타났으나($p < 0.05$) 경향치는 나타나지 않았다. 인 함량은 F사료 급여구가 0.52%로 D 및 E사료 급여구보다 많았으나($p < 0.05$), 나머지 처리구간에는 차이가 없었다($p > 0.05$). 전체적으로 볼 때 인 함량은 0.45~0.52%의 범위로 나타났다. 이러한 사실은 어체내 인 함량은 생체 단위당 0.4~0.5%로서 상대적으로 일정한 수준으로 유지된다는 보고(Watanabe 등, 1987; Lall, 1991; 김, 1994; 김과 김, 1994; 김과 김, 1995; Kim 등, 1995)와 일치하는 결과를 나타내었다.

다. 질소 및 인의 축적효율과 배설량

Table 3-10에서는 질소섭취량, 단백질 이용효율(PER), 질소증체량, 질소축적효율(NRE) 및 kg증체당 질소배설량을 나타내었다. 질소섭취량에서 A사료 급여구가 3.35g으로 가장 높게 나타났으며($p < 0.05$), B사료 급여구는 3.03g으로 C, D 및 F사료 급여구와는 차이가 없었고($p > 0.05$), E사료 급여구가 2.80g으로 가장 낮게 나타났으나($p < 0.05$), C 및 D사료 급여구와는 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 사료내 단백질 함량이 건물기준으로 44.0%였던 A사료 급여구에서 질소섭취량이 가장 높게 나타난 것은, 건물사료 섭취량이 47.5g으로 가장 높게 나타난 것에 기인한 것으로 보인다.

단백질 이용효율은 F사료 급여구가 2.43으로 E사료 급여구 2.38과 함께 타 사료 급여구보다 우수한($p < 0.05$) 것으로 나타났으며 타 사료 급여구는 2.01~2.13의 범위로 차이가 없었다($p > 0.05$). E 및 F 사료 급여구의 단백질 이용효율이 우수하였던 원인은 가용성 어류농축단백질인 FPC의 첨가에 기인한 것으로 보인다. 마리당 질소증가량은 A, D, E 및 F사료 급여구가 0.98~1.06g의 범위로 처리구간 차이가 없었으며($p > 0.05$), B사료 급여구가 0.84g으로 C사료 급여

구 0.92g을 제외한 타 사료 급여구보다 낮았다($p < 0.05$).

질소축적효율(NRE)은 E사료 급여구가 36.9%로 F(35.7%) 및 D사료 급여구(33.4%)를 제외한 타 사료 급여구보다 우수하였으며($p < 0.05$), B사료 급여구는 27.7%로 A(31.6%) 및 C사료 급여구(31.1%)와 더불어 낮게 나타났으며, 세 처리구 간에는 차이가 없었다($p > 0.05$). 증체 kg당 질소 배설량은 B사료 급여구가 57.6g으로 D, E 및 F사료 급여구보다 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.05$), E 및 F사료 급여구가 각각 42.5g 및 42.4g으로 타 처리구보다 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 이것은 질소 축적효율의 개선효과에 기인한 것으로 보이며, 사료내 에너지 함량에서 F사료(504.6kcal/g)보다 낮았지만 단백질 함량이 상대적으로 낮았기 때문에 질소 배설량이 유의적으로 낮았던 것으로 추정된다. 한편, A, B 및 C사료는 단백질 함량은 D사료와 비슷하였으나 총에너지 함량이 477~485kcal/g으로 D 및 E사료보다 낮아 질소 배설량이 많았던 것으로 보인다. 질소나 인과 같은 오염물질의 배설량을 줄이기 위해서는 사료요구율의 개선이 가장 우선적인 것으로서, F사료의 경우 사료요구율이 0.89로 가장 우수함에 따라 사료내 단백질의 함량에 관계없이 질소 배설량이 처리구중 가장 낮은 결과를 보였다.

실험사료를 4주간 급여한 어류의 인 이용효율은 Table 3-11에 나타내었다. 인 섭취량은 A사료 급여구가 0.82g으로 가장 많았으며($p < 0.05$), B사료 급여구가 0.63g, E사료 급여구가 0.59g 순으로 유의적으로 많았다($p < 0.05$). D사료 급여구는 0.49g으로 C사료 급여구(0.51g)를 제외한 타 사료급여구보다 적었다($p < 0.05$). 마리당 인 증가량(g/fish)은 F사료 급여구가 0.24g으로 가장 많았으며($p < 0.05$), 나머지 사료 급여구는 0.12~0.18g의 범위로 처리구간 차이가 없었

다 ($p > 0.05$).

Table 3-11. Phosphorus(P) utilization of fish fed the experimental diets for 4 weeks

Diet	P intake	P gain	PRE ¹	P excretion
	<i>g/fish</i>	<i>g/fish</i>	%	<i>g/kg wt. gain</i>
A	0.82 ^a	0.17 ^b	21.1 ^c	15.4 ^a
B	0.63 ^b	0.13 ^b	21.3 ^c	13.0 ^b
C	0.51 ^{dc}	0.18 ^b	35.7 ^{ab}	8.5 ^{cd}
D	0.49 ^e	0.12 ^b	25.0 ^{bc}	9.4 ^c
E	0.59 ^c	0.17 ^b	28.8 ^{bc}	10.2 ^c
F	0.53 ^d	0.24 ^a	45.5 ^a	6.4 ^d
sem	0.01	0.02	4.52	0.89

¹Phosphorus retention efficiency = P gain/P intake x 100.

^{a,b,c,d,e}Values(means of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P < 0.05$).

인 축적효율(PRE)은 F사료 급여구가 45.5%로 C사료 급여구(35.7%)를 제외한 타 사료급여구보다 유의적으로 높았으며 ($p < 0.05$), C사료 급여구는 A 및 B사료 급여구보다 유의적으로 높았으나 D(25.0%) 및 E사료 급여구(28.8%)와는 차이가 없었다($p > 0.05$). A, B D 및 E사료 급여구는 21.1~28.8%로 차이가 없었다($p > 0.05$). 증체 kg당 인 배설량(g)은 F사료 급여구가 6.4g으로 C사료 급여구 8.5g을 제외한 타 사료급여구보다 유의적으로 적었으며($p < 0.05$), A 사료 급여구가 15.4g으로 가장 많게 나타났다($p < 0.05$). B사료 급여구는 13.0g으로 두 번째로 많게 나타났으며($p < 0.05$), C, D 및 E사료 급여구는 8.5~10.2g으로 처리구간 차이는 없었다($p > 0.05$). F사료 급여구에서 인 배설량이 낮은 것은 인 증체량과 인 축적효율이 높았던 사실과 사료요구율에서 타 사료 급여구보다 우수한 것에서 기인된

결과로 추정된다. 질소 배설량 측면에서 볼 때 F사료 급여구가 질소 배설량이 많았던 것은 사료내 단백질 함량이 타 사료보다 높았던 것에 기인된 것으로 판단되며, 인 배설량의 경우 C 및 D사료보다 총인함량은 높았지만 인 배설량이 유의적으로 적었던 것은 사료요구율이 우수하였던 사실과 사료내 함유된 인의 이용성이 좋았던 결과라 사료된다.

제4장의 잉어에서의 원료사료내 인 이용성 자료와 원료사료내 인 함량에 근거하여 배합비율을 알 수 있는 D, E 및 F사료의 이용가능한 함량을 계산한 결과 각각 0.31%, 0.54% 및 0.48%로 나타났다. F사료 급여구의 경우 D사료가 사료내 총인함량이 1.14%로 F사료 1.32%보다 낮았던데 반해 상대적으로 증체 kg당 인 배설량이 많았던(9.4g vs 6.4g)것은 이용가능한 함량이 D사료의 0.31%보다 F사료가 0.48%로 더 많았던 사실과 사료요구율이 우수하였던 것에서 기인된 것으로 보인다. 한편, E사료의 경우는 사료내 총인 함량은 1.35%로 F사료(1.32%)와 비슷하였으나 MCP 0.5%의 추가첨가로 인하여 이용가능한 인이 0.54%로서 요구량 이상으로 함유되었거나 사료요구율이 F사료 급여구보다 상대적으로 저조하였던 사실에서 기인된 것으로 보인다. 그러나 사료내 에너지 함량 및 사료요구율 등과 같은 요인들이 연관될 수 있는 것이므로 정확한 결론을 내리기는 어려운 실정이다.

제 4 절 적 요 및 결 론

1. 어류농축단백질 및 혈분의 어분대체효과(실험 1)

어분보다 인 함량이 낮은 동물성 단백질 공급원으로서 어류농축단백질(fish protein concentrate; FPC)과 혈분(blood meal; BM)으로 어분을 대체함으로써 오염물질 배설량이 감소하는지 여부를 조사하기 위하여 개시체중 $20.3 \pm 0.44\text{g}(\text{mean} \pm \text{SD})$ 의 이스라엘 잉어(Israeli strain of common carp; *Cyprinus carpio*) 700마리를 사용하여 6주간 사양실험을 실시하였다. 실험사료는 5종류로서 갈색어분 25%를 함유한 사료를 기초사료구로 정하고 FPC로서 어분으로 공급되는 단백질을 25%(FPC₂₅) 및 50%(FPC₅₀) 대체한 것과 BM으로 25%(BM₂₅) 및 50%(BM₅₀) 대체한 사료를 이용하여 EP로 제조한 후 5처리 2반복으로(70마리/반복) 완전임의 배치하여 수행한 결과는 다음과 같다.

가. 증체량은 FPC₅₀구와 BM₂₅구가 각각 38.3g 및 39.0g으로 BM₅₀구(31.9g)보다 우수하였으나($P < 0.05$) 기초사료구 및 FPC₂₅구와는 차이가 없었고, 기초사료구, FPC₂₅ 및 BM₅₀구 간에도 차이가 없었다($P > 0.05$). 사료요구율에서도 증체량에 서와 같이 FPC₅₀구와 BM₂₅구가 각각 0.91 및 0.93으로 BM₅₀구(1.13)보다 우수하게 나타났으나($P < 0.05$), 기초사료구 및 FPC₂₅구와는 차이가 없었고 기초사료구, FPC₂₅구 및 BM₅₀구 간에도 차이가 없었다($P > 0.05$).

나. 단백질 이용효율(PER)은 FPC₅₀ 및 BM₂₅구가 각각 2.40 및 2.28로 BM₅₀구(1.92)보다 우수하였으나($P < 0.05$), 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 질소축적효율(NRE)은

FPC₅₀구가 36.8%로 BM₂₅(34.2%)를 제외한 타 처리구보다 우수하였고($P < 0.05$), BM₂₅구가 29.2%로 기초사료(32.1%) 및 FPC₂₅구(32.2%)를 제외한 타 처리구보다 저조하였다($P < 0.05$).

다. 증체 kg당 질소 배설량은 BM₅₀구가 59.2g으로 FPC₂₅(50.9g) 및 기초사료구(49.8g)를 제외한 타 처리구보다 많았다($P < 0.05$). 나머지 처리구 간에는 차이가 없었으나($P > 0.05$) FPC₅₀구가 42.0g으로 대체적으로 낮게 나타났다.

라. 인 축적효율(PRE)은 FPC₅₀구가 33.0%로 BM₅₀구 27.9%보다 높았으나($P < 0.05$) 나머지 처리구 간에는 차이가 없었다($P > 0.05$).

마. 증체 kg당 인 배설량은 FPC₅₀구가 7.0g으로 가장 적었으며($P < 0.05$), BM₂₅구가 9.2g으로 두 번째로 낮게 나타났으나($P < 0.05$), FPC₂₅구(10.0g)와는 차이가 없었다($P > 0.05$). 기초사료구 및 BM₅₀구가 각각 10.8g 및 10.6g으로 FPC₂₅구와 더불어 타 처리구보다 높게 나타났다($P < 0.05$).

본 실험결과 어류농축단백질로서 어분을 대체한 결과 증체 kg당 질소 배설량에는 차이가 없었다. 인 배설량은 어류농축단백질로서 어분으로 공급되는 단백질을 50%까지 대체함으로써 인 배설량을 35%까지 낮출 수 있었으며, 혈분으로 어분단백질을 25% 대체한 결과 인 배설량을 약 15%까지 낮출 수 있는 것으로 나타났다.

2. 시판사료와의 성장 및 오염도 비교(실험 2)

어분보다 인 함량이 낮은 어류농축단백질(fish protein concentrate; FPC)로서 어분을 일부 대체한 실험사료와 시판사료의

급여에 의한 오염물질 배설량을 비교하기 위하여 개시어체중 $65.2 \pm 0.79\text{g}$ (mean \pm SD)인 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*) 480마리를 이용하여 3종류의 잉어용 시판사료(A, B 및 C)와 3종류의 실험사료(D, 어분 13% 함유; E, 어분 10%와 FPC 5% 함유; F, 어분 12.5%와 FPC 11.5% 함유)를 총 6처리 2반복(40마리/반복)으로 4주간 사양실험을 실시한바 그 결과는 다음과 같다.

가. 증체량에서 FPC를 11.5% 함유한 F사료 급여구가 45.0g으로 가장 우수하였고($p < 0.05$), A 및 E사료 급여구가 각각 42.0g 및 41.6g으로 B, C 및 D사료 급여구 38.0~38.9g에 비해 우수하게 나타났다($p < 0.05$).

나. 사료요구율에서는 F사료 급여구가 0.89로 타 사료 급여구보다 우수하게($p < 0.05$) 나타났고, A, B, C 및 D사료 급여구 간에는 차이가 없었으며($p > 0.05$), E사료 급여구는 1.05로 A, B 및 C사료 급여구보다 우수하였으나($p < 0.05$), D사료 급여구(1.10)와는 차이가 없었다($p > 0.05$).

다. 증체 kg당 질소 배설량은 B사료 급여구가 57.6g으로 D, E 및 F사료 급여구보다 유의적으로 높게 나타났으며($p < 0.05$), E 및 F사료 급여구가 각각 42.5g 및 42.4g으로 타 처리구보다 유의적으로 낮았다($p < 0.05$).

라. 증체 kg당 인 배설량은 F사료 급여구가 6.4g으로 C사료 급여구 8.5g을 제외한 타 사료 급여구보다 유의적으로 낮았으며($p < 0.05$), A사료 급여구가 15.4g으로 가장 많이 나타났으며($p < 0.05$). B사료 급여구는 13.0g으로 두 번째로 많이 나타났으며($p < 0.05$), C, D 및 E사료 급여구는 8.5~10.2g으로 처리구간 차이가 없었다($p > 0.05$).

마. 체조직 조성에서는 특이한 경향치는 없었으며, 인 함량은 0.45~0.52%의 범위로 나타났다.

본실험 결과 이용불가능한 인의 함량이 높은 어분의 수준을 낮추고, FPC와 같은 원료를 첨가할 경우 사료요구율의 개선으로 성장율의 증가와 함께, 질소 및 인의 배설량을 감소시킬 수 있다는 것이 입증되었다. 본 실험에서는 어분 12.5% 및 FPC 11.5%를 함유하는 사료를 섭취한 어류의 질소 및 인 배설량이 시판사료 급여구에 비해 각각 20~36% 및 25~60% 정도 감소한 것으로 나타났다.

제4장 분채집방법에 따른 원료사료내 인 이용성 비교

제1절 연구사

어류에 의한 영양소 소화율은 분채집방법의 어려움으로 인해 대부분 산화크롬과 같은 외부지시체를 이용한 간접법으로 측정된다. 금붕어와 송어에 의한 단백질 소화율을 구하기 위해 Nose(1960)에 의해 최초로 시도된 분채집방법은 복부를 항문방향으로 가볍게 눌러 분을 밀어내는 분짜내기(stripping)법이였다. 그후 많은 연구자들에 의해 다양한 분채집 방법이 보고되었는데, Smith(1971)는 대사실에 어류를 고정시켜 강제급여에 뒤이어 배설되는 분을 채집하였고, Ogino 등(1973)과 Cho 등(1982)은 유리로 만들어진 여과튜브 및 아크릴로 만든 침전장치를 이용하여 유출수로부터 분을 분리채집하였으며, Windell 등(1978)은 항문을 흡인(suction)하거나 어류를 절개하여 분물질을 분리해 내었다. Austreng(1978)은 무지개 송어를 절개한뒤 위장기관의 여러 부위별로 채집된 분과 짜내기법에 의한 분을 이용한 소화율을 조사하였다. Choubert 등(1979, 1982)은 기계적으로 회전하는 스크린 필터를 이용하여 분을 채집하였다. 이러한 방법들에 의한 사료내 유기영양소 소화율은 대부분 커다란 차이를 나타내지 않는 것으로 보고되었다(Cho와 Slinger, 1979). 그러나 광물질, 특히 수중 플랑크톤의 성장에 직접적인 역할을 하는 인(phosphorus)의 소화율은 침전분채집법에 의한 측정이 어렵다(Brown, 1993). 그 이유는 용존 인의 경우 대부분 뇨(urine)를 통하여 배설되어(Lall, 1991) 침전조내

에서 유출수로 쉽게 용출되기 때문이다.

세계적으로 환경에 대한 관심이 고조됨에 따라 어류양식에 의한 수질오염 또한 중요한 연구과제로 다뤄지고 있는데(Cowey와 Cho, 1991), 그 중에서도 특히 인의 수중부하가 가장 많은 관심을 유발하고 있다(Hardy 등, 1993; Jacobsen과 Borresen, 1995; Cain과 Garling, 1995). 그러나 여러 원료사료내 인의 양식어류에 의한 소화율 측정은 찬넬메기(Lovell, 1978), 잉어와 송어(Ogino 등, 1979)에만 국한되어 있으며, 이러한 연구 결과 또한 여러 성장 단계별 수치가 아닌 특정 단계에 한정된 것이며 후속적인 재연구가 이뤄지지 않았다.

국내의 내수면 어류양식은 잉어생산에 치중되어 왔으나 수질오염과 같은 난제에 직면하여 더 이상의 발전 가능성이 희박해지고 있는 실정이다(Kim과 Ahn, 1993). 이러한 난제에 봉착한 주된 이유는 국내의 양어사료 배합에 사용되고 있는 원료사료의 영양소 소화율 평가와 같은 저오염 사료개발을 위한 기초자료 마련 연구가 지금까지 거의 수행되지 않았던데 기인한다. 특히, 치어기 참잉어(common carp)를 이용하여 보고된 인 소화율의 경우(Ogino 등, 1979) 지금까지 종묘어나 육성잉어에 의해 재검증이 전혀 이루어지지 않았다. 또한, 국내 내수면 어류양식의 주어종인 이스라엘계 거울잉어의 인 이용성이나 요구량에 관한 자료는 전혀 보고되지 않았다. 따라서 본 실험은 국내에서 이용가능한 원료사료의 인 소화율을 평가하기 위한 것으로서, 150g의 육성용 거울잉어를 이용하여 분체집 방법에 따른 인 소화율의 변이를 구명코자 수행되었다.

제2절 재료 및 방법

1. 침전분과 침전분+부상분 채집에 의한 인 이용성 비교(실험 1)

가. 실험동물 및 분채집 방법

원료사료의 인 이용성을 평가하기 위하여 평균 150g의 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*) 300마리를 사육수조당 15마리씩 처리당 2반복으로 총 10개의 실험사료(표준사료 및 9종의 시험사료)를 20개의 순환여과식 사육조에 공시하였다. 분채집은 10일간의 적응기간후 자채고안된 침전장치를 이용하여 최초 1주일엔 침전된 분(settled feces)만을 채집하였으며, 후속적으로 일주일간은 침전된 분과 부상된 분(floated feces)을 함께 채집하였다. 이 때 유출수와 함께 배설되는 상당량의 분을 회수하였다(Fig. 4-1).

각 반복별로 채집된 분은 균일하게 혼합한 뒤 건조시켜 분석할 때까지 냉동보관하였다.

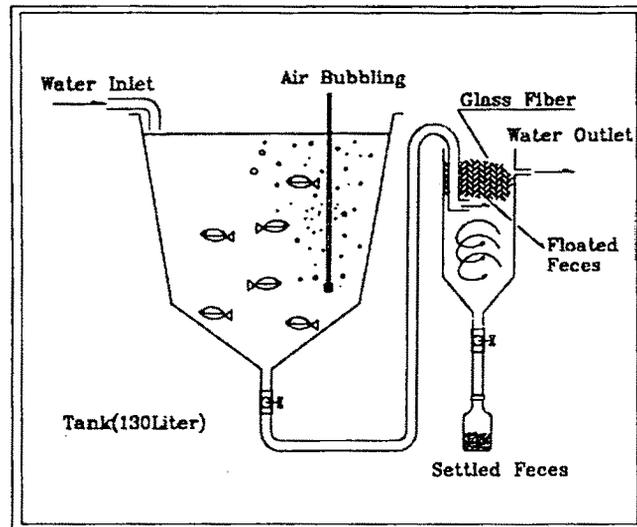


Figure 4-1. Feces collecting apparatus.

나. 실험사료 및 사양관리

표준사료(reference diet)는 카제인(BBA, France) 50%, 타피오카 알파전분(Bangkok, Thailand) 37.9%, 대두유 6%, 어유 4%, 비타민 혼합제 0.5%, 인을 함유하지 않은 광물질 혼합제 0.3%, 염화콜린 0.3% 및 산화크롬 1%로 구성되었다(Table 4-1).

Table 4-1. Ingredient composition of the reference diet

Ingredient	Content(%)
Casein	50.0
Tapioca α -starch	37.9
Soybean oil	6.0
Sardine oil	4.0
Vitamin premix. ¹	0.5
Mineral premix. ¹	0.3
Choline chloride(25%) ²	0.3
Cr ₂ O ₃	1.0
Total	100.0

¹Supplied the following amount per kilogram of diet: Vitamin A, 50,000 IU; vitamin D₃, 8,000 IU; vitamin E, 120 mg; thiamin, 60 mg; riboflavin, 80 mg; pyridoxine, 35 mg; vitamin B₁₂, 0.6 mg; pantothenic acid, 120 mg; niacin, 200 mg; biotin, 1 mg; vitamin C, 200 mg; Mg, 240 mg; Mn, 140 mg; Zn, 280 mg; Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

²Supplied 750 mg of choline per kilogram of diet.

어분, 대두박 등 입자도 차이에 의한 변이를 줄이기 위하여 분쇄가 필요한 원료는 0.3mm 스크린이 부착된 hammer mill로 분쇄하여 사용하였다.

일인산칼슘(monocalcium phosphate; MCP)을 제외한 8가지 원료사료는 각각 표준사료 70%에 30%를 혼합하여 시험사료로 배합하였다. 일인산칼슘(MCP)의 경우 표준사료 97%에 3%를 혼합하여 시험사료로 하였다. 원료사료, 표준사료 및 시험사료의 일반성분은

Table 4-2와 4-3에 나타내었다.

배합된 각각의 사료에 증류수 25%를 가하여 반죽형태로 만든 다음 4.5mm 다이를 부착한 육골분쇄기를 이용하여 국수(spaghetti)처럼 성형하여, 열풍순환 건조기를 이용하여 55℃에서 2일간 건조하였다. 사료는 일일 3번씩(10:00, 13:00, 16:00) 육안으로 보아 섭취도가 떨어질 때까지 급여하였다. 실험기간 동안의 사육수온은 26~28℃로 유지되었다. 순환여과식 사육장치는 자체 제작한 원뿔형의 FRP (fiberglass reinforced plastics)사육조로서, 사육조내 수량은 130ℓ로 유지되었으며 유속(流速)은 평균 10~12ℓ/min였으며 용존산소량, pH, 암모니아태 질소(NH₃-N) 및 인 함량은 Table 4-4에 제시한 바와 같았다. 실험기간중 각 사육조마다 폭기(aeration)가 계속적으로 이루어 졌으며 실험어류는 사육조에 잘 적응하여 전 실험기간동안 왕성한 식욕을 보였으며 한 마리의 폐사어도 발생하지 않았다. 환수량은 총 수량(2,000ℓ)의 약 10%에 상당하였다.

다. 조사항목

분 채집방법에 따른 원료사료의 조회분(C.ash) 및 외관상 소화율을 비교하기 위하여 우선적으로 표준사료와 실험사료의 소화율을 Maynard와 Loosli(1969)의 공식에 의해 구한 다음, 각 원료사료의 소화율을 Cho등(1982)에 의한 공식으로 다음과 같이 구하였다.

Apparent digestibility coefficients(ADCs) =

$$100 - \left[\frac{\text{nutrient in feces}(\%) \times \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ in diet}(\%)}{\text{nutrient in diet}(\%) \times \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ in feces}(\%)} \right] \times 100$$

ADCs of the test ingredient =

$$(\text{ADCs of test diet} - 0.7 \times \text{ADCs of reference diet})/0.3$$

ADCs of the MCP =

$$(\text{ADCs of test diet} - 0.97 \times \text{ADCs of reference diet})/0.03$$

Table 4-2. Chemical composition of various ingredients for digestibility measurement

Ingredient	Moisture	C. protein	C. fat	C. ash	Ca	P
			%			
WFM-S ¹	8.01	63.76	5.57	18.13	6.40	3.01
WFM-F ²	3.28	67.85	5.40	19.18	6.47	3.22
BFM ³	7.42	67.39	6.58	14.55	4.27	2.35
SBM ⁴	10.64	44.13	1.51	5.50	1.24	0.69
CGM ⁵	11.44	65.18	1.23	1.26	0.91	0.46
SSM ⁶	2.21	49.64	9.58	10.51	2.99	1.46
WFL ⁷	12.90	16.60	1.90	1.26	0.81	0.37
BY ⁸	8.55	39.59	0.56	5.64	0.82	1.18
MCP ⁹	3.36	-	-	79.70	18.47	21.82

¹WFM-S = steam-dried white fish meal, Cornell Broth. Co., USA (ship factory).

²WFM-F = flame-dried white fish meal, Dong Won Industries Co., Korea.

³BFM = brown fish meal, San Antonio, Peru.

⁴SBM = soybean meal, CHEILJEDANG, Korea.

⁵CGM = corn gluten meal, New Dong Bang Corporation, Korea

⁶SSM = sesame meal, Ottogi Foods Co., Korea.

⁷WFL = wheat flour, CHEILJEDANG, Korea.

⁸BY = brewer's yeast, JINRO Coors Brewing Co., Korea.

⁹MCP = monocalcium phosphate, BASF, Germany.

Table 4-3. Chemical composition of the reference and experimental diets(dry matter basis)*

Diet	C. protein	C. fat	%		
			C. ash	Ca	P
Reference	43.31	7.78	3.93	1.30	0.56
WFM-S ¹	49.41	8.47	8.42	3.28	1.46
WFM-F ²	50.67	8.76	8.26	3.08	1.30
BFM ³	49.75	9.08	6.86	2.80	1.17
SBM ⁴	44.30	8.15	4.47	1.55	0.65
CGM ⁵	49.72	6.82	3.19	1.01	0.46
SSM ⁶	45.36	9.77	5.35	2.03	0.84
WFL ⁷	36.28	5.17	3.03	1.40	0.54
BY ⁸	42.26	8.09	4.59	1.48	0.76
MCP ⁹	42.30	9.29	5.97	1.79	1.00

*Each diet was composed of 70% the reference diet and 30% each ingredient.

¹⁻⁹Refer to Table 4-2.

Table 4-4. Quality of rearing water used during the experimental period

Items	Values
Dissolved oxygen	6.1±0.3 mg/ℓ
pH	6.8±0.5
NH ₃ -N	0.9±0.2 mg/ℓ
Phosphorus	0.004 mg/ℓ

라. 분석방법

원료사료, 실험사료의 일반성분 (Tables 4-2와 4-3)은 AOAC(1990)의 방법에 따라 분석하였는데 수분은 105 °C의 오븐에서 24 시간 건조하였으며 단백질(N x 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 에테르추출법으로, 회분은 550 °C에서 12시간 회화시켜 분석하였다. 실험사료 및 분내의 산화크롬(Cr₂O₃)은 perchloric acid로 가수분해 (Bolin 등, 1952)후 spectrophotometer (Shimazu, UV-120-12)를 이용하여 440nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. 칼슘함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H₂SO₄ 용액과 반응시켜 KMnO₄로 적정하여 구하였으며, 인(P)은 vandate molybdate-yellow 법으로 470nm에서 spectrophotometer로 분석하였다.

침전분(settled feces)으로 측정된 원료사료의 소화율가는 거의 0 이하의 값을 나타내었기 때문에 통계분석은 실시하지 않았다.

2. 분짜내기법에 의한 인 이용성 평가(실험 2)

가. 실험동물 및 분채집방법

실험 1에 공시하였던 어류 300마리를 이용하여 실험1에서 사용한 것과 동일한 실험사료를 이용하여 실시하였으며, 분짜내기 방법에 의한 1차 분 채집은 7일간의 휴식기간을 둔후 1일간의 절식에 이어 3일동안 실험사료를 급여한 다음 최종 급여 1시간 후 마취제 (tricaine methane sulfonate; MS-222[®]) 3 mg/l 용액으로 가볍게 마취시킨후 어류를 마른 형겅으로 완전히 감싼 다음 복부 중앙부분으로부터 항문방향으로 가볍게 문질러 수행하였으며(Fig. 4-2), 충분량의 분을 채집하기 위하여 2차 분채집은 스트레스를 회복하기 위하여

일주일간의 사료급여후 동일한 방법으로 수행하였다. 각 반복별로 채집된 분은 균일하게 혼합한 뒤 건조시켜 분석할 때 까지 냉동보관하였다.

나. 실험사료 및 사양관리

실험1에서 사용한 실험사료와 동일하게 제조하였으며, 사양관리는 실험1에 전술한 바와 같았다.

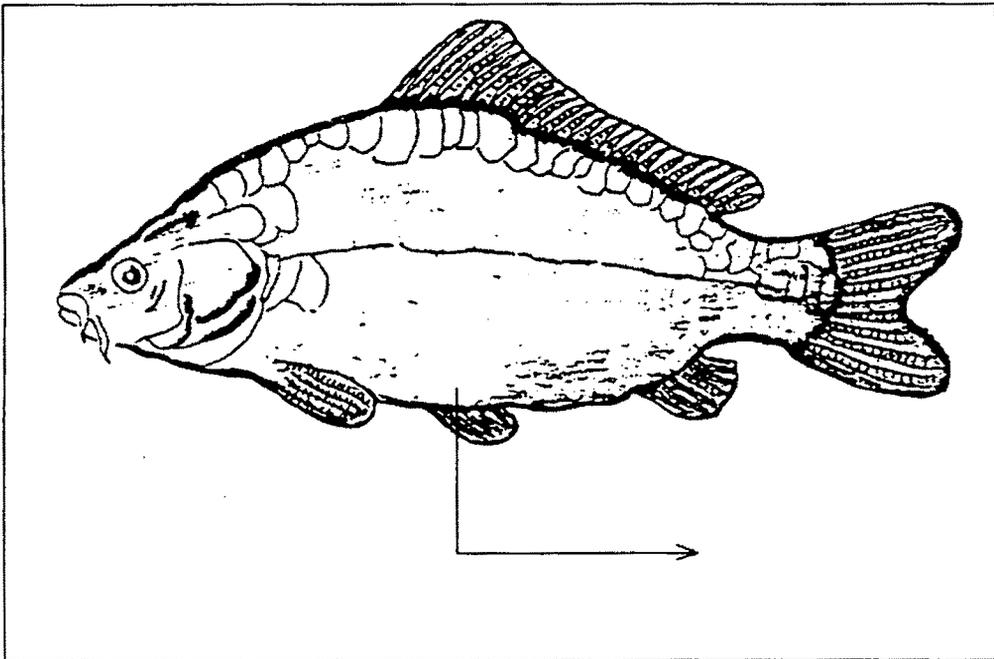


Figure 4-2. Area of belly of Israeli strain of common carp pressed to expel feces.

다. 조사항목 및 분석방법

실험1에 전술한 바와 같았으며, 결과자료의 분석은 실험1의 부상분+침전분 채집법에서 얻은 결과와 본실험의 결과를 종합하여 Student화한 t-test에 의해서 평균값 사이의 유의차(Snedecor와 Cochran, 1967)를 구하여 수행하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 침전분과 침전분+부상분 채집에 의한 인 이용성 비교(실험 1)

Table 4-2에서 보는 바와 같이 백색어분(WFM)은 직, 간접식 어분의 회분 함량이 각각 18.1%, 19.2%로 갈색어분(BFM) 14.6%보다 높았고, 그로 인해 인의 함량도 각각 3.0% 및 3.2%로 갈색어분 2.4%보다 높았다. 이것은 백색어분은 주로 원료어종이 명태(pollack)로서 살코기 부위는 식용으로 떼내고 남은 머리 및 뼈부위를 원료로 하여 제조하고, 갈색어분은 원산지가 주로 남미의 페루 및 칠레로서 정어리, 멸치 등을 채포하여 전어체를 사용하여 어분으로 가공하기 때문이다. 대두박(SBM), 콘글루텐(CGM), 호마박(SSM), 소맥분(WFL), 효모(BY)의 인 함량은 1.5% 이하로 나타났다.

Table 4-3에는 표준사료 및 표준사료 70%와 각 원료사료 30%로 이루어진 8종의 실험사료와 MCP 3%와 표준사료 97%로 이뤄진 실험사료내 영양소 함량을 나타내었다. 고형물 기준으로 표준사료의 회분 및 인 함량은 각각 3.93% 및 0.56%였으며, 간접식 백색어분(WFM-S)을 함유한 실험사료의 회분 및 인 함량은 8.42% 및 1.46%, 직접식 백색어분(WFM-F)을 함유한 사료는 8.26% 및 1.3%, 갈색어분을 함유한 실험사료(BFM)는 6.86% 및 1.17%로 백색어분을 함유한 사료에 비해 낮게 나타났다. 한편, 식물성 원료를 함유한 사료에서 대두박을 30% 함유한 사료(SBM)의 회분 및 인 함량은 4.47% 및 0.65%, 콘글루텐을 함유한 사료(CGM)는 3.19% 및 0.46%, 호마박을 함유한 사료(SSM)는 5.35% 및 0.84%, 소맥분을 함유한 사료(WFL)는 3.03% 및 0.54%로 어분을 함유한 사료보다 낮게 나타났다. 단세포단백질로 분류되는 맥주효모를 함유한 사료(BY)의 회분

및 인 함량은 각각 4.59% 및 0.76%로 나타났다. 인 공급제로 사용되는 일인산 칼슘을 3% 함유한 사료(MCP)의 경우 자체의 회분 및 인 함량으로 인해 각각 5.97% 및 1.0%로 식물성 원료를 함유한 사료보다 높게 나타났다.

분 채집방법에 따른 각 실험사료구의 분내 회분 및 인 함량은 Table 4-5에 나타내었다. 회분 함량에 있어서 표준사료의 경우 침전분(SF)에서 9.9%, 침전분+부상분(SF+FF)에서는 5.4%로 침전분에서 회분이 높게 나타났다. 간접식 백색어분을 함유한 구(WFM-S)에서는 침전분구가 29.3%, 침전분+부상분구에서는 15.1%로 나타났다. 직접식 백색어분을 함유한 구(WFM-F)에서는 침전분구가 26.9%, 침전분+부상분구가 17.0%로 나타났으며, 갈색어분을 함유한 구(BFM)에서는 침전분 및 침전분+부상분구가 각각 26.2% 및 14.2%로 나타났다. 대두박을 함유한 사료(SBM)에서는 분 채집방법별로 각각 15.9% 및 8.9%로 나타났으며, 콘글루텐을 함유한 사료구에서는 각각 12.3% 및 5.5%로 나타났다. 호박박을 함유한 사료구에서는 각각 22.5% 및 11.0%로 나타났으며, 소맥분을 함유한 사료구에서는 각각 11.0% 및 5.0%로 나타났다. 맥주효모를 함유한 사료구에서는 각각 18.4% 및 6.6%로 나타났다. 한편, 일인산칼슘을 함유한 사료구에서는 각각 29.1% 및 7.6%로 나타나 각 분채집 방법에서 침전분구에서 침전분+부상분구보다 회분 함량이 높게 나타났다. 따라서 침전분으로만 분을 채집할 때는 침전되는 부분이 사료내 함유되어 있던 뼈 등 비중이 높은 물질들이 주로 침전됨으로 인하여 회분이 높게 나타났으며, 침전분+부상분구의 경우는 분 중에서도 비중이 낮은 섬유소 및 소화되지 않은 탄수화물 부분이 함유되어 있어 두 분을 합하여 채집되는 분의 양은 침전분 채집시에 비해 상대적으로 많으나 회분은 상대적

으로 낮아지는 것을 알 수 있다.

인 함량의 경우 분내 회분 함량에 거의 비례적으로 인 함량이 높게 나타나는 것으로 나타났다. 침전분 및 침전분+부상분 채집방법 간에 있어서 표준사료의 경우 각각 1.4% 및 0.9%로 나타났으며, 간접식 백색어분의 경우 각각 4.0% 및 2.8%, 직접식 백색어분의 경우는 각각 3.5% 및 2.9%, 갈색어분의 경우 3.8% 및 2.6%, 대두박의 경우 1.9% 및 1.4%, 콘글루텐의 경우 1.6% 및 0.9%, 호마박의 경우 2.8%와 1.8%, 소맥분의 경우 2.1%와 1.2%, 맥주효모의 경우 2.3%와 1.3%, 일인산칼슘의 경우 3.5%와 1.5%로 나타났다. 전반적으로 침전분(settled feces)에서 부상분+침전분구보다 상대적으로 높게 나타났는데, 이러한 경향은 인 함량에서도 유사하게 나타났다.

Table 4-5. Ash and phosphorus content(%) of feces collected by two different methods¹

Diet ²	Ash		P	
	SF	SF+FF	SF	SF+FF
Reference	9.91	5.37	1.44	0.89
WFM-S	29.28	15.05	3.97	2.82
WFM-F	26.95	17.01	3.49	2.88
BFM	26.15	14.17	3.75	2.61
SBM	15.92	8.97	1.90	1.35
CGM	12.27	5.48	1.60	0.87
SSM	22.51	10.96	2.78	1.77
WFL	11.04	5.01	2.08	1.21
BY	18.44	6.64	2.33	1.30
MCP	29.05	7.56	3.46	1.46

¹SF = settled feces; FF = floated feces.

²Refer to Table 4-3.

Table 4-6. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of ash and P in ingredients tested by two different feces collection methods¹

Ingredient	ADC(%) of Ash		ADC(%) of P	
	SF	SF+FF	SF	SF+FF
WFM-S	0	14.1±0.91	0	9.9±2.36
WFM-F	0	5.7±0.76	8.9±2.11	6.8±3.02
BFM	0	8.1±0.51	0	13.0±1.37
SBM	0	3.3±2.30	0	5.4±1.85
CGM	0	13.3±1.06	0	12.1±4.17
SSM	0	13.9±3.50	0	8.3±0.70
WFL	0	16.7±2.84	0	9.8±1.01
BY	0	55.3±3.26	0	42.1±3.82
MCP	0	79.6±5.61	0	80.2±5.62

¹Refer to Table 4-2; values are means±SD of duplicate groups.

간접식 백색어분(WFM-S)의 인 소화율은 침전분 채집법에서 0 이하의 수치를 나타내어 부상분+침전분 방법과 비교할 수가 없었다.

사료내 인과 같은 광물질 소화율을 측정하는데 있어 침전장치를 이용한 분 채집법은 적합하지 않는 것으로 알려져 있다. Brown(1993)은 관행의 원료사료를 이용하여 대두박과 어분의 무지개송어에 의한 인 소화율을 침전장치와 절개(dissection)에 의한 두가지 분 채집법으로 측정하였는데, 대두박의 경우 각각 0.3% 및 -58.1%, 어분의 경우 68.5% 및 48.2%로서 침전법에 의한 소화율이 유의적으로 높게 나타났다고 하였다. 침전법에 의한 분 채집시 침전장치 내에서 상당량의 용존형 인(soluble-P)이 유출되기 때문에 인 소화율이 과대 평가된다고 지적하였다. 그러나 본 실험의 경우 침전

법에 의한 분 채집의 경우 거의 모든 처리구에서 0 이하의 수치를 나타내 인 소화율이 과소 평가된다는 것이 관찰되었다. 이러한 사실은 배설되는 분의 상당량이 비중이 낮아 침전조에 가라앉지 않고 부상하는 반면, 비중이 무거운 회분(대부분 골격부분)의 경우 거의 전량이 침전조에 가라앉아 분과 함께 회수되는 데서 기인하는 것으로 밝혀졌다. 외부 지시제를 이용한 간접소화율 측정에 있어 중요한 사항중의 하나는 대표적인 분을 채집하는 것이다. 그러나 정제사료나 반 정제사료를 이용한 실험사료를 급여할 경우 배설되는 분의 상당량이 비중이 낮아 부상하기 때문에 침전법으로 대표적인 분을 채집한다는 것은 어렵다. 따라서 분 짜내기법을 이용하거나(Lovell, 1977, 1978; Yone와 Toshima, 1979; Schafer 등, 1995), 침전장치내 부수적인 시설을 하여 부상분과 침전분을 함께 채집하는 방법이 이용되었다(Ogino 등, 1979). 한편, 후자의 방법은 대상어종의 체중이 50g 이하로 비교적 작은 경우에 주로 이용되는데, 이는 치어나 종묘어에 있어 분 짜내기법으로 채집할 수 있는 분의 양이 제한적이기 때문이다.

Lovell(1978)은 280g의 찬넬메기의 직장내 catheter를 삽입하여 분을 채집하는 방법(Lovell, 1977)으로 인 흡수율을 측정하였는데, 1가(monobasic)의 인 공급원은 90% 이상이었으나 2가(dibasic)의 경우 65%에 불과하였다고 보고하였다. 또한, 어분의 경우 약 40%의 흡수율을 보인 반면, 식물성 공급원은 25~54%의 변이를 보였다고 하였다. Ogino 등(1979)은 개시체중 10g 전후의 잉어와 무지개송어에 의한 인 소화율을 부상분과 침전분을 함께 채집하는 방법(Ogino 등, 1973)으로 측정하였는데, 두 어종 모두 1가의 인공급제 소화율은 94% 이상으로 높았으나, 2가 및 3가의 경우 잉어가 각각 46% 및

13% 그리고 송어가 71% 및 64%로 감소되었다고 하였다. 백색어분의 경우 잉어는 10~26%, 무지개송어는 60~72% 였으며, 갈색어분의 경우 잉어가 13~33%, 무지개송어가 70~81%의 인 소화율을 보였다고 하였다. 효모의 경우 두 어종 모두 90% 이상의 인 소화율을 나타냈으나 식물성 인은 모두 낮은 수치를 보였다. 동일한 방법으로 Watanabe 등(1980b)이 약 6g의 킬라피아를 이용하여 측정 한 백색어분내 인 소화율은 약 65%로서 무지개송어의 그것과 유사하였다고 하였다. 여러 어분내 인 소화율이 잉어에서 상대적으로 낮게 나타나는 이유는 위산 분비가 일어나지 않기 때문으로 알려져 있다(Yone와 Toshima, 1979). 어류에 의한 원료사료의 영양소 소화율은 사료내 수준, 어류의 크기, 수온 등과 같은 여러 인자에 의해 영향을 받지 않는다고 한다(Cho 등, 1982). 그러나 지금까지 어떤 양식 어종에 있어서도 원료사료의 수준이나 성장단계별 또는 수온별 인 소화율 변화에 대한 비교연구는 이뤄지지 않았다.

2. 분짜내기법에 의한 인 이용성 평가(실험 2)

짜내기법에 의해 채취한 분의 회분 및 인 함량은 Table 4-7에 나타내었다. 회분 함량의 경우 표준사료 급여구가 4.56%로 실험1의 침전분 및 침전분+부상분구보다 낮게 나타났다. 간접식 백색어분 함유사료(WFM-S), 직접식 백색어분 함유사료(WFM-F), 갈색어분 함유사료(BFM), 대두박(SBM), 콘글루텐(CGM), 호마박(SSM), 소맥분(WFL), 맥주효모(BY) 및 일인산칼슘(MCP) 함유사료 급여구의 분내 회분 함량은 각각 14.36%, 15.89%, 13.81%, 8.08%, 5.45%, 10.64% 4.79%, 5.02% 및 6.17%로서 실험1에서의 침전분과 침전분+부상분 채취법에 의해 얻은 결과보다 전반적으로 낮게 나타났다. 이는 짜내

기 방법에 의한 분 채집시 불소화된 부분이 상대적으로 앞의 두 방법에 비해 많은 것으로 인하여 전체의 회분 함량이 낮게 나타난 것으로 추정된다.

Table 4-7. Ash and phosphorus content(%) of feces collected by stripping method

Diet ¹	Ash	P
Reference	4.56	0.69
WFM-S	14.36	2.70
WFM-F	15.89	2.71
BFM	13.81	2.58
SBM	8.08	1.20
CGM	5.45	0.87
SSM	10.64	1.70
WFL	4.79	1.10
BY	5.02	0.98
MCP	6.17	1.12

¹Refer to Table 4-3.

인 함량의 경우 분내 회분함량에 거의 비례적으로 인 함량이 높게 나타나는 것으로 나타났다. 표준사료 급여구, WFM-S, WFM-F, BFM, SBM, CGM, SSM, WFL, BY 및 MCP 함유사료 급여구의 경우 각각 0.69%, 2.70%, 2.71%, 2.58%, 1.20%, 0.87%, 1.70%, 1.10%, 0.98% 및 1.12%로 나타나 회분함량에서 나타난 바와 같이 침전분, 침전분+부상분구에서 보다 낮게 나타났다.

한편, 짜내기법에 의한 회분 및 인의 외관상 소화율(ADC)은

Table 4-8에 나타내었다.

Table 4-8. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of ash and P in ingredients tested by stripping method

Ingredient ¹	Ash	P
WFM-S	16.6±2.72	17.1±1.12
WFM-F	12.4±1.75	7.9±1.57
BFM	16.1±0.66	14.2±2.76
SBM	12.9±2.65	11.1±2.61
CGM	15.2±2.16	12.1±2.38
SSM	14.9±0.61	2.2±1.30
WFL	12.0±0.08	10.3±1.90
BY	74.4±0.81	61.3±4.93
MCP	92.8±0.54	91.5±5.18

¹Refer to Table 4-2; values are means±SD of duplicate groups.

회분의 외관상 소화율은 전반적으로 12.0~92.8%의 변이를 나타내었으며, 인의 외관상 소화율은 호마박(SSM) 2.2%에서 일인산칼슘(MCP) 91.5%까지의 변이를 나타내었다.

이러한 짜내기법에 의하여 측정된 소화율과 실험1에서 얻은 침전분+부상분구를 비교해 보기 위하여 통계처리를 실시한 후 비교한 결과를 Table 4-9에 나타내었다. 회분 소화율의 경우 두 방법간에 있어서 갈색어분(BFM), 대두박(SBM), 맥주효모(BY)구에서 짜내기 분구가 유의적으로 높게 나타났으나(P<0.05) 나머지 구에서는 차이가 없었으며 대체적으로 짜내기분구가 높은 경향을 나타내었다.

Table 4-9. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of ash and P in ingredients tested by two different feces collection methods

Ingredient	ADC(%) of Ash		ADC(%) of P	
	SF+FF ¹	STF ²	SF+FF	STF
WFM-S	14.1±0.91	16.6±2.72	9.9±2.36	17.1±1.12
WFM-F	5.7±0.76	12.4±1.75	6.8±3.02	7.9±1.57
BFM	8.1±0.51 ^b	16.1±0.66 ^a	13.0±1.37	14.2±2.76
SBM	3.3±2.30 ^b	12.9±2.65 ^a	5.4±1.85	11.1±2.61
CGM	13.3±1.06	15.2±2.16	12.1±4.17	12.1±2.38
SSM	13.9±3.50	14.9±0.61	8.3±0.70 ^a	2.2±1.30 ^b
WFL	16.7±2.84	12.0±0.08	9.8±1.01	10.3±1.90
BY	55.3±3.26 ^b	74.4±0.81 ^a	42.1±3.82 ^b	61.3±4.93 ^a
MCP	79.6±5.61	92.8±0.54	80.2±5.62	91.5±5.18

¹Settled feces+floated feces.

²STF = feces by stripping method.

^{a,b}Values(means±SD of duplicate groups) in the same row not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

인 소화율의 경우 간접식 백색어분(WFM-S)의 경우 분 채집 방법에 따라 9.9% 및 17.1%로서 다소 큰 차이를 보였으나, 직접식 백색어분(6.8% vs 7.9%)이나 갈색어분(13.0% vs 14.2%)은 유사하였다. 그러나 이들 두가지 분 채집방법간 인 소화율은 호마박(8.3% vs 2.2%)과 효모(42.1% vs 61.3%)에서만 유의성을 나타내었는데, 호마박의 경우 타 원료사료와는 달리 짜내기 방법에 의한 소화율이 회분의 경우 14.9%에 달했으나 인의 경우 2.2%로 훨씬 낮게 나타났다. 일인산칼슘의 경우 두 방법간의 인 소화율은 80.2% 및 91.5%로 유의성은 발견되지 않았다(P>0.05).

사육방법이나 어체중 그리고 잉어의 계통은 다르긴 하지만 Table 4-10에서 보는 바와 같이 백색어분과 갈색어분 그리고 MCP

의 인 이용성은 유사하게 나타나고 있다. 하지만 Ogino 등(1979)이 보고한 원료사료의 인 소화율은 반복간의 편차가 명시되어 있지 않기 때문에 본 실험에서 나타난 수치와의 정확한 비교는 이뤄질 수 없었다. 식물성 원료사료의 두 분 체집법에 따른 평균 인 소화율은 대두박 8.3%, 콘글루텐 12.1%, 호박 5.3% 및 소맥분 10.1%로서 모두 낮은 수치를 보였는데, 이는 피틴태 인의 이용성이 잉어에 있어 낮다는 것을 의미할 것이다. 그러나 Ogino 등(1979)에 의한 두 가지 phytin의 인 소화율은 8%와 38%로 큰 격차를 나타내고 있다. 효모의 경우 본 실험의 수치가 Ogino 등(1979)이 보고한 수치에 비해 낮은 것은 그들이 사용한 효모에 대한 언급이 없기 때문에 효모 자체의 생산과정이나 화학적 조성이 다른 데서 기인하는 것으로 보인다.

Table 4-10. Comparison of phosphorus digestibility of feed ingredients by carp

Ingredient	P digestibility(%)	
	Ogino et al.(1979)	This experiment*
White fish meal	10~26	8~17
Brown fish meal	13~33	14
Yeast	93	61
Monocalcium phosphate	94	92

*Values obtained by stripping method.

제 4절 적요 및 결론

1. 침전분과 침전분+부상분 채집에 의한 인 이용성 비교(실험 1)

이스라엘잉어에 의한 원료사료의 회분 및 인 소화율을 분채집 방법에 따라 측정하기 위하여 평균 150g의 이스라엘잉어 300마리를 수조당 15마리씩 처리당 2반복으로 순환여과식 사육수조에 공시하였다. 분채집은 침전분과 침전분+부상분 채집방법의 2가지로 수행하였다. 실험기간내 사육수온은 26~28℃였으며, 산화크롬을 이용하여 간접법으로 측정된 결과는 다음과 같다.

가. 침전분에 의한 모든 원료사료의 소화율은 0 이하의 수치로 과소 평가되었다.

나. 침전분+부상분구에서 간접식 백색어분(WFM-S)의 회분 및 인 소화율은 14.1% 및 9.9%, 직접식 백색어분(WFM-F)의 경우 5.7% 및 6.8%, 갈색어분(BFM)의 경우 8.1% 및 13.0%였다.

다. 식물성 원료사료에서의 인 소화율은 침전분+부상분 채집법에서 대두박(SBM) 13.0%, 콘글루텐(CGM) 12.1%, 호마박(SSM) 8.3% 및 소맥분(WFL) 9.8%로 나타났으며, 효모(BY)의 경우 인 소화율은 42.1%로 나타났다.

라. 일인산칼슘(MCP)의 경우 침전분+부상분구가 80.2%로 나타났다.

본 실험결과 침전분에 의한 분채집으로는 원료사료의 소화율 측정에 적합하지 않으며, 침전분과 부상분을 함께 채집하는 것이 합리적일 것으로 밝혀졌다.

2. 분짜내기법에 의한 인 이용성 평가(실험 2)

실험1에서 측정된 침전분+부상분 채집법과 짜내기법에 의한 분채집방법을 비교하기 위하여 실험1 종료후 후속적으로 각 원료사료의 소화율을 측정된 결과 다음과 같다.

가. 짜내기법에 의해 측정된 간접식 백색어분의 회분 및 인 소화율은 16.6% 및 17.1%, 직접식 백색어분(WFM-F)의 경우 12.4% 및 7.9%, 갈색어분(BFM)의 경우는 16.1% 및 14.2%로 나타났다.

나. 식물성 원료사료의 경우 회분 및 인 소화율은 대두박(SBM)이 12.9% 및 11.1%, 콘글루텐(CGM)은 15.2% 및 12.1%, 호마박(SSM)의 경우 14.93% 및 2.2%, 소맥분(WFL)의 경우 12.0% 및 10.3%로 나타났으며, 효모(BY)의 경우는 74.4% 및 61.3%로 나타났다.

다. 일인산칼슘(MCP)의 경우 회분 및 인 소화율은 각각 92.8%, 91.5%로 나타났다.

라. 실험1의 침전분+부상분 채집법에서 측정된 소화율과 분짜내기법에 의해 측정된 소화율을 비교한 결과 회분 소화율의 경우 갈색어분, 대두박 및 맥주효모의 경우에만 짜내기법이 높게 나타났고($P < 0.05$), 다른 원료에서는 차이가 없었으나 짜내기법이 약간 높게 나타나는 경향이 있었다.

마. 인 소화율의 경우 호마박에서만 침전분+부상분 채집법이 8.3%로 짜내기법 2.2%보다 높게 나타났고($P < 0.05$), 맥주효모의 경우 짜내기법에서 61.3%로 침전분+부상분 42.1%보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$).

실험 1과 2에서 볼때, 회분 소화율에서 나타난 경향과 같이 짜

내기분 채집법이 높게 나타나는 경향이 있었으나 두 방법간에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

제5장 관행사료를 이용한 이스라엘잉어의 인 요구량 설정연구

제1절 연구사

인(phosphorus: P)은 어류의 성장에 필수적인 광물질로서 사료내 결핍시 정상적인 골격형성이 이뤄지지 않으며, 성장율이나 사료효율이 감소된다(NRC, 1993). 어류나 수중생물은 그들의 환경수로부터 광물질을 흡수할 수 있으나, 담수나 해수내 인의 농도는 0.02-0.6 mg/L 정도로 상당히 낮아 사료로부터의 공급이 필수적이다(Lall, 1991). 한편, 수중내 인은 조류(algae)의 제일 성장제한인자(Auer등, 1986)로서 급여되는 사료내 인중 어체에 흡수되지 않고 배설되는 인은 조류의 성장을 촉진시키게 되고, 후속적으로 부영양화(eutrophication)와 산소의 결핍을 초래하게 된다(Folke와 Kautsky, 1989).

Sakamoto와 Yone(1973)이 참돔(red sea bream)의 정상적인 성장을 위한 건물사료내 인 요구량(0.68%)을 보고한 후 많은 어종의 인 요구량이 연구되었다: 대서양 연어(Atlantic salmon) 0.6%(Ketola, 1975), 뱀장어(Japanese eel) 0.29%(Arai 등, 1975), 참잉어(common carp) 0.6-0.7%(Ogino와 Takeda, 1976), 무지개 송어(rainbow trout) 0.7-0.8%(Ogino와 Takeda, 1978), 찬넬메기(channel catfish) 0.4-0.8%(Andrews 등, 1973; Lovell, 1978; Wilson 등, 1982), 연어(chum salmon) 0.5-0.6%, 틸레피아(Tilapia) 0.3-0.9%(Watanabe 등, 1980a,b; Robinson 등, 1987; Haylor 등, 1988), 드럼(red drum) 0.86%(Davis와 Robinson, 1987), 구피(guppy) 0.5-1.2%(Shim과 Ho,

1989), 농어(sunshine bass) 0.54%(Brown 등, 1993). 이러한 인 요구량은 어류의 성장, 사료효율 및 골격형성에 기반하여 정제사료 또는 반정제사료를 이용하여 결정되었다. 그러나 어류양식에 의한 수질오염이 환경문제로 대두됨에 따라 어류의 인 요구량은 최대성장과 최소 인 배설량을 동시에 충족시키는 수준으로 설정하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다(Beveridge, 1984).

김과 김(1995)은 국내 내수면 어류양식 생산량의 70%를 차지하는 잉어의 경우 대부분이 이스라엘 잉어(항어)로서 비늘이 완전히 덮힌 참잉어와는 인 요구량이 달라질 수 있을 것이라고 보고하였다. 이러한 인 요구량의 차이는 어류의 계통뿐 아니라 어체중, 급여사료의 형태(정제사료와 관행사료)에 의해 유발될 가능성이 있다. 그러나 Ogino와 Takeda (1976)에 의한 참잉어의 인 요구량 설정 이후 위에 언급된 여러 요인에 의한 재검정 연구는 지금까지 이뤄지지 않았다 따라서 본 연구는 어분 30% 및 10%를 함유하는 관행사료를 이용하여 이스라엘 잉어의 인 요구량이 참잉어의 그것과 유사한지를 조사하기 위하여 수행되었다. 이러한 인 요구량의 설정을 위해 성장과 사료이용효율뿐 아니라 질소와 인 배설량도 척도로서 이용되었다.

제2절 재료 및 방법

1. 어분 30%를 함유한 사료급여시의 인 요구량(실험 1)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 평균 $18 \pm 0.52\text{g}$ (mean \pm SD)의 이스라엘잉어 (*Cyprinus carpio*) 1,260마리를 사용하여 강원대학교 축산대학 축산학과 부속 어류영양연구실에서 15일간의 적응기간을 거쳐 8주간(사료급여 55일) 사양실험을 실시하였다. 적응기간 동안에는 실험에 이용하지 않은 시판사료를 전 실험구에 급여하였다. 6종의 실험사료는 처리당 3 반복(70 마리/반복)으로 완전임의 배치하였으며, 어체중의 계량 및 마리수 측정은 본 실험의 개시와 종료시에 각각 24시간의 절식후 행하였다.

기초사료는 갈색어분 30%, 대두박 30%, 소맥분 25%, 어유 2%, 대두유 3%, 비타민과 미네랄 1.1% 및 알파전분(α -starch) 8.9%로 구성되었다(Table 5-1). 이스라엘잉어의 사료내 일인산공급체의 적정수준(Kim과 Ahn, 1993; 김과 김, 1995a)과 잉어의 인 요구량 0.6~0.7%(Ogino와 Takeda, 1976)에 기반하여 이용가능 인의 수준을 등급화하기 위하여, 알파전분을 대신하여 일인산칼슘(monocalcium phosphate: MCP)을 1, 2, 3, 4, 및 5% 첨가하였다. 충분히 혼합된 각 실험사료는 CPM社(California, USA)의 펠렛기를 이용하여 직경 2.5mm 크기의 펠렛으로 성형한 후 절반은 2mm 크기의 크럼블로 제조하였다. 처음 3주간은 크럼블을, 후속 5주간은 펠렛을 급여하였다.

Table 5-1. Ingredient composition(%) of the basal diet

Ingredient	Basal
Brown fish meal	30.0
Soybean meal	30.0
Wheat flour	25.0
Soybean oil	3.0
Sardine oil	2.0
Vitamin mix.*	0.8
Mineral mix.*	0.3
Tapioca α -starch	8.9
Total	100.0

*Supplied the following amount per kilogram of diet: Vitamin A, 35,000 IU; vitamin D₃, 7,000 IU; vitamin E, 70 mg; thiamin, 14 mg; riboflavin, 21 mg; pyridoxine, 14 mg; vitamin B₁₂, 0.14 mg; pantothenic acid, 49 mg; niacin, 105 mg; biotin, 1.4 mg; vitamin C, 70 mg; choline, 750 mg; Mg, 240 mg; Mn, 140 mg; Zn, 280 mg; Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

Table 5-2. Chemical composition(g/100g, as-fed basis) of the experimental diets

Composition	Diet ¹					
	Basal	MCP1	MCP2	MCP3	MCP4	MCP5
Moisture	8.46	8.14	7.94	7.69	7.53	7.63
C. protein	38.38	38.64	38.70	37.85	37.63	37.85
C. lipid	8.48	8.56	8.53	8.17	8.40	8.60
C. ash	6.85	7.52	8.48	9.21	9.96	10.64
Ca	2.30	2.56	2.69	2.82	3.12	4.01
P	1.09	1.28	1.53	1.73	1.95	2.16
Av. P ²	0.24	0.42	0.67	0.87	1.07	1.27

¹Monocalcium phosphate, BASF, Germany.

²g/100g DM, calculated based on the determined value for basal diet and the P availability of 90% from the MCP.

기초사료의 인 소화율은 산화크롬을 1% 첨가한 후 제4장 실험 1에 전술한 바와 같이(Fig. 4-1) 침전분(settled feces)과 부상분

(floated feces)을 채집하여 간접법으로 구하였다. 사료내 이용가능한 인(available P)은 분석된 사료내 총인에서 MCP로부터 유래한 인의 이용성을 90%로 하여 기초사료의 측정된 이용가능 인에 더하여 계산하였다(Table 5-2).

나. 사양관리

직렬식 2조의 순환여과식 사육장치 각조는 12개의 사육조, 펌프, 침전조, 1차여과조 및 2차분해조로 구성되었다. 자체 제작된 원뿔 형의 fiberglass reinforced plastics(FRP) 사육조내 수량은 130 L로서 流速(flow rate)은 평균 10-12 L/min였으며 수온은 전 실험기간 동안 26-28℃로 유지되었다. 각 사육조마다 폭기(aeration)가 계속적으로 이루어졌으며 실험어류는 사육조에 잘 적응하여 전 실험기간 동안 왕성한 식욕을 나타냈으며 기초사료구(2마리 폐사)를 제외한다면 나머지 처리구에서는 한 마리의 폐사어도 발생하지 않았다. 용존산소량(dissolved oxygen), pH 및 암모니아는 일주일에 한번씩 측정하였으며 측정치의 평균은 용존산소량과 pH는 각각 6 ± 0.6 mg/l 및 6.8 ± 0.77 이었으며, 암모니아태 질소의 농도는 0.8 ± 0.2 mg/l 이었다. 사육수내 인 함량은 0.004 mg/l 이하로 유지되었다. 실험사료는 일일 3번씩(10:00, 14:00, 18:00) 매 회 섭취도가 떨어질때까지 급여하였다.

각 사육조에 부착된 배설물 침전장치에 침전된 분은 매일 아침 첫번째 사료 급여전(09:00) 침전장치내 물의排水와 함께 깨끗이 청소하였으며, 이때 유출된 물량은 24시간 폭기시킨 수돗물을 여과조내로 유입시켜 보충하였는데, 이 還收量은 사육장치내 총 수량(2,000 L)의 약 10%에相当하였다.

다. 조사항목

이용가능한 인의 사료내 수준에 따른 어류의 성장 및 사료 이용효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 일일성장지수(daily growth index: Iwama와 Tautz, 1981), 사료 섭취량(feed intake), 사료요구율(feed conversion ratio), 질소 섭취량(nitrogen intake), 단백질 이용효율(protein efficiency ratio)을 조사하였다. 아울러, 어체내 축적량에 기반하여 사료내 인 수준에 따른 질소 및 인의 수중 배설량을 평가하기 위하여 개시어(開始魚)와 종료어(終了魚)의 도체분석을 통한 질소 및 인의 축적율을 조사하였다.

라. 분석방법

실험사료 및 어체의 일반성분(Table 5-2)은 AOAC(1990)의 방법에 따라 분석하였다. 수분은 105 °C의 오븐에서 24 시간 건조하였으며 단백질(N x 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 에테르 추출법으로, 회분은 550 °C에서 12시간 회화시켜 분석하였다. 개시시 20마리와 종료시에 반복당 15마리를 채취한 후 즉시 파쇄하여 일정량(약 5 g)을 취하여 수분측정(3반복/시료)에 사용하였으며, 나머지 시료는 기타성분 분석에 이용되었다. 기초사료의 인 소화율 측정을 위한 사료와 분내 칼슘, 인 및 산화크롬(Cr_2O_3)은 제4장 실험 1에서와 같은 방법으로 분석하였다. 얻어진 결과의 통계적 분석은 분산분석과 Duncan(1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package(SAS Inst. Inc., NC, USA)를 이용하여 실시하였다.

2. 어분 10%를 함유한 사료급여시의 인 요구량(실험 2)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 평균 개시어체중 $34 \pm 2.04\text{g}(\text{mean} \pm \text{SD})$ 의 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*) 400마리를 사용하였으며, 14일간의 적응기간을 거쳐 6주간(사료급여 42일) 사양실험을 실시하였다. 적응기간 동안에는 실험에 이용하지 않은 시판사료를 전 실험구에 급여하였다. 어체중의 계량 및 마리수 측정은 본 실험의 개시와 종료시에 각각 24시간의 절식후 행하였다.

기초사료는 갈색어분 10%, 대두박 47%, 소맥분 31.8%, 어류농축단백 5%, 어유 5%, 비타민과 무인 함유 미네랄 혼합물 1.2%로 구성되었다(Table 5-3). 이스라엘잉어의 사료내 일인산공급제의 적정수준(Kim과 Ahn, 1993; 김과 김, 1995)과 잉어의 인 요구량 0.6~0.7%(Ogino와 Takeda, 1976)에 기반하여 이용가능 인의 수준을 등급화하기 위하여, 일인산칼슘(monocalcium phosphate: MCP)을 1, 2, 3, 및 4%를 소맥분을 대신하여 첨가하였다.

각 실험사료의 혼합물은 Wenger Extruder X-185를 이용하여 다음과 같은 조건으로 직경 4mm 크기의 펠렛으로 성형하였다: Feeder RPM 35(약 7톤/h); Cylinder내 steam 및 water, 395kg/h 및 21.8-25.8kg/min; Extruder barrel내 steam 및 water, 865-966kg/h 및 2.2-2.6kg/min. 실험사료는 처리당 2 반복(40 마리/반복)으로 완전임의 배치하였다. 기초사료의 인 소화율은 성형된 기초사료를 재분쇄하여 산화크롬을 1% 첨가한 후 육골분쇄기를 이용하여 국수처럼 성형하였으며 분채집은 실험 1에서 전술한 바와 같이 침전분(settled feces)과 부상분(floated feces)을 채집하여 간접법으로 구하였다. 사료내 이용가능한 인(available P)은 분석된 각 실험사료내 총인에서 실험 1에서와 같은 방법으로 기초사료의 측정된 이용가능

인에 대하여 계산하였다(Table 5-4).

나. 사양관리

순환여과식 사육장치 및 수질은 실험 1에서 전술된 것과 동일하였으며 수온은 전 실험기간 동안 28-30℃로 유지되었다. 실험 사료는 일일 3번씩(09:00, 15:00, 18:00) 매 회 섭취도가 떨어질 때까지 급여하였다.

Table 5-3. Ingredient composition of the basal diet

Ingredient	Basal
Brown fish meal	10.0
Soybean meal	47.0
Wheat flour	31.8
Fish protein conc.	5.0
Sardine oil	5.0
Vitamin mix.*	0.8
Mineral mix.*	0.4
MCP	-
Total	100.0

*Supplied the following amount per kilogram of diet: Vitamin A, 40,000 IU; vitamin D₃, 8,000 IU; vitamin E, 100 mg; vitamin K₃, 6mg; thiamin, 40 mg; riboflavin, 60 mg; pyridoxine, 30 mg; vitamin B₁₂, 0.4 mg; pantothenic acid, 90 mg; niacin, 180 mg; biotin, 1 mg; vitamin C, 150 mg; choline, 750 mg; Mg, 240 mg; Mn, 60 mg; Zn, 120 mg; Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

다. 조사 항목

실험 1에 전술된 바와 동일하였다.

라. 분석방법

실험사료 및 어체의 일반성분(Tables 5-4 및 5-6)은 AOAC(1990)의 방법에 따라 실험 1에서 전술된 바와 같이 분석하였다.

Table 5-4. Chemical composition of the experimental diets

Composition	Diet ¹				
	Basal	MCP1	MCP2	MCP3	MCP4
Moisture	15.16	13.91	13.60	13.50	14.67
C.protein ²	40.15	39.87	40.51	39.85	39.74
C.lipid ²	9.98	9.61	10.02	9.43	9.32
C.ash ²	6.68	7.42	7.94	8.62	9.16
Ca ²	1.59	1.73	1.86	2.10	2.14
P ²	0.77	1.03	1.26	1.51	1.76
Av. P ³	0.12	0.36	0.57	0.80	1.02

¹Monocalcium phosphate, BASF, Germany.

²g/100g DM.

³g/100g DM, calculated based on the determined value for basal diet and the P availability of 90% from the MCP.

실험사료내 지방은 익스트루전 가공중 지방이 단백질 및 탄수화물과 결합하기 때문에(Wenger, 1993) 산 가수분해법으로 에틸알콜(C₂H₅OH) 2ml와 진한염산(Conc.HCl) 10ml를 가한 후 15분간 가열, 진탕하여 가수분해한 후 공병에 의한 에테르 추출에 의해 분석하였다. 실험 개시시 15마리와 종료시에 반복당 10마리의 어류를 채취한 후 즉시 파쇄하여 수분측정(3반복/시료)에 사용하였으며, 나머지 시료는 기타 성분 분석에 이용되었다. 기초사료의 인 소화율 측정을 위한 사료와 분내 산화크롬(Cr₂O₃), 그리고 얻어진 결과의 통계처리는 실험 1에서 전술된 방법으로 분석하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 어분 30%를 함유한 사료급여시의 인 요구량(실험 1)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

풍건물 기준으로 실험사료는 단백질 38%, 지방 8%의 조성을 보였으며 회분의 경우 일인산칼슘(MCP)의 수준이 증가함에 따라 증가하였고, 후속적으로 칼슘과 인(P) 수준 또한 동일한 경향을 보였다(Table 5-2). 한편, 침전분과 부상분의 채집으로 측정된 기초사료(basal diet)의 이용가능 인 함량(0.24g/100g DM)은 제4장에서와 같이 분짜내기법으로 측정한 원료사료의 이용가능 인 함량에 의해 계산된 수치(0.15g: 갈색어분 30% x 2.54% P x 14% = 0.11g, 대두박 30% x 0.77% P x 11% = 0.03g, 소맥분 25% x 0.42% P x 10% = 0.01g)보다 훨씬 높게 나타났다. 실험사료를 8주간 섭취한 이스라엘잉어의 증체량, 사료섭취량, 사료요구율(FCR), 단백질 이용효율(PER), 일일성장지수(DGI)는 Table 5-5, Fig. 5-1에 나타난 바와 같다.

실험기간 동안의 미당 사료섭취량은 약 45g으로 처리구간 유의적인 차이를 보이지 않았으나($P > 0.05$), 증체량은 MCP의 첨가수준이 증가할수록 증가하여 2% 첨가구(MCP2)에서 가장 높게 나타났다. 그러나 MCP의 첨가수준이 3%구에서는 2%구에 비해 유의적으로 감소하였으며, 이러한 현상은 4%, 5%로 첨가수준이 증가하여도 동일하게 나타났다.

사료요구율(FCR)은 MCP2구가 1.02로 가장 우수하였고($P < 0.05$) 기초사료구가 1.51로 가장 저조하였다($P < 0.05$). 기초사료에

MCP를 1% 첨가한 결과 사료요구율이 1.22로 유의적으로 개선되었으며($P<0.05$), MCP를 2%까지 첨가하여 유효인의 계산치가 0.67%로 될 때까지 지속적으로 사료요구율이 개선되었으나 3% 이상 첨가한 구에서는 더 이상의 개선이 없었으며 오히려 사료요구율이 유의적으로 저하되었고($P<0.05$) 세 처리구(MCP 3, 4 및 5%) 간에는 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

Table 5-5. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 8 weeks¹

Items	Diet						sem
	Basal	MCP1	MCP2	MCP3	MCP4	MCP5	
Initial wt. <i>g/fish</i>	18.1	18.0	17.9	17.9	18.0	18.0	0.61
Wt. gain <i>g/fish</i>	29.4 ^d	37.0 ^c	44.1 ^a	39.4 ^b	39.9 ^b	39.4 ^b	0.72
Feed Intake <i>g DM/fish</i>	44.3	45.1	45.0	44.3	44.5	44.1	1.16
FCR ²	1.51 ^a	1.22 ^b	1.02 ^d	1.12 ^c	1.11 ^c	1.12 ^c	0.03
PER ³	1.58 ^d	1.95 ^c	2.33 ^a	2.17 ^b	2.20 ^b	2.18 ^b	0.05
DGI ⁴	1.81 ^d	2.15 ^c	2.44 ^a	2.26 ^b	2.27 ^b	2.25 ^b	0.03

¹Values(means of triplicate groups) in the same row not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$).

²Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet wt. gain.

³Protein efficiency ratio = wet wt. gain/protein intake.

⁴Daily growth index(%) = $100[(\text{final wt.})^{1/5} - (\text{initial wt.})^{1/5}] / \text{feeding days}$.

단백질 이용 효율(PER)도 MCP2구가 2.33으로 가장 우수하였고($P<0.05$) 기초사료구가 1.58로 가장 저조하였다($P<0.05$). 단백질

이용효율에서도 사료요구율에서 얻은 결과와 같이 MCP를 3% 이상 첨가하여도 더 이상의 개선이 없었으며 MCP3, MCP4 및 MCP5구 간에는 차이가 없었다($P>0.05$).

일일성장지수(DGI)도 단백질 이용효율에서 나타난 경향과 같이 MCP2사료 급여구가 2.44로 가장 우수하였고($P<0.05$), 기초사료 급여구가 1.81로 가장 저조하였으며($P<0.05$) 나머지 세 처리구 간에는 차이가 없었다($P>0.05$).

기초사료구의 측정된 이용가능 인 함량에 MCP로부터 유래한 인의 이용성 90%를 더하여 계산된 실험사료의 이용가능 인 수준은 사료 건물기준으로(DM basis) 0.24%에서 1.27%로 나타났다. 한편, 성장실험 결과 MCP 2% 첨가구(이용가능 인 0.67%)에서 증체량 뿐 아니라 FCR, PER 및 DGI가 가장 우수하게 나타나 Ogino와 Takeda(1976)에 의해 보고된 잉어의 인 요구량(0.6-0.7%)과 차이가 나타나지 않았다.

그러나 김과 김(1995)은 MCP의 첨가수준을 등급화한 사료를 평균 104g의 이스라엘잉어에 급여했을 때 MCP 1% 첨가구(이용가능인 계산치 0.34%)가 무첨가구에 비해 증체량, FCR 및 PER에서 유의적인 증가를 나타냈으나, 그 이상의 첨가구에서는 유의적인 증감현상이 발견되지 않았다고 보고하였다. 이와 같은 차이는 실험사료의 조성파 어체중의 차이에 기인한 것으로 보이며, 치어나 종묘어와 같은 초기성장단계의 어류에서보다 육성어나 성어와 같은 중기 또는 후기성장단계의 어류에서 인 요구량이 더 낮은 것이 아닌가 추정된다. 찬넬메기의 경우 어체중 24g의 인 요구량이 0.8%(Andrews 등, 1973)인 반면, 어체중 2g에 있어서는 0.45%(Lovell, 1978)로 보고되었다. 그러나 전자의 경우 요구량 수준은 이용가능 인이 아닌 총

인으로서 Lovell(1978)의 보고자료에 의거 하여 이용가능 인을 계산하면 0.5% 수준으로 2g과 24g의 어류에서의 인 요구량이 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 하지만 Ketola와 Richmond(1994)는 어체중 9g과 35g의 무지개송어의 인 요구량이 동일하지 않음을 보고하였고, Ogino와 Takeda (1978)가 어체중 1.2g인 무지개송어의 인 요구량을 0.7~0.8%로 보고하였고, Rodehutschord 와 Pfeffer (1995)는 체중 50~200g인 무지개송어의 인 요구량은 건물사료내 0.37%라고 보고하였다.

이러한 결과들에 근거해 볼 때, 초기성장단계의 어류를 이용하여 측정된 인 요구량은 중기 및 후기성장 단계에서 재측정되어야 할 필요성이 인정된다고 하겠다. 어류의 절대치 사료섭취량은 성장단계별로 증가하기 때문에 성장이 증가함에 따라 사료내 이용가능 인의 수준은 상대적으로 감소될 수 있을 것으로 보인다. Fig. 5-1에서 알 수 있듯이 증체량, 사료요구율 및 일일성장지수를 감안할 때 이용가능 인 요구량은 건물사료내 0.67%인 것을 알 수 있다.

나. 체조직 조성

개시어와 8주간의 사료를 섭취한 종료어의 체조직 조성은 Table 5-6에 나타난 바와 같다. 개시어의 수분함량은 79%로 기초사료구(76.7%) 및 MCP 첨가구(평균 75.3%)에 비해 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 이는 어체중이 증가(18g에서 56g으로)할수록 수분함량은 감소한다는 보고(Gerking, 1955; Brown, 1957)와 일치하였다. 전어체내 단백질 함량은 모든 실험구가 약 15%로 유사하게 나타났으며, 이는 개시어 13.8%에 비해 유의적으로 증가한 것이었다. 지방은 개시어가 4.5%로 가장 낮았으며, 기초사료구가 6.4% 및 MCP 첨가

구가 7.3에서 7.7%로서 개시어나 기초사료구에 비해 모두 유의적으로 증가하였다. 회분의 경우 개시어가 2.0%로 모든 실험구 1.9%에 비해 높았다. 그러나 인의 경우 개시어가 0.3%로 가장 낮았으며 MCP5구가 0.36%로 가장 높았다. 하지만 기초사료구와 MCP 첨가구 간의 유의적인 차이는 발견되지 않았다($P>0.05$).

P requirement

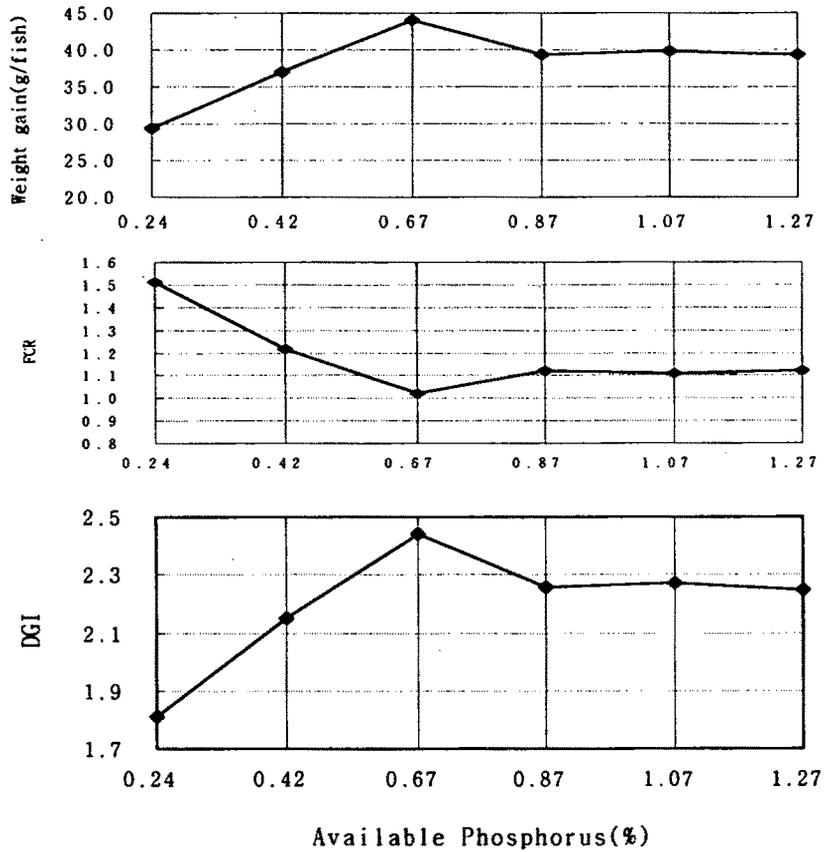


Figure 5-1. Weight gain, feed conversion ratio(FCR) and daily growth index(DGI) of carp fed the experimental diets for 8 weeks.

어류의 전어체내 인 함량은 어종, 어체중 및 영양상태에 따라 약간의 차이가 존재하지만(Piclet, 1987), 생체 단위당 연어류의 경우 0.4~0.5%로 상대적으로 일정한 수준으로 유지된다(Lall, 1991). 그러나 잉어의 경우 인의 수준은 어체중 7.5~11.4g의 범위에서 0.33~0.70%로 큰 변이를 나타내고 있으며(Ogino와 Takeda, 1976), Watanabe 등(1987)의 연구에서는 어체중 6~50g의 잉어에서 0.48~0.56%로 나타나고 있다. 그러나 김과 우(1994)가 시판사료를 섭취한 45~53g의 이스라엘잉어를 분석한 결과는 0.31~0.35%로서 본 실험의 수치와 유사하였다. 그러나 약 170g과 280g의 이스라엘잉어에서 분석된 인의 함량은 각각 평균 0.53% 및 0.47%로서 상대적으로 높게 나타났다(김, 1994; 김과 김, 1995).

김(1994)은 잉어가 이스라엘잉어에 비해 어체내 인 함량이 높은 이유는 잉어가 비늘로 완전히 덮혀있기 때문이라고 지적하였다. 한편, 기초사료구의 경우 지방함량이 MCP 첨가구에 비해 유의적으로 낮게 나타났는데, Ogino 등(1979)이 평균 개시체중 2.4g의 잉어를 이용하여 이인산칼슘(DCP)과 삼인산칼슘(TCP)을 각각 첨가하여 사료내 총인이 0.9% 및 0.69%되는 사료를 급여한 결과 전어체내 지방함량이 각각 11.0% 및 10.6%로 일인산나트륨을 첨가한 사료 급여구(6.9~7.7%)보다 높았다고한 보고와, 잉어에 있어서 사료내 인이 지방함량과 지방의 조성에 미치는 영향에 있어서 사료내 인을 0.0032%에서 1.88%까지 함량을 달리하여 6주간 실험한 결과 사료내 인이 부족한 사료(0.0032% 및 0.376%) 급여구에서 도체내 지방함량이 9.5% 인데 반하여, 인 함량이 1.88%인 사료급여구에서는 도체내 지방함량이 6.0%로 인함량이 부족할 때 지방함량이 증가하였다는 Takeuchi와 Nakazoe(1981)의 보고와 상이한 결과를 나타내었다.

Table 5-6. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 8 weeks*

Diet	Moisture	Protein	Lipid	Ash	P
Initial	79.3±0.32 ^a	13.8±0.18 ^b	4.5±0.11 ^c	2.0±0.08 ^a	0.30±0.02 ^b
Basal	76.7±0.13 ^b	15.1±0.12 ^a	6.4±0.05 ^b	1.9±0.01 ^b	0.32±0.01 ^{ab}
MCP1	75.5±0.05 ^c	15.0±0.10 ^a	7.3±0.07 ^a	1.9±0.01 ^{ab}	0.36±0.01 ^a
MCP2	75.3±0.02 ^c	14.9±0.24 ^a	7.7±0.06 ^a	1.9±0.03 ^{ab}	0.35±0.01 ^{ab}
MCP3	75.3±0.15 ^c	15.1±0.13 ^a	7.4±0.14 ^a	1.9±0.04 ^{ab}	0.34±0.02 ^{ab}
MCP4	75.2±0.24 ^c	15.1±0.12 ^a	7.7±0.10 ^a	1.9±0.02 ^{ab}	0.35±0.02 ^{ab}
MCP5	75.2±0.15 ^c	15.0±0.15 ^a	7.6±0.35 ^a	1.9±0.03 ^{ab}	0.36±0.02 ^a

*Values are the means±SE of triplicate groups, each pooled from 15 fish and values that in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

다. 질소 및 인의 배설량

어체내 질소(단백질/6.25) 및 인의 분석에 기반하여 계산된 질소 및 인의 배설량과 축적효율은 각각 Tables 5-7과 5-8, Fig. 5-2에 나타나 있다. 8주간의 실험기간 동안 한마리의 어류가 섭취한 질소량은 2.9~3.0g으로 처리구간에 유의적인 차이가 없었으나 (P>0.05), 미당 체내 축적된 질소량은 기초사료구가 0.75g으로 가장 낮았으며 (P<0.05), MCP2구가 1.07g으로 가장 높게 나타났다 (P<0.05). 그러나 MCP2, 3, 4구간에는 유의적인 차이가 없이 (P>0.05) 0.99~1.07g으로 일정하게 유지되었다. 질소 축적효율 (NRE)은 MCP의 첨가수준이 증가함에 따라 25.1%(기초사료구), 30.3%(MCP1구), 35.6%(MCP2구)로 유의적인 증가현상을 보였으나 (P<0.05), 첨가수준이 2%(MCP2구) 이상의 처리구에서는 유의적인 차이가 관찰되지 않았다 (P>0.05). 개시어와 종료어의 체중에 기반하

여 kg 증체단위당 계산된 질소 배설량은 44.2g(MCP2구)에서 75.8g(기초사료구)의 큰 변이를 나타냈는데, MCP3, 4 및 5구간에는 유의적인 차이가 없었으나(P>0.05), MCP1구는 57.1g으로 처리구중 두번째로 높은 수치를 보였다(Table 5-7).

Table 5-7. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 8 weeks¹

Diet	N in diet g/100g DM	N intake g/fish	N gain g/fish	N excretion g/kg wt. gain	NRE ² %
Basal	6.70	2.98	0.75 ^d	75.8 ^a	25.1 ^c
MCP1	6.74	3.04	0.93 ^c	57.1 ^b	30.3 ^b
MCP2	6.72	3.02	1.07 ^a	44.2 ^d	35.6 ^a
MCP3	6.56	2.91	0.99 ^{bc}	48.8 ^c	34.0 ^a
MCP4	6.51	2.90	1.01 ^b	47.5 ^{cd}	34.6 ^a
MCP5	6.56	2.90	0.98 ^{bc}	48.7 ^c	33.7 ^a
sem		0.03	0.06	2.32	1.14

¹Values(means of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

²Nitrogen retention efficiency = 100((final body wt. x % N in whole body) - (initial body wt. x % N in whole body))/N intake.

한편, 섭취량이 동일했던 질소의 경우와는 달리 마리당 인 섭취량의 경우 사료내 총인의 함량이 MCP의 첨가량에 따라 달랐기 때문에, MCP의 첨가수준이 증가함에 따라 0.53g(기초사료구)에서 1.03g(MCP 5구)으로 각 처리구에서 유의적인 증가가 관찰되었다(P<0.05). 그러나 미당 인 축적량은 기초사료구(0.10g)를 제외한 모든 처리구가 약 0.15g으로 동일하게 유지되었다.

인 축적효율(PRE)은 기초사료구가 18.8%로 가장 낮았던 반

면, MCP1구가 23.4%로 가장 높게 나타났다. 그리고 MCP의 첨가수준이 증가함에 따라 21.6%(MCP2구)에서 14.8%(MCP5구)로 지속적인 감소현상을 나타냈다. 개시어와 종료어의 체중에 기반하여 계산된 kg 증체단위당 인 배설량은 12.9g(MCP1구)에서 22.3g(MCP5구)로서 MCP의 첨가수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다. 그러나 MCP2구(13.3g)는 가장 낮은 수치를 보였던 MCP1구와 유의적인 차이가 없었으며, 기초사료구의 경우 14.6g으로 처리구의 인 배설량중 세번째로 높았다(Table 5-8).

Table 5-8. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 8 weeks¹

Diet	Av.P in diet g/100g DM	P intake g/fish	P gain g/fish	P excretion g/kg wt. gain	PRE ² %
Basal	0.24	0.53 ^f	0.10 ^b	14.6 ^d	18.8 ^{bc}
MCP1	0.42	0.62 ^e	0.15 ^a	12.9 ^e	23.4 ^a
MCP2	0.67	0.75 ^d	0.16 ^a	13.3 ^e	21.6 ^{ab}
MCP3	0.87	0.83 ^c	0.14 ^a	17.5 ^c	16.8 ^{cd}
MCP4	1.07	0.93 ^b	0.15 ^a	19.7 ^b	15.8 ^d
MCP5	1.27	1.03 ^a	0.15 ^a	22.3 ^a	14.8 ^d
SEM		0.02	0.01	0.66	1.56

¹Values(means of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

²Phosphorus retention efficiency = 100{(final body wt. x % P in whole body) - (initial body wt. x % P in whole body)} / P intake.

어류양식에 의한 수질오염은 궁극적으로 급여되는 사료로부터 유래하기 때문에 사료내 영양소의 조절로 단백질과 인의 수중 배설량을 줄이기 위한 많은 연구결과가 보고되었다(Wiesmann 등,

1988; Ketola 등, 1991; Kim과 Kaushik, 1992; Cho, 1993; Jacobsen과 Borresen, 1995). 그러나 이러한 연구는 모두 연어류에 국한되고 있어 국내의 실정과 같이 잉어양식에 의한 오염물의 보고자료는 거의 찾아보기 어렵다. 국내 시판사료의 급여에 의한 kg 증체당 질소 및 인 배설량은 개시어 25g의 경우 평균 각각 51g 및 12.3g(김과 우, 1994) 그리고 개시어 194g의 경우 평균 각각 54.6g 및 12.8g(김, 1994)으로 보고되어 있다. 본 실험의 경우 MCP2구의 질소 배설량은 44.2g으로 가장 낮았는데, 이는 인의 생리적 요구량 충족으로 인해 질소 축적율이 증가한데서 기인한 것으로 추정된다. 한편, 인 배설량은 13.3g으로 MCP1구(12.9g)에 비해 유의적인 차이는 없었으나 약간 높았다.

본 실험에서 성장율과 사료이용효율, 질소 및 인 배설량에 근거할 때 이용가능 인의 수준이 0.67%인 MCP2구가 가장 우수하게 나타났는데, 이것은 어류의 계통과 어체중 및 사용된 사료는 달랐지만 Ogino와 Takeda(1976)에 의해 보고된 잉어의 인 요구량(0.6~0.7%) 수치와 일치하고 있다. 그러나 본 실험에서 가장 낮게 나타난 MCP1구의 증체단위당 인 배설량은 김과 김(1994)의 결과에서 나타난 시판사료의 급여에 의한 수치와 유사하여 인 배설량의 감소측면에서는 개선효과를 보이지 않았다. 이것은 본 실험사료중 MCP1 사료의 총인 함량은 1.28%로 김과 김(1994)이 사용한 시판사료의 평균 총인함량 1.50%보다 낮았으나 개시어체중의 차이(107g vs 18g)에 의한 것으로 보인다. 즉, 18g 이스라엘잉어의 유효인 요구량은 본 실험에서와 같이 0.67%로 나타난 반면 김과 김(1995)의 실험에서 개시체중 104g인 이스라엘잉어에서 유효인 계산치가 0.34%일 때(MCP 1% 첨가구) 가장 성적이 좋았다는 보고를 근거로 해볼 때 시판사료

의 급여로 유효인의 요구량이 어느정도 충족되었던 것으로 사려된다.

김과 김(1995)은 어분과 전지대두박의 수준을 8% 및 40%로 고정한 사료내 MCP의 첨가수준에 따른 개시어체중 104g 이스라엘잉어의 인 배설량을 조사한 결과 MCP 1% 첨가구에서 5.6g으로 가장 낮게 나타났다고 하였는데, 이 수치는 본 연구결과 MCP1구에서 나타난 최소치보다 50% 이상 감소된 것이다. 따라서 인의 함량이 낮은 저 인 어분과 같은 원료사료의 사용으로 사료내 총인의 수준을 요구량 수준으로 줄일 경우 인 배설량의 격감이 충분히 가능할 것으로 사료된다. 한편, 본 실험결과 증체량, 단위 증체당 질소 및 인 배설량을 감안해 볼 때 Fig. 5-2와 같이 어체중 18g의 이스라엘잉어의 경우 건물사료내 이용가능한 인 요구량은 0.67% 수준인 것으로 나타났다.

P requirement

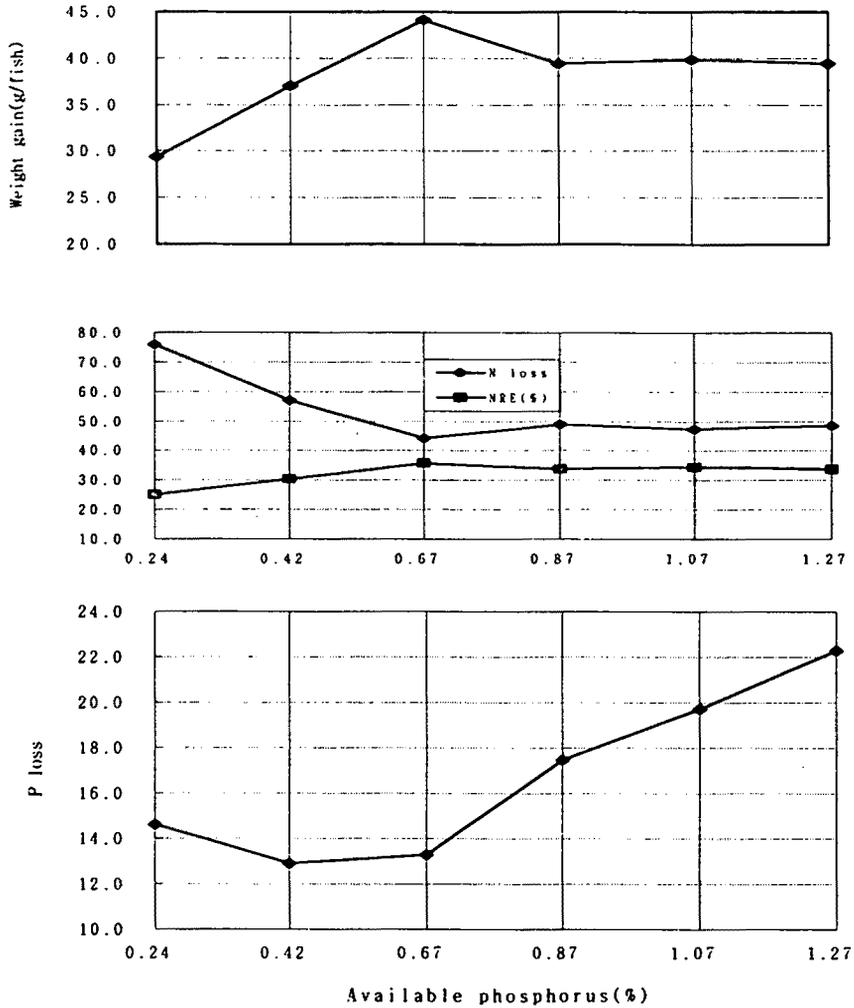


Figure 5-2. Weight gain, nitrogen loss(g/kg wt. gain), nitrogen retention efficiency (NRE, %) and phosphorus loss(g/kg wt. gain) of carp fed the experimental diets for 8 weeks.

2. 어분 10%를 함유한 사료 급여시의 인 요구량(실험 2)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

건물기준으로 기초사료는 단백질 40%, 지방 10%의 조성을 보였으며, 회분의 경우 일인산칼슘(MCP)의 수준이 증가함에 따라 기초사료 6.7%에서 9.2%(MCP4)로 증가하였고 뒤이어 칼슘과 인(P) 수준 또한 동일한 경향을 보였다(Table 5-4). 한편, 침전분과 부상분의 채집으로 측정된 기초사료(basal diet)의 이용가능 인 함량은 0.12%으로 나타났다. 실험사료를 6주간 섭취한 이스라엘잉어의 증체량, 사료섭취량, 사료이용효율, 단백질 이용효율, 일일성장지수는 Table 5-9, Fig. 5-3에 나타난 바와 같다.

실험기간 동안의 마리당 건물사료 섭취량은 처리구간에는 53~58g으로 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 증체량은 기초사료구(이용가능 인 0.12%)에서 43.8g으로 이용가능인 0.36%구(49.6g)와는 차이가 없었으나($P>0.05$) 나머지 처리구보다 낮았고($P<0.05$), 이용가능 인 0.36% 이상에서는 차이가 없었다($P>0.05$). 사료요구율(FCR)은 1.00에서 1.33의 범위로서 기초사료 급여구가 1.33으로 가장 높게 나타났으며($P<0.05$), 이용가능 인을 0.36%로 증가시킨 경우 1.17로 유의적으로 개선되었고($P<0.05$), 이용가능 인이 0.57% 이상으로 증가하여도 사료요구율에는 차이가 없었다($P>0.05$).

단백질 이용효율(PER) 또한 기초사료구 1.88에서 이용가능인 1.02%구가 2.51로 증가하였다. 일일성장지수(DGI)는 2.43에서 2.95로서 이용가능 인 0.36% 이상에서는 차이가 없었으나($P>0.05$) 이용가능 인 0.57%구가 높게 나타났으며, 기초사료구 및 이용가능인 0.36%구와 함께 저조하게 나타났다($P<0.05$).

Table 5-9. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Items	Diet					sem
	Basal	MCP1	MCP2	MCP3	MCP4	
Initial wt. g/fish	34.8	34.3	34.0	33.5	33.5	2.67
Wt. gain g/fish	43.8 ^b	49.6 ^{ab}	55.9 ^a	53.6 ^a	53.3 ^a	3.03
Feed intake g DM/fish	58.0	57.8	57.5	54.3	53.4	1.81
FCR ²	1.33 ^a	1.17 ^b	1.03 ^{bc}	1.01 ^c	1.00 ^c	0.06
PER ³	1.88 ^b	2.15 ^b	2.40 ^{ab}	2.48 ^a	2.51 ^a	0.10
DGI ⁴	2.43 ^b	2.68 ^{ab}	2.95 ^a	2.87 ^a	2.86 ^a	0.14

¹Values(means of duplicate groups) in the same row not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

²Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet wt. gain.

³Protein efficiency ratio = wet wt. gain/protein intake.

⁴Daily growth index(%) = 100{(final wt.)^{1/6} - (initial wt.)^{1/6}}/feeding days.

성장실험 결과 이용가능 인의 수준이 0.57%인 MCP 2% 첨가구에서 증체량뿐 아니라 DGI가 가장 우수하게 나타났는데, 이러한 수치는 실험 1에서 18g의 이스라엘잉어를 이용하여 구한 인 요구량(0.67%) 수치보다는 0.1% 낮았다. 이와 같은 결과는 무지개송어에서 보고된 내용 즉, Ogino와 Takeda(1978)가 어체중 1.2g인 무지개송어의 인 요구량을 0.7~0.8%로 보고하였고, 체중 50~200g인 무지개송어의 인 요구량은 건물사료내 0.37%라고 보고한(Rodehutschord와 Pfeffer, 1995) 내용에 비취볼 때 본 실험의 결과는 큰 차이는 보이지 않지만 잉어에서도 어체중 증가에 따라 인 요구량이 낮아지는 경향이 있음을 알 수 있다.

P requirement

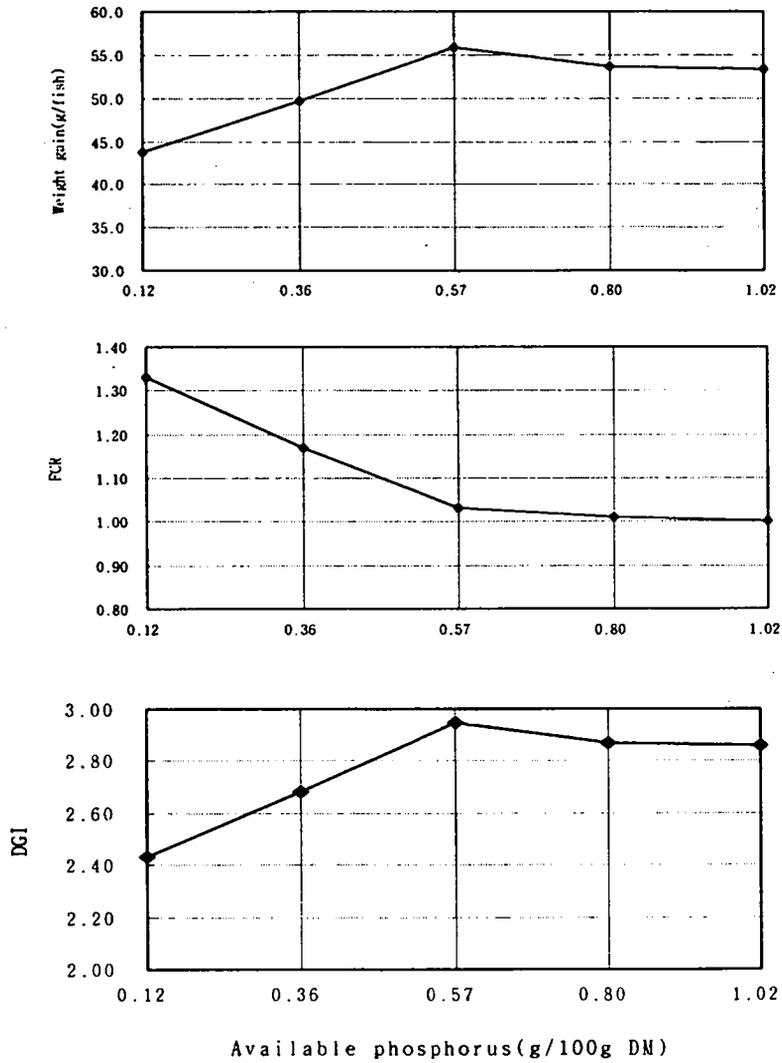


Figure 5-3. Weight gain, feed conversion ratio(FCR) and daily growth index(DGI) of carp fed the experimental diets for 6 weeks

나. 체조직 조성

개시어와 6주간의 사료를 섭취한 종묘어의 체조직 조성은 Table 5-10에 나타난 바와 같다. 개시어의 수분함량은 75.8%로 이용가능 인 1.02%인 구(MCP4; 76.3%)를 제외한 타 처리구보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$).

전어체내 단백질 함량은 MCP3 구가 14.9%로서 MCP2 구를 제외한 다른 구보다 유의적으로 높았으며($P < 0.05$), MCP1 및 MCP4 구가 각각 14.2% 및 14.3%로 가장 낮게 나타났다($P < 0.05$).

지방은 개시어가 6.5%로 이용가능 인의 수준이 0.57% 이상인 구(MCP2, MCP3 및 MCP4)와 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 이용가능 인의 수준이 0.12% 및 0.36%구에서는 11% 및 9.6%로 타처리구에 비해 높게 나타났다($P < 0.05$). 이러한 결과는 이용가능 인의 부족으로 지방산의 β -산화과정이 억제되어 체내 지방함량이 증가한다는 Takeuchi와 Nakazoe(1981)의 보고와 일치하는 결과였다. 회분의 경우 이용가능 인의 수준이 1.02%인 구가 2.3%로 이용가능 인 0.57% 및 0.8%구를 제외한 타 처리구보다 유의적으로 높았으며($P < 0.05$), 사료내 회분의 증가로 어체내 회분 함량이 증가하는 경향이 있었다. 그 결과 칼슘과 인 또한 유사한 경향을 보였다.

어류의 전어체내 인 함량은 어종, 어체중 및 영양상태에 따라 약간의 차이가 존재하지만, 연어류의 경우 0.4~0.5%로 상대적으로 일정한 수준을 유지한다(Lall, 1991). 그러나 잉어의 경우 인의 수준은 어체중 7.5~11.4g의 범위에서 0.33~0.70%로 큰 변이를 나타내고 있으며(Ogino와 Takeda, 1976), Watanabe 등(1987)의 연구에서는 어체중 6~50g의 잉어에서 0.48~0.56%로 나타나고 있다. 그러나 김과 우(1994)가 시판사료를 섭취한 45~53g의 이스라엘잉어를 분석

한 결과는 0.31~0.35%로 나타났으며, 약 170g과 280g의 이스라엘 잉어에서 분석된 인의 함량은 각각 평균 0.53% 및 0.47%로서 상대적으로 높게 나타났다(김, 1994; 김과 김, 1995).

Table 5-10. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks*

Diet	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Ca	P
Initial	75.8±0.11 ^a	14.6±0.11 ^b	6.5±0.25 ^c	1.8±0.08 ^b	0.7±0.06 ^d	0.43±0.01 ^a
Basal	71.6±0.08 ^d	14.6±0.01 ^b	11.0±0.38 ^a	1.9±0.04 ^b	0.7±0.04 ^{cd}	0.39±0.02 ^b
MCP1	73.3±0.11 ^c	14.2±0.01 ^c	9.6±0.46 ^b	1.8±0.20 ^b	0.7±0.06 ^{cd}	0.37±0.02 ^b
MCP2	75.1±0.20 ^b	14.7±0.02 ^{ab}	7.5±0.06 ^c	2.1±0.05 ^{ab}	1.1±0.04 ^a	0.45±0.01 ^a
MCP3	74.9±0.35 ^b	14.9±0.03 ^a	7.4±0.45 ^c	2.1±0.05 ^{ab}	1.0±0.02 ^{ab}	0.44±0.01 ^a
MCP4	76.3±0.17 ^a	14.3±0.08 ^c	6.5±0.42 ^c	2.3±0.05 ^a	0.9±0.03 ^{bc}	0.44±0.00 ^a

*Values are the means±SE of duplicate groups, each pooled from 10 fish and values that in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

김(1994)은 잉어가 이스라엘 잉어에 비해 어체내 인 함량이 높은 이유는 잉어가 비늘로 완전히 덮혀있기 때문이라고 보고하였다. 본 실험의 결과 이용가능 인의 수준이 0.57% 이상구에서 인 함량은 약 0.44%로 어체중 18g을 이용한 실험 1에서의 평균치 0.35%보다 높게 나타났다. 기초사료구와 이용가능 인 0.36%구의 경우 체지방함량이 타처리구에 비해 유의적으로 높게 나타났는데, 이것은 인이 결핍된 참돔(Sakamoto와 Yone, 1978; 1980)과 잉어(Takeuchi와 Nakazoe, 1981)의 어체조직내 지방축적율이 증가하였다는 연구자들의 결과와 잘 부합하였다.

다. 질소 및 인의 배설량

어체내 단백질 및 인의 분석에 기반하여 계산된 질소 및 인의 배설량과 축적효율은 각각 Tables 5-11과 5-12, Fig. 5-4에 나타나 있다. 6주간의 실험기간 동안 한마리의 어류가 섭취한 질소량은 3.4~3.7g으로 처리구간에 유의적인 차이가 없었으나($P>0.05$), 마리당 어체내 증가된 질소량은 기초사료구와 MCP1 구가 각각 1.02g 및 1.11g으로 유의적으로 낮았으며($P<0.05$), MCP2 구가 1.33g으로 가장 높게 나타났다. 그러나 그 이상의 인 수준에서는 유의적인 차이가 없이 일정하게 유지되었다.

질소축적효율(NRE)은 사료내 이용가능 인의 함량이 증가함에 따라 기초사료구가 27.4%, MCP1 구가 30.1%로 증가하는 경향이 있었으나 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 그러나 이용가능 인이 0.57%(MCP2)로 증가하자 35.6%로 유의적인($P<0.05$) 증가현상을 보였으며, 이용가능 인의 함량이 0.57% 이상인 처리구에서는 유의적인 차이가 관찰되지 않았다.

개시어와 종료어의 체중에 기반하여 kg 증체단위당 계산된 질소 배설량은 41.2g(MCP4구)에서 62.0g(기초사료구)의 큰 변이를 나타냈는데, 기초사료에 MCP를 1% 첨가하여 이용가능 인이 0.12%에서 0.36%로 증가한 경우 kg증체당 질소배설량이 62.0g에서 52.0g으로 유의적으로 감소되었으며($P<0.05$), 이용가능 인이 0.57%(MCP2)로 증가한 경우(MCP 2%) 42.9g으로 약간 감소하였으나 유의차는 없었다($P>0.05$). 한편, 이용가능 인이 0.57%(MCP2 구)에서 더 이상 증가하여도 질소 배설량은 유의성있게 감소하지는 않았다(Table 5-11). 한편, 본 실험에서 인 요구량이 충족된 처리구의 증체

단위당 질소배설량 및 질소축적효율은 어체중 18g의 실험(실험 1)에서 얻어진 수치와 거의 유사하게 나타나, 성장단계별 차이가 없음을 보여주었다. 이는 인의 생리적 요구량 충족으로 인해 질소 축적을 이 증가한데서 기인한 것으로 추정된다.

Table 5-11. Nitrogen(N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	N in diet g/100g DM	N intake g/fish	N gain g/fish	N excretion g/kg wt. gain	NRE ² %
Basal	6.43	3.73	1.02 ^c	62.0 ^a	27.4 ^b
MCP1	6.41	3.67	1.11 ^{bc}	52.0 ^b	30.1 ^b
MCP2	6.39	3.72	1.33 ^a	42.9 ^{bc}	35.6 ^a
MCP3	6.38	3.46	1.30 ^a	40.3 ^c	37.6 ^a
MCP4	6.36	3.40	1.21 ^{ab}	41.2 ^c	35.6 ^a
sem		0.17	0.07	3.75	1.41

¹Values(means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

²Nitrogen retention efficiency = 100{[(final body wt. x % N in whole body) - (initial body wt. x % N in whole body)]/N intake.

인 섭취량의 경우 사료내 총인의 함량이 일인산칼슘(MCP)의 첨가량에 따라 달랐기 때문에, MCP의 첨가수준이 증가함에 따라 0.44g(기초사료구)에서 0.94g(이용가능 인 1.02%구)로 각 처리구에서 유의적인 증가가 관찰되었다(P<0.05). 그러나 마리당 어체내 인 증가는 기초사료구(0.16g)와 이용가능 인 0.36%구(0.17g)를 제외한다 처리구에서 0.24~0.26g으로 유의적인(P<0.05) 증가현상을 보이면서 비슷한 수준으로 유지되었다.

Table 5-12. Phosphorus(P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	Av. P in Diet g/100g DM	P intake g/fish	P gain g/fish	P excretion g/kg wt. gain	PRE ² %
Basal	0.12	0.44 ^c	0.16 ^b	6.5 ^d	36.1 ^a
MCP1	0.36	0.60 ^d	0.17 ^b	8.7 ^c	27.8 ^b
MCP2	0.57	0.72 ^c	0.26 ^a	8.3 ^c	36.1 ^a
MCP3	0.80	0.82 ^b	0.24 ^a	10.8 ^b	29.5 ^b
MCP4	1.02	0.94 ^a	0.24 ^a	13.1 ^a	25.7 ^b
SEM		0.03	0.01	3.75	1.75

¹Values(means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

²Phosphorus retention efficiency = 100((final body wt. x % P in whole body) - (initial body wt. x % P in whole body))/P intake.

인 축적 효율(PRE)은 기초사료구가 36.1%로 이용가능 인 0.57%구와 동일한 수준을 나타낸 반면, 타처리구는 25.7%에서 29.5%로 앞의 두 처리구(Basal, MCP2 구)보다 낮게 나타났다(P<0.05).

개시어와 종료어의 체중에 기반하여 계산된 kg 증체단위당 인 배설량은 기초사료구가 6.5g으로 가장 낮았으며, 이용가능 인의 수준이 1.02%로 가장 높았던 구(MCP4)가 13.1g으로 가장 높게 나타났다(P<0.05). 기초사료구에 MCP 1% 및 2%를 첨가하여 이용가능 인이 각각 0.36%, 0.57%로 증가하였을 때 인의 배설량이 유의적으로 증가하였으며(P<0.05), 이용가능 인 0.57%구가 8.3g으로 이용가능 인 0.36% 구보다 약간 줄어들었으나 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 그러나 이용가능 인이 0.57% 이상으로 증가한 경우 10.8g(MCP3)과 13.1g(MCP4)으로 유의적으로(P<0.05) 증가하였다.

기초사료구의 경우 인 배설량이 낮았던 원인은 인 축적효율이 높고 인 섭취량이 마리당 0.44g 으로 상대적으로 아주 낮았던데서 기인한 것으로 보인다(Table 5-12).

국내 시판사료의 급여에 의한 kg 증체당 질소 및 인 배설량은 52.8g 및 12.6g(김과 우, 1994; 김, 1994)으로 보고되었다. 한편, 실험 1의 Table 5-8에서 인의 요구량이 충족된 실험구의 인 배설량은 13.3g으로 본 실험의 결과 얻어진 수치보다 훨씬 높게 나타났는데, 이것은 기초사료의 총인 함량 차이에서 기인한 것으로 보인다. 즉, 본 실험에서 사용된 기초사료구의 총인 함량은 0.8%였던 반면, 앞선 실험의 기초사료내 총인 함량은 1.2%로 높았기 때문일 것이다.

이와 같은 결과는 적절한 사료배합으로 총인의 수준을 가능한 낮추고 이용가능한 인의 함량을 증가시킬 경우 인 배설량이 큰 폭으로 감소될 수 있음을 시사한다. 한편, 본 실험에서 성장율과 사료이용효율, 일일 성장지수, 질소 및 인 배설량에 근거할때 이용가능한 인의 수준이 0.57%인 MCP 2% 첨가구가 가장 우수하게 나타났는데(Fig. 5-4), 실험 1에서 나타난 수치 0.67%보다는 0.1% 정도 낮았다. 이러한 결과는 성장의 증가 또는 체중의 증가와 함께 사료섭취량이 증가하기 때문인 것으로 해석될 수 있을 것이다.

P requirement

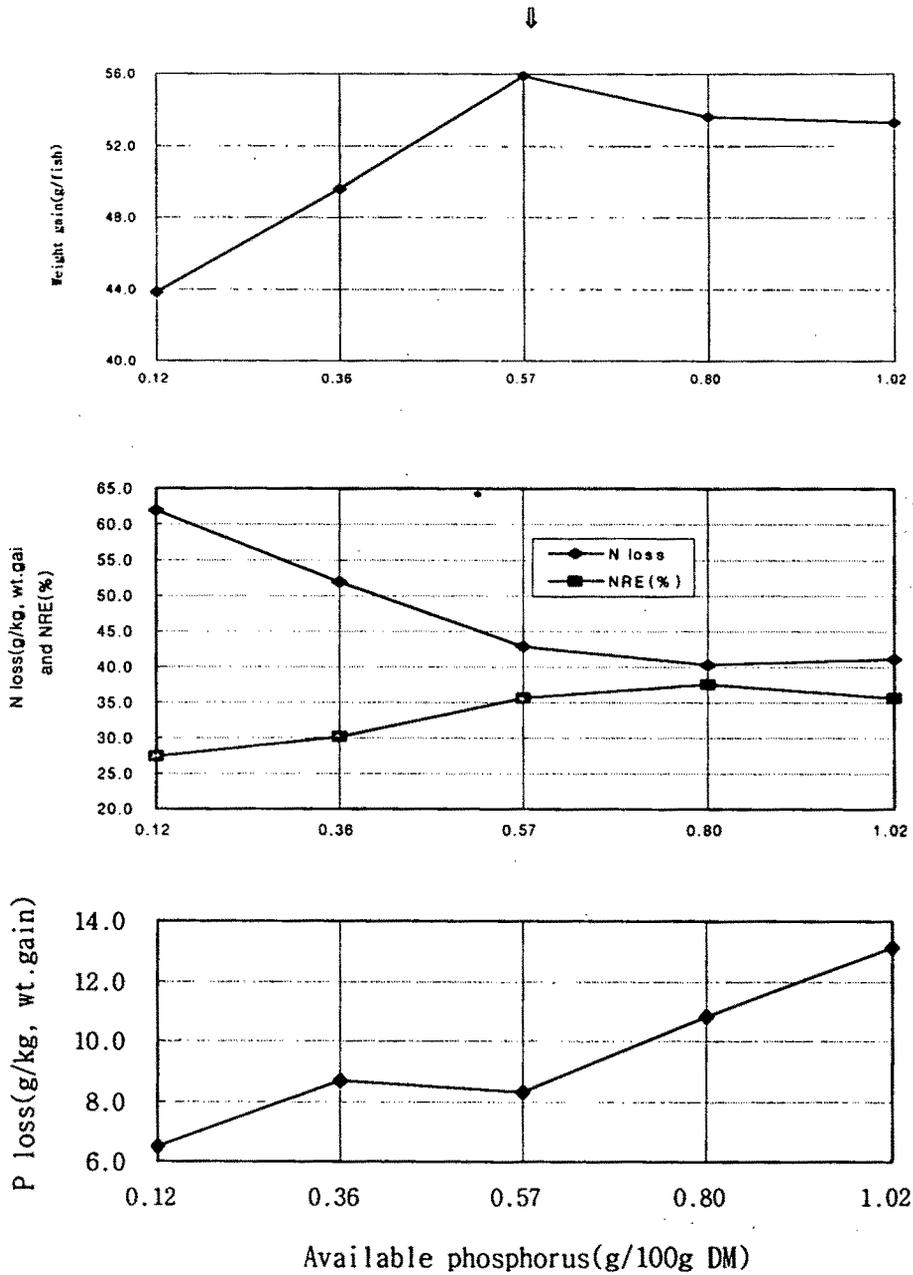


Figure 5-4. Weight gain, nitrogen(N) loss(g/kg wt. gain), N retention efficiency(NRE, %) and phosphorus loss(g/kg wt. gain) of carp fed the experimental diets for 6 weeks.

제 4절 적요 및 결론

1. 어분 30%를 함유한 사료 급여시의 인 요구량(실험 1)

성장과 사료이용효율, 질소 및 인 배설량에 근거한 평균 어체 중 18g인 이스라엘잉어의 인 요구량을 설정하기 위하여, 어분 30%를 함유한 기초사료내 일인산칼슘(MCP)의 첨가로 이용가능 인의 수준을 등급화한 사료를 8주동안 급여한 결과는 다음과 같다.

가. 실험기간 동안 마리당 사료섭취량은 약 45g으로 유의적인 차이가 없었던($p>0.05$) 반면, MCP의 첨가수준이 0에서 2%로 증가함에 따라 증체량은 유의적으로 증가하였다. 그러나 3% 이상의 첨가구에서는 공허 2% 첨가구에 비해 유의적으로 감소되는 경향을 보였다.

나. 사료요구율은 1.02(MCP2구)에서 1.51(기초사료구)의 범위로서 MCP3, 4, 및 5구는 MCP1구(1.22)에 비해서는 유의적으로 낮았으나 MCP2구보다는 공허 유의적으로 높았다.

다. 단백질 이용효율(PER)은 1.58(기초사료구)에서 2.33(MCP2구)의 범위로서 사료요구율과 같이 MCP의 첨가수준이 3% 이상의 사료구에서는 MCP2구에 비해 모두 유의적인 감소 현상을 보였다.

라. 일일성장지수(DGI)는 기초사료구가 1.81로 가장 낮았으며, MCP2구가 2.44로 가장 높았다.

마. 기초사료구의 경우 체조직내 수분함량이 MCP첨가구에 비해 높았으며 지방함량은 낮게 나타났다. 그러나 처리구 공허 단백질, 회분 및 인 함량에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 한편, 개시어에 비해 모든 처리구의 수분함량이 줄

어든 반면 단백질, 지방 및 인 함량은 증가하였다.

바. 실험기간동안 어류가 섭취한 단백질량은 유의적인 차이를 보이지 않았으나 어체내 축적된 질소량은 MCP2구가 미당 1.07g으로 가장 높았고, 기초사료구가 0.75g으로 가장 낮았다. 따라서 질소 축적효율(NRE) 또한 MCP2구가 35.6%로 가장 높았으며, 기초사료구가 25.1%로 가장 낮았다. 그러나 MCP 첨가수준이 2% 이상구에서는 유의적인 차이가 발견되지 않았다.

사. 증체단위당 질소 배설량은 MCP2구가 44.2g으로 가장 낮았으며 기초사료구가 75.8g으로 가장 높았다.

아. MCP 첨가수준이 증가함에 따라 사료내 인의 수준이 증가하였기 때문에 마리당 인 섭취량은 각 처리구별로 유의적인 증가를 보였다. 그러나 인 축적량은 기초사료구(0.10g)를 제외하고는 평균 0.15g으로 처리구 공히 유의적 차이가 없었다. 인 축적효율은 MCP1구가 23.4%로 가장 높았으며 MCP 첨가수준이 증가할수록 감소하여 MCP5구의 경우 14.8%로 나타났다.

자. 증체단위당 인 배설량은 기초사료구가 15g인 반면, MCP1과 2구는 약 13g으로 유의적인 차이가 없었으나 MCP의 첨가수준이 3%이상구에서는 계속적으로 증가하였다.

본 실험의 결과 이용가능한 인의 수준이 0.67%였던 MCP2구가 성장과 사료이용효율, 그리고 질소 및 인 배설량의 모든 측면에서 가장 우수한 능력을 보여 이미 보고된 잉어의 인 요구량 수준(0.6-0.7%)과 일치하는 경향을 보였다.

2. 어분 10%를 함유한 사료 급여시의 인 요구량(실험 2)

사료내 총인 함량을 1% 이하로 줄이기 위하여 어분을 10% 사용한 관행사료를 이용하여 성장과 사료이용효율, 질소 및 인 배설량에 근거한 평균 어체중 34g인 이스라엘잉어의 인 요구량을 설정하기 위하여, 기초사료내 일인산칼슘(MCP)의 첨가로 이용가능 인의 수준을 등급화한 사료를 6주동안 급여한 결과는 다음과 같다.

가. 실험기간 동안 마리당 사료섭취량은 처리구간에 차이가 없었으며 ($P>0.05$), 증체량은 이용가능 인 0.57%에서 55.9g으로 가장 높았으며, 그 이상의 수준에서는 유의적 증가를 보이지 않았다 ($P>0.05$).

나. 사료요구율은 기초사료구가 1.33으로 가장 높았으며, 이용가능 인의 수준이 0.57%에서 1.02%로 증가함에 따라 1.03에서 1.00으로 개선되었으나 이들 처리구간의 유의적 차이는 없었다 ($P>0.05$).

다. 단백질 이용효율(PER)은 이용가능 인의 수준이 증가함에 따라 1.88(기초사료구)에서 2.51(이용가능 인 1.02%구)로 증가하였으나, 사료내 이용가능 인의 수준이 0.57% 이상구에서는 유의적 차이가 발견되지 않았다 ($P>0.05$).

라. 일일성장지수(DGI)는 기초사료구가 2.43으로 가장 낮았으며, 이용가능 인 0.57%구가 2.95로 가장 높았다.

마. 기초사료구 및 이용가능 인 0.36%구의 체조직내 지방함량은 타처리구에 비해 유의적인 증가현상을 보였으며 ($P<0.05$), 이용가능 인 0.57% 이상 처리구의 회분함량은 타처리구에 비해 유의적으로 높았으며, 그 결과 칼슘(1.0%) 및 인(0.44%) 함량 또한 높게 나타났다.

바. 실험기간동안 어류가 섭취한 질소량은 유의적인 차이를 보이지 않았으나 어체내 증가된 질소량은 이용가능 인 0.57%구가 마리당 1.33g으로 가장 높았고, 기초사료구가 1.02g으로 가장 낮았다. 이용가능 인 0.57% 이상 처리구에서는 질소축적효율 및 증체단위당 질소배설량이 유사하게 나타났다.

사. 마리당 인 섭취량은 각 처리구별로 유의적인 증가를 보였으나, 어체내 인 증가량은 기초사료구(0.16g)와 이용가능 인 0.36%구(0.17g)를 제외하고는 평균 0.25g으로 처리구 공히 유의적 차이가 없었다($P>0.05$). 인 축적효율은 이용가능 인 0.57%구가 36.1%로 기초사료구(36.1%)를 제외한 타처리구에 비해 우수하였다($P<0.05$).

아. 증체단위당 인 배설량은 기초사료구(6.5g) 및 이용가능 인 0.36%구(8.7g)를 제외하고는, 이용가능 인의 수준이 0.57%에서 1.02%로 증가함에 따라 8.3g에서 13.1g으로 유의적 증가 현상을 보였다($P<0.05$).

본 실험의 결과 이용가능한 인의 수준이 0.57%였던 MCP 2% 첨가구가 성장과 사료이용효율, 그리고 질소 및 인 배설량의 모든 측면에서 가장 우수한 능력을 보였다.

제6장 육성용 이스라엘 잉어에 의한 원료사료의 영양소 및 에너지 소화율

제1절 연구사

사료내 이용가능한 영양소 및 에너지의 이용성은 소화율의 측정
에 의해 평가된다. 소화율가는 특정동물의 영양소 요구량 충족을 위
해 원료사료를 혼합하는 사료배합표 작성에 이용되며, 일반적으로
이는 사료의 질과 가격을 동시에 만족시키는 최적사료 배합을 위한
것이다. 원료사료의 소화율가는 동물의 소화능력과 원료사료의 화학
적 조성에 좌우된다. 그러나 사료배합시 고려되지 않는 환경요인, 급
여형태, 사료제조기술 등과 같은 여러 요인은 실제 사양체제하에서
소화율에 영향을 미칠 수 있다(Cho와 Kaushik, 1990). 이밖에도 소
화율 측정방법에 따른 소화율 가의 변이 또한 존재한다. 따라서, 소
화율가는 항상 일정하다고는 볼 수 없다.

원료사료의 소화율가 측정은 일반적으로 대상어류의 영양소 요구
량을 충족시키는 표준사료(reference diet)를 제조한 후, 이 표준사료
70%에 실험할 원료사료 30%를 혼합하여 간접법으로 측정한다. Cho
와 Slinger(1979)는 무지개 송어에 의한 원료사료의 소화율을 이러한
방법으로 침전분 장치를 이용하여 최초로 측정하였다. 이들은 표준
사료와 실험할 원료사료간의 아무런 상호작용이 없을것이라고 간주
하였으나, 성장실험은 병행하지 않았다. 동일한 방법으로 Hajen 등
(1993)은 연어의 소화율을 측정함에 있어 식물성 원료사료의 함유비
율을 낮추어 측정하였다. McGoogan과 Reigh(1996) 그리고 Gaylord
과 Gatlin(1996)은 동일한 방법으로 분짜내기법을 이용하여 각 원료

사료의 red drum에 의한 소화율을 측정하였으나, 성장실험은 병행하지 않았다. 한편, Hanley(1987)는 틸라피아에 의한 소화율을 측정하면서 실험원료사료의 비율을 사료내 80-90%로 구성하였다. 그러나 이러한 방법에서는 특히 식물성 원료사료의 경우 기호성 문제가 대두될 소지가 있다. 최근 Watanabe 등(1996a)은 잉어를 포함한 4종의 담수어류에 의한 여러 원료사료내 단백질 소화율을 표준사료 80%, 원료사료 20% 비율로 구성하여 측정하였다.

소화율은 부가적 특성을 나타낸다(Cho와 Kaushik, 1990)고 하지만 생물학적 비생물학적 요인에 기인하여 경제적인 사료배합에의 적용이 어렵다. 또한, 원료사료의 소화율이 측정되더라도 탄수화물 함량이 높은 식물성의 경우 익스트루전과 같은 가공에 의해 가소화 에너지가 증가가 일어나기 때문에 정확한 에너지가의 평가가 불가능하다. 그러나 사료배합에 이용되는 원료사료의 소화율의 평가는 사료의 질을 평가하는 제일차적인 척도가 될 수 있기 때문에 우선적으로 이뤄져야 한다. 오랜 양식역사에도 불구하고 잉어의 소화율에 대한 자료는 최근에야 보고되기 시작하고 있다 (Watanabe 등, 1996a,b). 본 실험은 Cho와 Slinger(1979)가 사용한 방법으로 이스라엘 잉어용 사료배합에 이용되는 원료사료의 소화율을 평가하기 위하여 성장실험과 병행하여 수행되었다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험동물 및 분채집

잉어용 관행사료의 배합에 주로 사용되는 원료사료의 영양소 및 에너지 소화율을 측정하기 위하여 평균 55g의 이스라엘계 거울잉어(*Cyprinus carpio*) 1,000미를 20개의 사육수조에 처리당 2반복으로 반복당 각 50미씩 공시하였다. 분채집은 제4장 Fig. 4-1과 같이 자체고안된 침전장치를 이용하여 수행하였다. 유출구 전면부에는 부상하여 유출수로 배출되는 상당량의 분을 회수하기 위하여 유리섬유를 고정시켰다. 10일간의 적응기간 동안 시판사료를 급여하였으며, 후속 2일간의 절식후 개시어체중을 측정하였다. 표준사료 및 9종의 실험사료를 27일간 급여하여 사양실험을 행하였으며, 사양실험 최종 10일간 분채집을 수행하였다. 종료어체중의 측정은 최종 분채집이 끝난 다음날 아침에 수행하였다. 매일 아침 첫 번째 사료 급여전 채집된 분은 55 ℃의 열풍순환 건조기를 이용하여 건조한 후 분쇄하였으며, 10일간의 분은 균일하게 혼합한 다음 분석때까지 냉동보관하였다.

2. 실험사료 및 사양관리

표준사료(reference diet)는 카제인(BBA, France) 50%, 타피오카 알파전분(Bangkok, Thailand) 37.9%, 대두유 6%, 어유 4%, 비타민 혼합제 0.5%, 광물질 혼합제 0.3%, 콜린 0.3% 및 산화크롬 1%로 배합하였으며, 시험사료(test diet)는 배합된 표준사료 70%에 실험코자하는 원료사료(feed ingredient) 30%로 구성되었다. 일인산칼슘(monocalcium phosphate: MCP)의 경우 표준사료 97%에 3%를 혼

합하여 제조되었다. 원료사료 및 배합된 각 실험사료의 화학적 조성은 각각 Tables 6-1 및 6-2에 나타난 바와 같다.

Table 6-1. Chemical composition of ingredients for digestibility measurement (g or kJ/100g)

Ingredient	Moisture	C. protein	C. fat	C. ash	Ca	P	G. energy
WFM-S ¹	8.01	63.76	5.57	18.13	6.40	3.01	1814.7
WFM-F ²	3.28	67.85	5.40	19.18	6.47	3.22	1896.4
BFM ³	7.42	67.39	6.58	14.55	4.27	2.35	1921.6
SBM ⁴	10.64	44.13	1.51	5.50	1.24	0.69	1755.1
CGM ⁵	11.44	65.18	1.23	1.26	0.91	0.46	1987.6
SSM ⁶	2.21	49.64	9.58	10.51	2.99	1.46	2062.5
WFL ⁷	12.90	16.60	1.90	1.26	0.81	0.37	1635.2
BY ⁸	8.55	39.59	0.56	5.64	0.82	1.18	1762.3
MCP ⁹	3.36	-	-	79.70	18.47	21.82	-

¹WFM-S = steam-dried white fish meal, Cornell Broth. Co., USA(ship factory).

²WFM-F = flame-dried white fish meal, Dong Won Industries Co., Korea.

³BFM = brown fish meal, San Antonio, Peru.

⁴SBM = soybean meal, Cheil Foods & Chemical Inc., Korea.

⁵CGM = corn gluten meal, Dong Bang Corporation, Korea

⁶SSM = sesame meal, Ottogi Foods Co., Korea.

⁷WFL = wheat flour, Cheil Foods & Chemicals Inc., Korea.

⁸BY = brewer's yeast, JINRO Coors Brewing Co., Korea.

⁹MCP = monocalcium phosphate, BASF, Germany.

표준사료 및 혼합된 각 실험사료는 25%의 증류수와 반죽시킨 다음 3mm 다이가 부착된 육골분쇄기를 이용하여 국수(spaghetti)처럼 성형하였다. 그 후 55 ℃의 열풍순환 건조기를 이용 2일간 건조하였다. 사료는 일일 5번씩 매회 섭취도가 떨어질때까지 급여하였으

며, 실험기간 동안의 사육수온은 26-30 ℃의 범위를 보였다. 순환여과식 사육장치의 구조 및 기타 사양관리는 제4장에 전술한 바와 같았다.

3. 조사항목

총 27일간의 실험사료 급여에 따른 어류의 증체량, 사료섭취량, 사료요구율 및 단백질 이용효율과 함께 원료사료의 조단백질(C. protein), 조지방(C. fat), 조회분(C. ash), 칼슘(Ca), 인(P), 총에너지(G. energy) 소화율을 측정하였다. 원료사료의 소화율 (apparent digestibility coefficients: ADCs)은 먼저 표준사료와 시험사료의 소화율을 Maynard와 Loosli(1969)의 공식에 의거 구한 다음, Cho 등(1982)에 의한 공식으로 제4장에 전술한 바와 같이 구하였다.

Table 6-2. Chemical composition(g or kJ/100g DM) of the experimental diets composed of 70% reference diet and 30% test ingredient¹

Diet	C. protein	C. fat	C. ash	Ca	P	G. energy
Reference	43.31	7.78	3.93	1.30	0.56	2303.03
WFM-S	49.41	8.47	8.42	3.28	1.46	2170.36
WFM-F	50.67	8.76	8.26	3.08	1.30	2247.36
BFM	49.75	9.08	6.86	2.80	1.17	2170.32
SBM	44.30	8.15	4.47	1.55	0.65	2133.02
CGM	49.72	6.82	3.19	1.01	0.46	2165.32
SSM	45.36	9.77	5.35	2.03	0.84	2150.46
WFL	36.28	5.17	3.03	1.40	0.54	2030.26
BY	42.26	8.09	4.59	1.48	0.76	2191.53
MCP	42.30	9.29	5.97	1.79	1.00	2299.11

¹Refer to Table 6-1.

4. 분석방법

원료사료, 실험사료 및 분의 화학적 성분(Tables 6-1, 6-2 및 6-4)은 AOAC(1990)에 의거하여 제4장 실험 1에서 전술된 방법으로 분석하였다. 사료와 분내 에너지는 Kim과 Kaushik(1992)에 전술된 바와 같이 분석하였다. 성장과 사료이용효율 및 실험 원료사료의 영양소 소화율 자료에 대한 통계분석은 분산분석과 Duncan(1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package(SAS Inst. Inc., NC, USA)를 이용하여 실시하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 증체 및 사료이용효율

Table 6-3에서는 실험사료를 급여한 거울잉어의 성장율, 사료 요구율 및 단백질이용효율을 나타내었는데, 성장율에서는 MCP 함유구에서 55.7g으로 가장 우수한 성적을 나타내었으나($P < 0.05$) 갈색어분 함유구 (BFM)와는 차이가 없었으며, 소맥분(WFL) 함유구가 33.5g으로 가장 저조하게 나타났다($P < 0.05$). WFL 실험사료는 표준사료 70%와 소맥분 30%를 혼합한 사료로서 Table 6-2에서 알 수 있듯이 조단백질 함량이 36.3%, 총에너지 함량이 2030kJ/100g로서 타 사료에 비해 낮았던데서 기인한 것으로 보인다. MCP 함유구가 증체성적이 우수했던것은 표준사료를 97% 함유하고있어서 에너지 함량이 높았을뿐 아니라 사료에 함유된 인의 이용성이 상대적으로 좋았기 때문으로 추정된다.

한편, 사료요구율(FCR)은 증체성적이 가장 좋았던 MCP 함유구가 0.97로 가장 우수하였으며($p < 0.05$), 간접식과 직접식 백색어분 및 갈색어분 함유구간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 그러나 소맥분 함유구에서는 역시 사료요구율이 가장 저조하게 나타났다($P < 0.05$). 전체적으로 볼 때 표준사료에 식물성원료가 30%씩 함유된 사료 급여구에서 사료요구율이 저조한 경향을 나타내었다.

단백질이용효율(PER)은 1.42~2.30의 범위를 보였는데, MCP 함유구가 2.3으로 처리구중 가장 우수하였고($P < 0.05$), 호마박 함유구(SSM)가 1.42로 가장 저조하였다($P < 0.05$). 한편, 어분중에서는 BFM 함유구가 1.83으로, 식물성 원료사료중에서는 맥주효모(BY) 함유구가 1.96으로 우수하였다. 그러나 BFM과 BY 함유구간에는 유의적인

차이가 발견되지 않았다.

Table 6-3. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets¹

Diet	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	Feed intake g/fish	FCR ²	PER ³
Reference	55.2±0.10	42.1±0.20 ^{ef}	53.9±0.29 ^d	1.28±0.01 ^c	1.72±0.02 ^{cde}
WFM-S	55.2±0.07	51.8±1.27 ^{bc}	54.9±0.28 ^b	1.06±0.03 ^{ef}	1.79±0.06 ^{cd}
WFM-F	55.2±0.04	50.1±0.46 ^c	54.8±0.28 ^{bc}	1.09±0.02 ^{ef}	1.70±0.03 ^{cde}
BFM	55.2±0.17	53.9±0.03 ^{ab}	55.8±0.38 ^a	1.04±0.01 ^{fg}	1.83±0.01 ^{bc}
SBM	55.1±0.07	38.8±0.49 ^{fg}	54.1±0.19 ^{bcd}	1.39±0.02 ^b	1.54±0.02 ^{fg}
CGM	55.1±0.07	44.9±0.28 ^{de}	53.2±0.87 ^{de}	1.18±0.03 ^d	1.60±0.04 ^{ef}
SSM	55.0±0.17	36.2±0.57 ^{gh}	52.8±0.19 ^{ef}	1.46±0.03 ^b	1.42±0.03 ^g
WFL	55.1±0.12	33.5±0.32 ^h	52.1±0.09 ^f	1.56±0.02 ^a	1.66±0.02 ^{def}
BY	55.2±0.02	46.7±2.72 ^d	52.7±0.28 ^{ef}	1.13±0.06 ^{de}	1.96±0.11 ^b
MCP	55.2±0.08	55.7±0.78 ^a	53.9±0.29 ^{cd}	0.97±0.02 ^g	2.30±0.05 ^a

¹Refer to Table 6-2.

²Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet weight gain.

³Protein efficiency ratio = wet weight gain/protein intake.

^{abc,def}Values(mean±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

2. 분내 영양소 함량

분내 영양소 함량을 Table 6-4에 표시하였는데 단백질 함량은 11.39~19.61% (g/100g DM)의 범위를 나타냈었으며 대두박 함유구(SBM)가 11.39%으로 가장 적었고 호박 함유구(SSM)가 19.61%으로 가장 많았다.

지방함량의 경우 1.44~3.10%의 범위를 나타내었고 실험사료에서 원래 지방함량이 높았던 사료(SSM, BFM; Table 6-2)에서 분내 지방함량이 대체적으로 높게 나타나는 경향이 있었다. 그러나

MCP를 3% 함유하였던 사료의 경우(MCP) 지방함량이 9.29%로서 높았으나 분내 지방함량이 1.82%로 낮게 나타난 것은 유효인의 함량증가로 인하여 지방의 이용효율이 높아졌기 때문으로 추정된다. 회분함량의 경우 4.89~16.58%의 범위로 실험사료내 회분함량이 높을수록 분내 회분함량이 높은 경향을 나타냈었다. 에너지 함량은 어분함유구보다 식물성 원료함유구가 일반적으로 높게 나타났는데, 이것은 탄수화물의 소화율이 낮았던 데 기인하는 것으로 보인다.

Table 6-4. Fecal composition of fish fed the experimental diets¹

Diet	Fecal composition(g or kJ/100g DM)					
	C. protein	C. fat	C. ash	Ca	P	G. energy
Reference	11.06	1.44	4.89	1.90	0.75	1543.73
WFM-S	16.35	2.49	16.11	6.55	2.82	1547.95
WFM-F	16.48	2.65	16.58	6.61	2.70	1539.00
BFM	17.91	3.10	13.62	6.00	2.47	1638.37
SBM	11.39	2.08	8.18	3.16	1.27	1678.29
CGM	17.36	2.74	5.77	1.97	0.88	1732.59
SSM	19.61	2.98	10.11	4.20	1.70	1722.18
WFL	12.20	1.95	6.23	3.01	1.11	1742.76
BY	16.61	2.70	5.63	2.00	1.06	1735.08
MCP	12.52	1.82	7.12	2.53	1.32	1581.21

¹Refer to Table 6-2.

3. 외관상 소화율

Table 6-5에는 실험사료에 함유된 영양소의 외관상 소화율을 표시하고 있는데 단백질의 외관상 소화율은 89.2~93.5%의 범위를 나타내었고, 지방의 경우는 89.3~95.8%, 회분은 51.2~71.7%, 인은

49.2~69.7%, 에너지는 78.6~84.7%의 범위를 각각 나타내었다.

Table 6-5. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of the experimental diets¹

Diet	ADC(%)					
	C. protein	C. fat	C. ash	Ca	P	G. energy
Reference	94.2	95.8	71.5	66.5	69.3	84.7
WFM-S	91.9	92.8	53.3	51.0	52.6	82.5
WFM-F	92.2	92.8	51.5	47.7	50.5	83.7
BFM	91.7	92.1	53.3	50.3	51.1	82.5
SBM	93.5	93.5	52.2	47.5	50.7	80.0
CGM	90.7	89.3	50.5	47.9	49.2	78.6
SSM	89.2	92.4	51.9	48.2	49.4	80.0
WFL	91.9	90.9	51.2	48.3	50.5	79.3
BY	91.3	91.8	68.8	66.5	65.7	80.4
MCP			71.7	67.1	69.7	

¹Refer to Table 6-2; values are means of two replicate groups.

Table 6-6에서는 표준사료와 원료사료의 함량을 보정하여 계산된 각 원료의 외관상 소화율(ADC)을 나타내었다. 단백질 소화율의 경우 대두박이 91.9%로 가장 높게 나타났고($p < 0.05$), 호박은 77.6%로 가장 낮게 나타났다($P < 0.05$). 3종의 어분 및 소맥분내 단백질의 소화율은 85.8~87.8%의 범위로서 이들 간에는 유의차가 없었으나($P > 0.05$), 콘글루텐(CGМ), 맥주효모(BY)의 ADC보다는 높게 나타났다($P < 0.05$).

Table 6-6. Apparent digestibility coefficients(ADCs) of test ingredients¹

Ingredient	ADC(%)					
	C. protein	C. fat	C. ash	Ca	P	G. energy
WFM-S	86.5±0.08 ^a	85.8±0.41 ^{ab}	10.7±0.10 ^a	14.6±1.26 ^c	13.6±3.14 ^c	77.4±0.03 ^a
WFM-F	87.8±0.05 ^b	85.8±0.61 ^{ab}	4.8±1.27 ^b	7.5±2.96 ^c	6.6±2.90 ^d	81.3±0.58 ^a
BFM	85.8±0.10 ^b	83.5±0.77 ^{bc}	10.6±2.58 ^b	12.6±1.60 ^c	8.5±2.01 ^{cd}	77.5±0.25 ^a
SBM	91.9±0.76 ^a	88.3±0.26 ^a	7.0±1.27 ^b	6.3±2.54 ^c	7.3±2.02 ^d	69.3±2.15 ^b
CGM	82.6±0.82 ^c	74.0±2.17 ^c	1.5±1.29 ^b	4.4±0.67 ^c	2.2±1.19 ^d	64.5±1.77 ^c
SSM	77.6±0.76 ^d	84.4±0.67 ^{bc}	6.0±1.35 ^b	5.4±3.90 ^c	2.7±0.03 ^d	69.0±0.78 ^b
WFL	86.6±0.34 ^b	79.6±0.22 ^d	3.8±0.52 ^b	5.6±1.35 ^c	6.4±1.18 ^d	66.8±0.78 ^{bc}
BY	81.2±0.95 ^c	82.4±0.71 ^{cd}	62.5±1.66 ^a	66.5±9.81 ^b	57.2±0.49 ^b	70.6±1.56 ^b
MCP			77.1±0.67 ^a	84.6±1.28 ^a	80.6±0.42 ^a	

¹Refer to Table 6-1.

^{a,b,c,d,e}Values(means±SE of two replicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05).

지방의 소화율은 대두박이 88.3%로 두 종류의 백색어분(WFM-S 및 WFM-F)과 함께 타원료사료에 비해 높게 나타났으나(P<0.05), 3종의 어분간에는 차이가 없었다(P>0.05). 콘글루텐내 지방의 ADC는 74.0%로 타 원료에 비해 가장 낮았으며(P<0.05), 호박은 84.4%로 3가지 종류의 어분과는 차이가 있었으나(P<0.05), 소맥분과 맥주효모(82.4%) 간에는 차이가 없었다(P>0.05).

회분의 외관상 소화율은 MCP 및 맥주효모가 각각 77.1% 및 62.5%로 높게 나타났고(P<0.05), 나머지 원료들간에는 1.5~10.7%로 변이가 있었으나 통계적인 유의차는 인정되지 않았다(P>0.05).

칼슘(Ca)의 외관상 소화율은 MCP가 84.6%로 가장 높았고(P<0.05), 맥주효모가 66.5%로 두 번째로 높았다(P<0.05). 그러나 나머지 원료들 간에는 5.4~14.6%의 변이를 보였으나 유의차는 없었다

($P > 0.05$). 인(P)의 경우 MCP가 80.6%로 가장 높게 나타났고 ($P < 0.05$), 맥주효모가 57.2%로 두 번째로 높았으며 ($P < 0.05$), 간접식 백색어분(WFM-S)이 14.6%로 갈색어분(BFM, 8.5%)을 제외한 타 원료보다 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 그러나 나머지 원료들 간에는 차이가 없었다 ($P > 0.05$).

총에너지(GE)의 경우 3종류 어분이 77.4~81.3%로 타 원료에 비해 높게 나타났고 ($P < 0.05$), 맥주효모, 대두박 및 호마박이 69.3~70.6%로서 소맥분(66.8%)을 제외한 나머지 원료보다 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 콘글루텐은 64.5%로서 가장 낮게 나타났다 ($P < 0.05$).

원(1990)은 가공방법을 달리한 3종류 어분의 이스라엘 잉어에 의한 영양소 및 에너지 소화율을 조사하였는데, 단백질 소화율의 경우 간접식어분이 76.5~80.9%로 직접식어분(82.2~85.9%)보다 낮았다고 하였다. 지방 소화율 또한 동일한 경향을 보여 간접식 어분의 경우 77.8~91.4%였으나 직접식은 86.3~94.9%로 높게 나타났다. 그러나 본 실험에서의 경우 간접식과 직접식 어분간에 유의적인 차이가 없이 단백질은 85.8~87.8% 그리고 지방은 83.5~85.8%로 일정하게 유지되었다. 최근, Watanabe 등(1996a)은 어체중과 수온에 따른 원료사료의 잉어에 의한 단백질 소화율을 조사하였는데, 백색어분(white fish meal)의 경우 어체중에 따른 차이는 없었으며, 수온에 따라 90.3~93.8%를 보였으며, 자국산 어분(local fish meal)의 경우 89.6~93.5%를 나타내었다고 하였다. 대두박(94.3~95.8%)과 콘글루텐(82.4~93%)의 경우 본 실험의 결과보다 약간 높게 나타났으며 소맥분은 77.8~80.4%로서 본 실험보다 약간 낮은 경향을 보였다.

회분 소화율의 경우 간접식 백색어분(WFM-S)은 10.7%, 직접식 백색어분(WFM-F)은 4.8%로 제4장에서 150g의 잉어를 이용하여

침전분과 부상분 채집에 의해 측정된 수치보다 낮았으며, 갈색어분의 경우 10.6%로 침전분과 부상분을 이용한 수치보다는 약간 높았으나 분짜내기법에 의한 수치보다는 낮게 나타났다(Table 4-9참조) 대두박을 제외한 콘글루텐, 호박 및 소맥분의 경우 일반적으로 제4장의 수치보다 낮게 나타났으며, 맥주효모는 62.5%로 제4장의 수치(55.3%)보다 높았고 일인산칼슘은 유사하였다. 그러나 전체적으로 이러한 수치는 분짜내기법에 의한 수치보다는 낮은 경향을 보였다. 인의 소화율은 간접식 백색어분이 타어분보다 높았으나($p < 0.05$), 동일한 원료를 사용하여 동일한 방법으로 150g의 잉어에 의해 측정된 수치와 비교할 때 간접식 백색어분은 높게 나타났으나, 직접식과 갈색어분은 낮게 나타났다. 맥주효모를 제외한 식물성 원료 또한 이와 유사한 경향을 보였으며, 일인산칼슘의 경우 거의 유사하게 나타났다. 원료사료의 가소화 단백질 및 에너지 함량과 본 실험과 제4장에서 조사된 이용가능 인의 비교는 Table 6-7에 나타난 바와 같다.

어분의 가소화 단백질 및 에너지는 각각 55.5~59.6% 및 335.7~368.5 kcal로 직접식 백색어분이 가장 높았으며, 갈색어분이 그 다음으로 나타났다. 잉어용 사료배합에 널리 사용되는 대두박과 콘글루텐 또한 가소화 단백질이 각각 40.6% 및 53.8%로 높게 나타났다. 에너지원 또는 부형제(filler)용으로 사용되는 소맥분도 14.4%의 높은 가소화 단백질을 나타내었다. 그러나 식물성 공급원의 경우 익스트루전 가공을 거치게 되면 전분의 소화율이 증가하기 때문에 이용가능한 에너지가의 계산시 본 실험에서 나타난 에너지가의 직접적인 적용은 어려울 것으로 보인다. 하지만, 배합된 사료내 가소화 단백질의 함량은 본 실험의 결과를 이용하면 손쉽게 계산할 수 있을 것으로 보인다. 최근, Watanabe 등(1996a) 배합비가 서로 다른 세종류

의 사료내 가소화 단백질의 계산치와 측정치가 동일함을 보고하여 가소화 단백질의 부가적 특성을 입증하였다.

Table 6-7. Digestible protein(DP), energy(DE) and phosphorus (DPh) values of test ingredient¹

Ingredient	DP %	DE kJ(kcal)/100g	DPh(%)			
			SF+FF ²	SF+FF ³	STP ⁴	Av.
WFM-S	55.2	1404.6(335.7)	0.41	0.30	0.60	0.44
WFM-F	59.6	1541.8(368.5)	0.21	0.22	0.25	0.23
BFM	57.8	1489.2(355.9)	0.20	0.31	0.33	0.28
SBM	40.6	1216.3(290.7)	0.05	0.04	0.08	0.06
CGM	53.8	1282.0(306.4)	0.01	0.06	0.06	0.04
SSM	38.5	1423.1(340.1)	0.04	0.12	0.03	0.06
WFL	14.4	1092.3(261.1)	0.02	0.04	0.04	0.03
BY	32.6	1244.2(297.4)	0.67	0.50	0.72	0.63
MCP	-	-	17.60	17.50	19.97	18.36

¹Refer to Table 6-1; values are g or kJ/100g, as-fed basis.

²This experiment(settled feces + floated feces).

^{3,4}Refer to Table 4-9.

한편, 간접식 백색어분의 이용가능 인의 함량은 분짜내기법에 의한 측정치가 0.6%로 침전분과 부상분 채집에 의한 수치보다 높게 나타났으나 직접식과 갈색어분은 큰 차이를 보이지 않았다. 콘글루텐과 호마박의 경우 본실험의 결과가 아주 낮게 나타났으며, 맥주효모의 경우는 동일 분채집방법의 비교(0.67% vs 0.50%)시 본 실험에서 약간 높게 나타났다. 그러나 일인산칼슘은 거의 동일하게 나타났다. 잉어용 사료는 주로 어분, 대두박, 소맥분으로 구성되어 있기 때문에, Table 6-7에 나타난 평균치를 이용하면 배합된 사료의 이용가능 인 함량 계산이 용이해질 것으로 보인다.

제 4 절 적 요 및 결 론

카제인과 알파전분으로 구성된 표준사료 70%와 실험코자하는 원료사료 30%를 함유하는 실험사료를 제조하여 평균 어체중 55g의 이스라엘 잉어에 의한 원료사료의 단백질, 지방, 회분, 칼슘, 인 및 에너지 소화율을 측정하였다. 소화율의 측정은 27일간의 성장실험과 병행하여 수행되었는데, 분채집은 성장실험의 최종 10일간 행하였다. 실험기간 동안의 수온은 26-30 ℃로 유지되었으며 사료는 일일 5회씩 급여하였다. 본 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

가. 일인산칼슘(MCP) 함유구를 섭취한 어류의 증체량, 사료요구율(FCR) 및 단백질 이용효율(PER)이 처리구중 가장 우수하였으며, 동물성 어분중에서는 갈색어분 함유구가 증체량이 약간 우수하였으나 FCR과 PER은 유의적인 차이가 없었다($p>0.05$). 식물성 원료사료중에서는 맥주효모 및 콘글루텐 함유구가 성장과 사료이용효율이 우수하였다. 전반적으로 실험어류는 실험사료를 잘 섭취하였으며, 정상적인 성장을 보였다.

나. 단백질 소화율은 대두박(SBM)이 91.9%로 실험원료중 가장 높았으며, 호마박(SSM)이 77.6%로 가장 낮았다. 어분의 경우 85.8%(BFM)에서 87.8%(WFM-F)로 86.6%의 소화율을 나타낸 소맥분(WFL)과 유의적인 차이가 없었다.

다. 어분의 지방 소화율은 83.5%(BFM)에서 85.8%(WFM-S와 WFM-F)로 유사하였으며, 호마박(SSM), 맥주효모(BY)의 소화율과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 한편, 실험원료중 지방함량이 가장 낮았던 SBM과 콘글루텐(CGM)의 소화율

은 각각 88.3% 및 74%로 처리구중 가장 높은 수치와 가장 낮은 수치를 보였다.

라. 회분의 소화율은 MCP가 77.1%로 가장 우수하였으며, BY가 62.5%로 그 다음이었다. 직접식 백색어분(WFM-F)은 4.8%인데 비해 간접식 백색어분(WFM-S)과 갈색어분(BFM)은 각각 10.7% 및 10.6%로 유사하였다. CGM의 소화율은 1.5%로 처리구중 가장 낮았다.

마. 칼슘의 소화율은 회분 소화율과 동일한 경향을 보였으며, 인 소화율의 경우 WFM-S가 13.6%로 WFM-F(6.6%)와 BFM(8.5%)에 비해 높았다. BY 및 MCP의 인 소화율은 각각 57.2% 및 80.6%로 높게 나타났다.

바. 에너지 소화율은 어분이 77.4-81.3%로 식물성 원료사료에 비해 높게 나타났으며, 식물성 원료사료중에서는 BY가 70.6%로 SBM, SSM 및 WFL과 유의적인 차이를 보이지 않았으나 CGM(64.5%)은 이들중 가장 낮았다($p < 0.05$).

본 실험의 결과자료는 배합된 사료의 가소화 단백질 및 이용가능한 함량을 예견하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다. 그러나 가소화 에너지 자료는 대부분의 시판잉어사료가 일스트루전 공정을 거쳐 제조된다는 점을 고려할때 이용가능한 에너지 함량계산에 활용될 수 없을 것이다.

제7장 이스라엘잉어의 적정 단백질, 지방수준의 설정연구

제1절 연구사

단백질 요구량이란 필수아미노산의 요구량을 충족시키고 더불어서 비필수아미노산을 공급하는 두가지 측면을 함축한다(NRC, 1993). 카제인(casein)을 주 단백질 공급원으로 제조된 반정제사료를 급여하여 결정된 잉어의 단백질 요구량은 31-38%였다(Ogino와 Saito, 1970; Takeuchi 등, 1979a). Watanabe(1982)는 잉어사료내 단백질의 적정수준은 사료내 충분한 가소화 에너지가 함유될 경우 30-35%로 유지될 수 있다고 보고하였다. 이러한 사실은 Watanabe 등(1987a) 및 Takeuchi 등(1987)에 의해 수행된 일련의 연구에 의해 지지되고 있다. 카시미가우라(Kasumigaura) 호의 가두리를 이용하여 수행된 두 연구에서 35-37%의 조단백질과 사료 100g 당 340 Kcal의 가소화 에너지를 함유하는 사료를 섭취한 잉어의 성장 및 사료효율은 조단백질 39%의 시판사료에 필적하였으며, 질소 배설량은 시판사료구에 비해 30-40% 감소하였다. 후속적으로 Watanabe 등(1987b)은 잉어의 성장과 질소 배설량 감소를 동시에 만족하는 조단백질 및 가소화 에너지 수준은 각각 35% 및 350 Kcal라고 보고하면서, 일본의 잉어사료 표준 단백질 수준(39%)은 에너지 수준의 증가와 함께 30-35% 수준으로 감소되어야 한다고 주장하였다.

이와 같이 사료내 단백질의 수준은 지방이나 가용성 탄수화물의 함량 증가와 함께 감소될 수 있는데, 이것을 지방 또는 탄수화물의

단백질 절약효과라고 하며, 다른 어종에서도 많이 보고되었다(Lee와 Putnam, 1973; Page와 Andrews, 1973; Takeda 등, 1975; Cowey 등, 1975; Adron 등, 1976; Garling과 Wilson, 1977; Reinitz 등, 1978; Bromley, 1980; Cho와 Watanabe, 1986; El-Sayed와 Garling, 1988; Kim과 Kaushik, 1992). 이와 같은 연구로부터 양식어종의 사료내 적정 단백질/지방 또는 단백질/에너지 수준이 설정되었다(Garling and Wilson, 1976; Takeuchi 등, 1978, 1979a, 1989, 1991; Shimeno 등, 1980; Wang 등, 1985; Murai 등, 1985; Catacutan과 Coloso, 1995; El-Dahhar과 Lovell, 1995). 그러나 어류의 단백질 요구량은 어류의 크기, 사육수온, 급여율, 자연먹이의 양과 질, 에너지 함량 및 단백질의 질과 같은 많은 요인에 영향받기 때문에(Satoh, 1991), 실제 사양조건하에서 보고된 자료를 직접적으로 적용하는 데는 어려움이 수반된다. 아울러 시판사료는 익스트루전 가공을 거친 부상형이기 때문에 원료사료의 가소화 에너지 함량은 직접적인 측정을 거쳐야 파악할 수 있는 제약이 뒤따른다. 한편, 국내 내수면 어류 양식 생산량의 절반이상을 차지하는 잉어양식은 1984년 인공사료의 출현과 함께 약 10여년만에 괄목할만한 양적성장을 이룩하였으나, 전문 연구시설 및 인력의 부족으로 인해 사료의 질적발전은 이뤄지지 않았다(김, 1993). 이에 따라 국내 잉어사료의 단백질 함량은 38.5%에서 42.3%의 높은 수준으로 유지되고 있으며, 반대로 지방함량은 5.1%에서 7.2%로 낮게 함유되어 있다(김 등, 1996c). 이러한 고단백, 저지방 형태의 사료를 섭취할 경우 배설되는 질소량은 상당히 높을 것으로 추정된다. 김과 김(1994)에 의하면 시판사료를 섭취한 잉어의 질소 배설량이 단위 증체량 Kg당 41.3g에서 57.9g으로 큰 변이를 보이고 있다. 인과 함께 수질오염의 주요 인자로 알려져

있는 질소의 배설량을 줄이기 위해서는 에너지 수준의 증가와 함께 단백질의 수준을 낮춰야 한다. 따라서, 본 연구는 적정성장과 질소 배설량 최소화를 만족시키는 사료내 단백질 및 지방의 수준을 설정하기 위하여 수행되었다.

제2절 재료 및 방법

1. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 평균 97.2g의 이스라엘계 잉어 (*Cyprinus carpio*) 840마리를 사용하여 강원대학교 축산대학 축산학과 부속 어류영양연구실에서 14일간의 적응기간을 거쳐 6주간(사료급여 42일) 사양실험을 실시하였다. 적응기간 동안에는 실험에 이용하지 않은 시판사료를 전 실험구에 급여하였다. 8종의 실험사료는 처리당 3 반복(35 마리/반복)으로 완전임의 배치하였으며, 어체중의 제량 및 마리수 측정은 본실험의 개시와 종료시에 각각 24시간의 절식후 행하였다. 실험사료는 조단백질(P) 32, 38 및 42% 수준에 각각 두수준의 지방(L:8 및 12%)을 함유하는 6종의 사료 (A:P32L8, B:P32L12, C:P38L8, D:P38L12, E:P42L8 및 F:P42L12)와 조단백질 29%의 사료 (G:P29L10) 및 시판사료(H:Com) 1종으로 총 8종이었으며(Table 7-1), 시판사료를 제외한 각 실험사료의 내용물을 충분히 혼합한 뒤 Wenger Extruder X-185를 이용하여 직경 4mm 크기의 부상형 펠렛으로 제조하였다. 실험사료 6종의 어분함량은 25%로 고정하였으며, 저단백중지방사료(G)의 경우 15%의 어분을 함유하였다. 7종의 실험사료내 이용가능 인의 수준은 일인산칼슘을 첨가하여 0.5%로 유지하였다.

2. 사양관리

직렬식 2조의 순환여과식 사육장치 각조는 12개의 사육조, 펌프, 침전조, 1차여과조 및 2차분해조로 구성되었다. 자체 제작된 원뿔형의 fiberglass reinforced plastics(FRP) 사육조내 수량은 130 L로서

유속(flow rate)은 평균 10-12 L/min였으며 수온은 전 실험기간 동안 23-31℃로 유지되었고 각 사육조마다 계속적인 폭기(aeration)가 이루어졌다. 용존산소량(dissolved oxygen)과 pH는 3일에 한번씩 측정하였으며 측정치의 평균은 용존산소량과 pH는 각각 $5.7 \pm 0.4 \text{ mg/l}$ 및 7.3 ± 0.23 이었다. 실험사료는 일일 3번씩(09:00, 13:00, 18:00) 매 회 섭취도가 떨어질때까지 급여하였다.

Table 7-1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets

Diet	A	B	C	D	E	F	G	H
Ingredient	P32L8	P32L12	P38L8	P38L12	P42L8	P42L12	P29L10	Com
Brown fish meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	18.00	
Soybean meal	8.00	10.50	27.00	29.00	44.50	46.50	4.00	
Wheat flour	54.78	47.78	35.93	29.98	18.58	12.58	61.43	
Corn gluten meal	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	
Methionine	0.90	0.95	0.80	0.80	0.70	0.70	0.50	Closed
Lysine	0.60	0.55	0.05	0.00	0.0	0.00	0.35	
Fish oil	4.50	9.00	5.00	9.00	5.00	9.00	9.00	
Vit. min. mix. ¹	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	
MCP	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Chemical composition (g/100g, as-fed basis)								
Moisture	5.61	6.76	4.59	5.39	5.4	6.26	7.31	7.63
C. protein	31.75	32.08	37.27	37.98	42.7	41.32	29.15	41.27
C. lipid	8.53	12.44	8.86	12.74	8.48	12.61	10.38	6.8
C. ash	7.48	7.34	8.5	8.44	9.62	9.43	6.06	6.54
Ca	2.07	2.06	2.34	2.41	2.26	2.37	1.56	1.41
P	1.29	1.27	1.33	1.31	1.35	1.33	1.24	1.12

¹Supplied the following amount per kilogram of diet: Vitamin A, 35,000 IU; vitamin D₃, 7,000 IU; vitamin E, 70 mg; thiamin, 14 mg; riboflavin, 21 mg; pyridoxine, 14 mg; vitamin B₁₂, 0.14 mg; pantothenic acid, 49 mg; niacin, 105 mg; biotin, 1.4 mg; vitamin C, 70 mg; choline, 750 mg; Mg, 240 mg; Mn, 140 mg; Zn, 280 mg; Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

각 사육조에 부착된 배설물 침전장치에 침전된 분은 매일 아침 첫번째 사료 급여전(08:30) 침전장치내 물의 배수와 함께 깨끗이

청소하였으며, 이때 유출된 물량은 24시간 폭기시킨 수돗물을 여과조 내로 유입시켜 보충하였는데, 이 환수량은 사육장치내 총 수량(2,000 L)의 약 20%에 상당하였다.

3. 조사 항목

사료내 단백질과 지방 수준에 따른 어류의 성장 및 사료 이용 효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 일일성장지수(daily growth index: Iwama와 Tautz, 1981), 사료 섭취량(feed intake), 사료 요구율(feed conversion ratio), 단백질 이용 효율(protein efficiency ratio), 단백질 축적율(protein retention efficiency)을 조사하였으며 사료내 단백질 수준에 따른 질소의 수중 배설량을 평가하기 위하여 개시어와 종료어의 도체분석을 실시하였으며, 지방의 수준에 따른 인 이용성도 아울러 동일한 방법으로 조사하였다.

4. 분석 방법

실험사료 및 어체의 일반성분(Tables 7-1 및 7-4)은 AOAC (1990)의 방법에 따라 분석하였다. 실험 개시시 30미(10미씩 3반복)와 종료시에 반복당 5미의 어류를 채취한 후 파쇄하여 일반 성분 분석에 이용되었다. 수분은 105℃의 오븐에서 24 시간 건조하였으며 단백질(N x 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 실험사료내 지방은 익스트루전 가공중 지방이 단백질 및 탄수화물과 결합하기 때문에(Wenger, 1993) 산 가수분해법으로 에틸알콜(C₂H₅OH) 2ml와 진한 염산(Conc.HCl) 10ml를 가한 후 15분간 가열, 진탕하여 가수분해한 후 공병에 의한 에테르 추출에 의해 분석하였다. 회분은 550℃에서 12 시간 회화시켜 분석하였다. 칼슘과 인은 제6장에서 언급된 바와 동

일하게 분석하였다. 얻어진 결과의 통계적 분석은 분산분석과 Duncan(1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package(SAS Inst. Inc., NC, USA)를 이용하여 실시하였다.

제3절 결과 및 고찰

1. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

Table 7-2에 제시된 바와 같이 증체량은 고단백고지방 사료 F구(P42L12)가 125.1g으로 처리구중 가장 높았으며, 시판사료구(Com)가 93.8g으로 가장 낮았다. 한편, 저단백고지방 사료 B구(P32L12)의 증체량은 110.8g으로 저단백저지방 사료 A구(P32L8)보다는 유의적으로 높았으며($P < 0.05$), 이것은 중단백저지방(P38L8), 중단백고지방(P38L12) 및 고단백저지방(P42L8)구의 증체량과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 6주간 한 마리가 섭취한 사료량은 고단백질구인 P42L8 및 P42L12구가 약 127g으로 가장 높았으며, 이것은 저단백고지방(B)구와 중단백고지방(D)구 및 시판사료(H)구와 유의성을 보였으나, 타처리구와는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 사료요구율(FCR)은 1.02(F)에서 1.29(H)의 범위를 보였으며, F구는 A, G 및 H구에 비해 유의적으로 낮았으나, 이들 세 처리구를 제외한 처리구간에는 유의성이 발견되지 않았다. 일일성장지수(DGI)는 증체량과 마찬가지로 증체량이 가장 우수하였던 고단백고지방구가 3.47%로 가장 우수하였으며 시판사료구와 저단백저지방구가 각각 2.75 및 2.85%로 가장 저조하였다. 개시어체중과 종료어체중의 평균에 대비한 일일사료섭취율은 1.84(P38L12)에서 2.02%(P32L8)의 범위를 보였다.

2. 체조직 조성

개시어와 6주간의 사료를 섭취한 종료어의 체조직 조성은 Table 7-3에 나타난 바와 같다. 종료어의 수분함량은 71.3(P42L12)

에서 74.7%(P29L10)로서 개시어의 수분함량(76.8%)에 비해 유의적으로 ($P < 0.05$) 낮았다.

Table 7-2 Growth and feed utilization of carp fed experimental diets for 6 weeks¹

Diet Treatment	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	F. intake g DM/fish	FCR ²	DGI ³ %	FI ⁴ %
A P32L8	97.24	97.71 ^d	124.04 ^{ab}	1.27 ^a	2.85 ^d	2.02 ^a
B P32L12	97.05	110.76 ^{bc}	119.89 ^b	1.08 ^b	3.15 ^{bc}	1.87 ^{cd}
C P38L8	97.05	111.53 ^{bc}	122.04 ^{ab}	1.09 ^b	3.17 ^{bc}	1.90 ^{bcd}
D P38L12	97.24	115.24 ^{ab}	119.45 ^b	1.04 ^b	3.25 ^{ab}	1.84 ^d
E P42L8	97.05	119.43 ^{ab}	127.40 ^a	1.07 ^b	3.34 ^{ab}	1.94 ^{abcd}
F P42L12	97.24	125.14 ^a	126.78 ^a	1.01 ^b	3.47 ^a	1.89 ^{cd}
G P29L10	97.14	101.14 ^{cd}	124.97 ^{ab}	1.24 ^a	2.93 ^{cd}	2.01 ^{ab}
H Com	97.52	93.79 ^d	119.62 ^b	1.29 ^a	2.75 ^d	1.98 ^{abc}
sem	1.80	6.19	3.42	0.08	0.15	0.06

¹Values (means of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different ($P < 0.05$); ns = nonsignificant.

²Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet wt. gain.

³Daily growth index = $100((\text{final wt.})^{1/6} - (\text{initial wt.})^{1/6})/\text{feeding days}$.

⁴Feed intake(%) = $\text{feed intake, DM}/((\text{initial wt.} + \text{final wt.})/2)/42 \times 100$.

단백질은 개시어가 14.6%에 비해 종료어는 15.2(A)에서 15.6%(B, C, E, H)로 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 지방은 7.2(A, E, G)에서 8.0%(D)로 중단백고지방(D)구가 종료어중 가장 높았으나 고지방사료구(B, F)간에는 유의적인 차이가 없었으며, 모든 처리구는 개시어의 지방(5.6%)에 비해서는 유의적으로 높게 나타났다. 회분의 수준은 개시어가 2.28%로 가장 낮았고 저단백중지방(P29L10)의 G구가 2.52%로 가장 높았으나 모든 처리구간에

유의성은 없었다. 이러한 결과로 인해 칼슘과 인의 함량 또한 유의적인 차이가 없었는데, 전자는 1.34(개시어)에서 1.46%(H구), 후자는 0.43(개시어)에서 0.50%(G구)의 범위를 보였다.

Table 7-3. Whole body composition(%) of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Treatment	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Ca	P
A	P32L8	73.37±0.31 ^{bcd}	15.15±0.16 ^{ns}	7.21±0.16 ^c	2.45±0.04 ^{ns}	1.36±0.04 ^{ns}	0.44±0.02 ^{ns}
B	P32L12	72.27±0.28 ^{ode}	15.58±0.18 ^{ns}	7.93±0.25 ^{ab}	2.31±0.08 ^{ns}	1.35±0.05 ^{ns}	0.47±0.02 ^{ns}
C	P38L8	74.24±0.49 ^b	15.57±0.26 ^{ns}	7.37±0.11 ^{bc}	2.40±0.04 ^{ns}	1.44±0.04 ^{ns}	0.47±0.03 ^{ns}
D	P38L12	71.73±0.66 ^{de}	15.26±0.14 ^{ns}	8.02±0.23 ^a	2.38±0.08 ^{ns}	1.37±0.08 ^{ns}	0.48±0.02 ^{ns}
E	P42L8	73.24±0.53 ^{bcd}	15.62±0.22 ^{ns}	7.23±0.18 ^c	2.48±0.02 ^{ns}	1.40±0.02 ^{ns}	0.46±0.04 ^{ns}
F	P42L12	71.33±0.73 ^e	15.32±0.22 ^{ns}	7.75±0.21 ^{abc}	2.51±0.16 ^{ns}	1.40±0.07 ^{ns}	0.48±0.01 ^{ns}
G	P29L10	74.72±0.22 ^b	15.26±0.21 ^{ns}	7.16±0.26 ^c	2.52±0.07 ^{ns}	1.41±0.07 ^{ns}	0.50±0.03 ^{ns}
H	Com	73.76±0.89 ^{bc}	15.56±0.16 ^{ns}	7.42±0.11 ^{abc}	2.50±0.08 ^{ns}	1.46±0.05 ^{ns}	0.48±0.03 ^{ns}
	Initial	76.80±0.51 ^a	14.64±0.15 ^{ns}	5.59±0.13 ^d	2.28±0.05 ^{ns}	1.34±0.05 ^{ns}	0.43±0.03 ^{ns}

^{a,b,c,d,e}Values(means±SE of triplicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05); ns = nonsignificant.

3. 질소 및 인의 배설량

단백질과 인의 섭취에 따른 이용효율, 체조직내 증가량, 어체내 질소(단백질/6.25) 및 인의 분석에 기반하여 계산된 질소 및 인의 배설량과 축적효율은 각각 Tables 7-4와 7-5에 나타난 바와 같다. 단백질섭취량은 사료내 단백질의 수준에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였는데, 저단백중지방(G)구가 39.3g으로 처리구중 가장 낮았으며, 고단백질구(E, F)가 57.5g으로 가장 높았다. 시판사료구는 53.5g으로 처리구중 두 번째로 높은 수치를 보였다. 단백질이용효율

(PER)은 일반적으로 단백질섭취량이 낮았던 처리구가 증가하는 경향을 보였는데, 저단백고지방(P32L12)구가 2.68로 가장 우수하였으며, 처리구중 단백질 섭취량이 가장 낮았던 G구는 2.58로 저단백고지방구와 유의적인 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

Table 7-4. Protein utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet Treatment	Intake <i>g/fish</i>	Gain <i>g/fish</i>	PER ²	RE ³ %	Excretion <i>g N/kg wt. gain</i>
A P32L8	41.72 ^d	15.30 ^c	2.34 ^{bcd}	36.66 ^{bc}	43.30 ^{bcd}
B P32L12	41.25 ^d	18.18 ^{ab}	2.68 ^a	44.08 ^a	33.36 ^d
C P38L8	47.67 ^c	18.26 ^{ab}	2.34 ^{bcd}	38.28 ^{bc}	42.24 ^{bcd}
D P38L12	47.95 ^c	18.19 ^{ab}	2.40 ^{bc}	37.91 ^{bc}	41.44 ^{bcd}
E P42L8	57.50 ^a	19.60 ^a	2.08 ^d	34.13 ^{cd}	50.79 ^b
F P42L12	57.35 ^a	19.82 ^a	2.18 ^{cd}	34.58 ^{cd}	48.00 ^{bc}
G P29L10	39.30 ^d	16.05 ^{bc}	2.58 ^{ab}	40.92 ^{ab}	36.90 ^{cd}
H Com	53.45 ^b	15.52 ^c	1.76 ^e	29.14 ^d	66.14 ^a
sem	1.36	1.35	0.14	3.02	6.00

¹Values(means of triplicates) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different($P<0.05$).

²Protein efficiency ratio = weight gain/protein intake.

³Retention efficiency = Protein gain×100/Protein intake.

고단백질 사료구는 2.08(E) 및 2.18(F)로 시판사료구(1.76)를 제외한 처리구중 가장 낮았다. 체단백 증가량은 단백질 섭취량이 높았던 E 및 F구가 19.6g 및 19.8g으로 가장 높았으나, 중단백질 사료구(C, D)와 저단백고지방구(B)와는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 저단백중지방구(G)는 16.1g으로 시판사료구와 저단백저지방(A)

구에 비해 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 없었다. 이러한 결과로부터 가장 높은 단백질 축적효율(44.1%)은 저단백고지방(B)에서 나타났으며 저단백중지방(G)구 또한 처리구중 두 번째로 높은 수치(40.9%)를 보였다. 고단백질사료(E, F)구는 각각 34.1% 및 34.6%로 시판사료구(29.1%)를 제외한 처리구중 가장 낮게 나타났다.

Table 7-5. Phosphorus utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	Treatment	P in diet g/100g DM	Intake g/fish	Gain g/fish	Availability %	Excretion g P/kg wt. gain
A	P32L8	1.37	1.69 ^{cd}	0.45 ^b	26.33 ^{ns}	12.80 ^a
B	P32L12	1.36	1.63 ^d	0.55 ^{ab}	33.75	9.76 ^b
C	P38L8	1.39	1.83 ^a	0.56 ^{ab}	30.77	11.35 ^{ab}
D	P38L12	1.38	1.73 ^{bc}	0.59 ^{ab}	34.36	9.87 ^b
E	P42L8	1.43	1.82 ^a	0.58 ^{ab}	31.71	10.37 ^{ab}
F	P42L12	1.42	1.80 ^{ab}	0.66 ^a	36.50	9.13 ^b
G	P29L10	1.34	1.67 ^{cd}	0.57 ^{ab}	34.44	10.88 ^{ab}
H	Com	1.21	1.45 ^c	0.50 ^{ab}	34.56	10.39 ^{ab}
	sem		0.05	0.10	5.71	1.32

¹Values(means of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different(P<0.05); ns = nonsignificant.

중체 Kg 단위당 질소배설량은 33.4(B)에서 66.1g(H)로 큰 차이를 보였는데, 사료내 단백질 수준에 따라 증가하는 경향을 보였다. 저단백질 처리구의 경우 지방수준이 8%에서 12%로 증가함에 따라 질소 배설량은 43.3g에서 33.4g으로 감소하는 경향을 보였으나, 중단백질 사료구와 고단백질 사료구에서는 지방수준의 증가에 따른 질소 배설량의 뚜렷한 감소가 발견되지 않았다.

6주간 마리당 인 섭취량은 C구가 1.83g으로 고단백질 사료 E 및 F구와 유사하였으나 기타 처리구에 비해 유의적으로 높았다. 그러나 어체내 인 증가량은 고단백고지방구(F)가 0.66g으로 가장 높았으며, 저단백저지방구(A)가 0.45g으로 가장 낮게 나타났다. 시판사료를 제외한 실험사료내 인 함량이 거의 비슷하게 유지되었음에도 불구하고 인 섭취량과 인 증체량은 처리구간 유의적인 차이를 보였으나 단백질과 지방수준에 따른 뚜렷한 경향은 보이지 않았다. 인 이용성은 26.3%(A)에서 36.5%(F)의 변이를 보였으나 처리구간 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 그러나 인 섭취량과 인 증체량의 차이로 인해 증체단위당 배설량은 9.13g(F)에서 12.8g(A)으로 유의적인 차이를 보였다.

본 실험의 결과 각각의 단백질 수준에서 지방수준의 증가는 증체량의 개선효과를 가져왔는데 특히, 저단백고지방 사료(P32L12)를 섭취한 잉어의 증체량과 사료요구율은 중단백사료구(C 및 D)나 고단백저지방 사료구(P42L8)와 유의적인 차이를 보이지 않아 지방첨가에 의한 단백질 절약효과가 뚜렷이 나타났다. 이와 같은 사료내 지방에 의한 단백질 절약효과는 송어와 같은 냉수성 어류(Lee와 Putnam, 1973; Reintz 등, 1978; Takeuchi 등, 1978; Beamish와 Medland, 1986; Davies, 1989)뿐 아니라 잉어(Takeuchi 등, 1979a,b; Watanabe 등, 1987a,b)와 같은 온수성에서도 보고되었다. 그러나 이러한 보고와는 달리 Murai 등(1985)은 개시어체중 2.6g의 잉어에 세 수준의 단백질(25, 29 및 33%)과 지방(5, 10 및 15%)을 함유하는 9종의 반정제사료를 6주간 급여한 결과 단백질 수준의 증가와 함께 증체량은 유의적으로 개선되었으나, 모든 단백질 수준에서 지방의 증가는 증체량의 감소를 초래하였다고 보고하였다.

Takeuchi 등(1989)은 개시어체중 5.2g의 잉어에 관행사료를 6주간 급여한 결과 사료내 단백질 수준을 39%에서 31-35% 수준으로 낮추어도 성장과 사료효율면에서 아무런 감소가 일어나지 않았다고 보고하고 있으나, 반복구가 없어 통계처리가 안된 자료이기 때문에 신뢰도가 떨어진다.

본 실험의 결과 고단백고지방 사료(F)구의 증체량은 125.1g으로 처리구중 가장 우수하였으나, 사료내 단백질 수준의 증가는 질소배설량의 증가로 이어지기 때문에 수질오염 감소차원에서 볼 때 42%의 단백질 수준은 너무 높은 것으로 풀이될 수 있다. Watanabe 등(1987b)은 130g의 잉어를 가두리를 이용하여 사육한 결과 증체량은 단백질 및 지방의 수준이 각각 36.0% 및 18.5%인 사료구가 가장 우수하였으나 증체 Kg당 질소 배설량은 단백질 30.7%, 지방 12.5% 사료를 섭취한 구가 37.4g으로 가장 낮았다고 보고하였다. 그러나 이 실험결과 또한 반복구의 부재로 통계처리가 되지 않아 신뢰도가 떨어지지만, 본 실험에서 나타난 P32L12구의 질소 배설량 33.4 g과 유사하게 나타나고 있다. 또한, 시판사료 섭취구의 질소 배설량은 45.8g에서 64.7g으로 후자의 수치는 본 실험에서 나타난 시판사료 섭취구의 수치(66.1g)와 유사하였다.

단백질 이용효율(PER)은 사료내 단백질 수준이 감소함에 따라 증가한다(Pongmaneerat와 Watanabe, 1991). 이러한 결과는 궁극적으로 단백질 섭취량에 반비례하는 결과로서(Ogino, 1980; Bowen, 1987; 김, 1994) 본 실험에서도 사료내 단백질의 수준이 가장 낮았던 P32L12구와 P29L10구의 PER이 각각 2.68 및 2.58로 처리구중 가장 우수하였다. 그러나 P32L8구의 경우 성장부진으로 인해 38% 및 42% 단백질 처리구와 유의적인 차이를 보이지 않았다. 유

사한 결과는 단백질 축적효율(PRE)에서도 나타났는데, 단백질 수준이 낮고 증체량이 우수할 경우 PRE는 유의적으로 개선되었다. 이러한 사실은 단백질 섭취량이 높더라도 체내 단백질 증가량은 일정수준으로 유지된다는 사실로 풀이할 수 있을 것이다(Table 7-4). 그러나 단백질 증체량의 유의적인 감소는 P32L8구, P29L10 및 시판사료구에서 나타났는데, 이것은 세 처리구의 성장부진에서 유래하고 있다. 한편, 본 실험에서 저단백고지방 사료구의 PER이 2.7로 가장 우수하였는데, 이는 Watanabe 등(1987b)의 연구에서 나타난 수치(2.6)와 거의 비슷하였다.

사료내 단백질의 수준을 낮추면서 지방의 수준을 증가시킬 경우 체지방의 수준은 유의적으로 증가하는데(Takeda 등, 1975; Garling과 Wilson, 1976), 본 실험의 결과 세 수준의 단백질 사료중 고지방을 함유하는 사료를 섭취한 B, D 및 F 처리구간에는 체지방의 함량이 7.8에서 8.0%로 타처리구에 비해 약간 증가하였으나 유의적인 차이는 없었으며, 이 수준은 Murai 등(1985)의 연구에서 단백질 33% 및 지방 15% 사료를 섭취한 구의 체지방 함량(7.7%)과 비슷하였다. 따라서 본 실험의 결과를 볼 때 사료내 지방함량이 12% 수준에서는 체지방의 증가가 일어나지 않는다고 결론지을 수 있을 것이다. 한편, Takeuchi와 Nakazoe(1981)는 이용가능 인의 수준이 요구량 수준의 절반정도로 함유된 사료를 섭취한 잉어는 전어체 및 내장내 지방함량이 증가하였다고 보고하면서, 사료내 인이 결핍되면 지방산의 분해가 억제된다고 결론짓고 있으나, 이 또한 통계처리가 되지 않아 비교가 어렵다. 본 실험에서는 이용가능 인의 수준을 0.5% 이상으로 동일하게 유지하였기 때문에, 체지방의 변화가 이용가능 인의 수준과 연관된다고 볼 수는 없을 것이다. 전어체내 회분

과 인 및 칼슘의 수준은 김과 김(1994)에서 보고된 수준과 유사하였다.

인은 어류양식에 의한 수질오염 인자중 가장 중요하게 취급되는데, 사료내 이용가능 인의 수준이 동일한 경우 총인의 수준이 증가하면 인의 배설량은 증가하게 된다(Lall, 1991). 이러한 사실은 인의 섭취량이 증가하더라도 어체내 인 증가량은 일정하게 유지되기 때문인데(김 등, 1996a,b), 본 실험의 결과 사료섭취량의 차이로 인해 인 섭취량의 변이가 나타났으나, 어체내 인 증가량은 0.5-0.6%로 일정하게 유지되고 있음을 볼 수 있다. 이로 인해 인 배설량의 차이가 나타났으나 인 이용성은 모든 처리구에서 발견되지 않았다. 한편, 유의적인 차이는 없었지만 고지방 사료구(P32L12, P38L12, 및 P42L12)의 인 배설량이 저지방구에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

제 4 절 적 요 및 결 론

성장과 사료이용효율, 질소 축적효율 및 배설량에 기반하여 평균 어체중 97g인 이스라엘잉어의 사료내 단백질과 지방의 적정수준을 설정하기 위하여 3수준의 단백질(32, 38 및 42%)과 두 수준의 지방(8 및 12%)을 함유한 6종의 사료와 저단백중지방(P29L10) 및 1종의 시판사료 총 8종의 실험사료 6주간 급여한 결과는 다음과 같다.

가. 증체량은 고단백고지방(P42L12) 사료를 섭취한 구가 125.1g으로 처리구중 가장 우수하였으며, 저단백저지방(P32L8) 및 시판사료구가 각각 97.7g 및 93.8g으로 처리구중 가장 저조하였다. 한편, 저단백고지방(P32L12)구의 증체량은 110.8g으로 38%의 중단백질 사료구(P38L8 및 P38L12)와 고단백저지방(P42L8)구와 유의적인 차이를 보이지 않았다.

나. 사료요구율은 고단백고지방 사료구가 1.01로 가장 우수하였으나 저단백저지방(P32L8), 저단백중지방(P29L10) 및 시판사료(Com)구를 제외한 타 처리구와는 유의적인 차이가 발견되지 않았다.

다. 전어체내 수분함량은 개시어에 비해 유의적으로 감소하였으며, 반대로 지방함량은 증가하였다. 일반적으로 사료내 지방수준의 증가와 함께 체지방의 증가가 일어났으나, 7.2-8.0%의 수준으로 큰 차이는 보이지 않았다. 회분과 칼슘 및 인의 함량 또한 전 처리구에서 일정하게 유지되었다.

라. 단백질 섭취량은 사료내 지방수준에 관계없이 단백질 수준의 증가와 함께 유의적으로($P < 0.05$) 증가하였으나, 어체내

단백질 증가량은 저단백저지방구(P32L8)와 저단백 중지방구(P29L10) 및 시판사료구(Com)를 제외한 처리구간에는 18.2-19.8g으로 일정하게 유지되었다($P>0.05$). 단백질 이용 효율(PER)은 단백질 수준증가와 함께 감소하는 경향을 보였으며, 32%의 저단백질구를 제외한 중단백질 및 고단백질 처리구간에서는 지방의 증가에 따른 영향이 나타나지 않았다. P32L12구는 2.68로 처리구중 가장 우수하였으며, 시판사료구는 1.76으로 가장 저조하였다($P<0.05$).

마. 단백질 축적효율(PRE)은 지방 수준에 관계없이 단백질 수준 증가와 함께 감소하였으나 가장 우수하였던 P32L12구(44.1%)와 P29L10구(40.9%)를 제외한 타 처리구간에는 유의적인 차이가 발견되지 않았다. 질소 배설량은 이와 반대로 단백질 수준 감소와 함께 감소하였으며, P32L12구가 증체 Kg당 33.4g으로 가장 낮게 나타났으며, 고단백저지방구(P42L8)는 50.8g으로 시판사료구(66.1g)를 제외한 타 처리구중 가장 높게 나타났다.

바. 인 섭취량은 유의적인 차이를 보였으나 어체내 인 증가량은 P42L12구(0.66%)와 P32L8구(0.45%)간에만 유의적인 차이가 나타났을뿐 타 처리구간에는 일정하게 유지되었다. 인 배설량은 고지방 사료구가 일반적으로 저지방사료구에 비해 약간씩 감소하는 것으로 나타났으나, 인 이용성은 전처리구간에 유의적인 차이가 없었다.

본 실험의 결과 성장과 사료요구율 및 질소 배설량 측면에서 잉어사료내 적정 단백질과 지방의 수준은 각각 32% 및 12%로 뚜렷하게 나타나고 있다. 이러한 결과는 국내 시판사료의 단백질 함량이 큰 폭으로 감소되어야함을 시사하고 있다.

제8장 저오염 사료의 급여에 의한 잉어의 성장, 오염도 및 경제성 평가

제1절 연구사

저오염 사료란 어류 양식으로 부터 파생되는 생물학적 산소요구량(BOD), 질소 및 인과 같은 수질오염원의 수중 부하량을 경감시킬 수 있는 사료를 말한다. 이러한 오염물의 폭은 어류의 성장속도에 반비례하기 때문에 저오염 사료란 궁극적으로 고효율 사료를 의미한다고 볼 수 있다. 그러나, 일반적인 의미에서 볼 때 고효율 사료란 양질의 원료사료를 이용하여 제조되기 때문에 “고가의 사료”로 인식된다. 사양가는 ‘수질오염물의 경감’이 아닌 ‘생산성 향상을 통한 이윤 증대’를 위해 사양을 하는 것이므로 고가의 저오염 사료란 상업화되기 어려운 문제점을 지니게 된다. 출하어의 가격이 약 2500원/kg에 상당하는 이스라엘 잉어의 경우 사료비가 총생산비에 미치는 영향은 약 60% 이상으로 높다. 따라서, 저가의 저오염 사료가 개발되지 않는 한 잉어양식의 지속적 발전은 기대할 수가 없는 것이다.

양어용 배합사료가 출현한 1984년부터 잉어양식은 양적으로 급속한 속도로 팽창하기 시작하여 1990년 64,156톤으로 전체 내수면 양어사료 생산량(88,099톤)의 약 73%를 차지하였으나, 수질오염 문제에 연루되면서 서서히 감소하여 1996년에는 43,883톤으로 전체 내수면 양어사료 생산량(85,388톤)의 51%로 하락하였다(한국사료협회 1997). 이같은 생산량 감소에는 여론을 통한 점오염원의 제거라는 행정조치에 의한 사양가의 의욕 상실과 어가의 하락 및 사료비의 상승 등과 같은 요인들이 복합적으로 연루되고 있다. 그러나, 선진양식

국의 경우 꾸준한 영양학적 체계수립을 통해 저오염 사료의 개발과 함께 어류양식에 의한 생산량을 계속적으로 증가시켜 나가고 있다. 국내의 잉어사료는 영양학적 연구 없이 일본의 사료를 모방하여 만들어진 이래로 지금까지 질적개선이 크게 이뤄지지 않았다. 원료사료의 수입가격이 지속되고 있는 현 상황에서 사료비의 인상이란 불가피하며, 이 경우 잉어양식은 산업으로 정착되기 어렵다. 따라서 사료가격이 저렴하고 성장이 우수하며 동시에 수질 오염을 또한 경감시킬 수 있는 사료의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이를 위해선 수질오염의 주된 인자인 질소와 인의 이용성에 대한 재조명이 필요하다. 사료내 단백질과 인의 잉어에 의한 요구량은 각각 Ogino와 Saito(1970) 및 Ogino와 Takeda(1976)에 의해 최초로 보고되었다. 그후부터 단백질의 배설량을 줄이기 위해 적정 단백질 수준을 설정하기 위한 연구는 Takeuchi 등(1979a,b), Watanabe 등(1987a,b) 및 Takeuchi 등(1989)에 의하여 계속적으로 이루어졌으나, 인의 배설량을 줄이기 위한 연구는 이뤄지지 않았다. 이를 위해선 사료내 총 인의 수준을 요구량 수준으로 줄이는 것이 무엇보다 중요하지만, 동물성 및 식물성 원료사료내 함유된 이용성이 낮은 인의 유의적인 함량 때문에 불가능한 실정이다. 그러나, 정상적인 성장을 저해하지 않는 수준까지 어분의 사용량을 최소화할 경우 총 인의 수준은 크게 감소시킬 수 있으며, 그로부터 인 배설량의 유의적인 감소를 기대할 수 있을 것이다. 제7장의 연구에서 성장과 사료요구율 및 질소 배설량에 기반한 사료내 적정 단백질과 지방은 각각 32% 및 12% 수준으로 나타났으며, 제5장의 연구에서 사료내 일인산칼슘제의 적정 사용량은 2% 수준임이 밝혀졌다. 아울러, 제4장과 제6장에서 국내의 잉어사료 배합에 이용되는 원료사료의 인 이용성이 밝혀졌다. 따라서

본 연구는 어분을 최소화하는 수준에서 저가의 저오염 사료를 제조하고, 한편으로는 제3장의 결과에 의거하여 어류농축 단백질의 사용에 의한 고가의 저오염 사료를 제조하여, 이들 사료의 급여에 따른 시판사료와의 성장 및 오염도를 비교하고 경제성을 평가할 목적으로 수행되었다. 수조를 이용한 실험적 규모의 오염도 평가(실험 1)와 병행하여 가두리를 이용한 현지적용 실험을 청평 내수면 연구소와 협동연구(실험 2)로 수행하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 저오염 사료의 설계 및 오염도 평가(실험 1)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

사설 양어장으로부터 이송된 평균 150g의 이스라엘 잉어 (*Cyprinus carpio*)를 실험동물로 사용하였으며, 강원대학교 축산대학 축산학과 부속 어류영양연구실에서 15일간의 적응기간을 거친후 6주간(사료급여: 41일) 사양실험을 실시하였다. 적응기간 동안에는 실험에 이용하지 않은 시판사료를 전 실험구에 급여하였다. 어체중의 계량 및 미수측정은 본실험의 개시와 종료시에 각각 24시간의 절식후 행하였다.

실험사료는 2종의 저가 및 고가 저오염 사료와 2종의 시판 사료로서, 저가 저오염 사료(A)는 어분 10%에 대두박, 소맥분, 미네랄, 유지 및 비타민 혼합물로 구성되어 조단백질 30% 및 조지방 12%를 함유하도록 하였으며, 고가 저오염 사료(B)는 10%의 어분과 5%의 어류농축 단백질(BIO CP70, Chile)을 동물성 원료로 함유하여, 조단백질 35% 및 조지방 12%를 함유하도록 제조하였다. A 사료의 경우 일인산칼슘을 이용하여 이용가능 인(P)의 함량이 0.55%를 유지하도록 하였으며, B 사료의 경우 총인의 수준을 가능한 한 줄이기 위하여 일인산칼슘의 사용량을 1%로 고정하였다. 두 종류의 실험사료는 Wenger extruder X-185를 이용하여 4mm 크기의 부상형으로 제조하였다. 한편, 비교용으로 사용된 2 종류의 부상성 시판 사료는 국내 시판사료중 인 함량이 각각 가장 높은 것과 가장 낮은 것으로서 각 회사를 통하여 구입되었다. 실험사료의 화학적 조성은

Table 8-1에 제시된 바와 같았다. 총 4처리 3반복으로 수조당 30미씩 완전임의 배치하였다.

나. 사양관리

순환여과식 사육장치는 12개의 사육조, 펌프, 침전조, 1차여과조 및 2차분해조로 구성되었으며, 유입수의 직전 파이프에 UV살균기를 부착하였다. 수조의 수량은 130L로서 유속(flow rate)은 평균 10~12L/min였으며, 수온은 전 실험기간동안 28~31℃의 범위에 있었다. 각 사육조마다 폭기(aeration)가 계속적으로 이뤄졌으며, 실험기간중 케양으로 인해 폐사된 두 마리를 제외한 나머지는 사육조에 잘 적응하였다. 기타의 사양관리는 Kim 등(1995)에 전술한 바와 같았다.

다. 조사항목

실험사료의 섭취에 따른 성장 및 사료효율을 파악하기 위하여 증체량(weight gain), 사료섭취량(feed intake), 사료요구율(feed conversion ratio)과 어체내 축적량에 기반한 질소 및 인의 수중 배설량을 평가하기 위하여 개시어와 종료어의 도체분석을 실시한 후 섭취한 영양소에서 체내 축적된 영양소량을 감하여 축적된 영양소로 계산하여 질소 축적효율(nitrogen retention efficiency; NRE) 및 인 축적효율(phosphorus retention efficiency; PRE)을 조사하였다. 질소 및 인의 이용효율은 증체량 단위로 표시하였다.

Table 8-1. Ingredient(% , as-fed basis) and chemical composition of the experimental diets

Ingredient	Diet			
	A ¹	B ¹	Com-1	Com-2
Brown fish meal(67%)	10.00	10.00		
Soybean oil meal(44%)	39.15	45.45		
Wheat flour(13%)	39.83	30.23		
Fish oil(sardine)	7.80	7.10	closed	closed
FPC ²	-	5.00		
MCP ³	2.00	1.00		
Vit. min. mixture	1.22	1.22		

Chemical composition(g/100g diet)

Moisture	8.06	8.12	8.54	6.46
C. protein	33.25	35.63	37.78	35.35
C. fat	12.77	13.05	8.40	8.83
C. ash	7.05	6.45	6.91	13.79
Ca	2.66	1.77	2.16	4.67
P	1.11	0.92	0.99	1.87

¹Supplied the following amounts per kilogram of diet : vitamin A, 35,000 IU; vitamin D₃, 7,000 IU; vitamin E, 70 mg; thiamin, 14 mg; riboflavin, 21 mg; pyridoxine, 14 mg; vitamin B₁₂, 0.14 mg; pantothenic acid, 49 mg; niacin, 105 mg; biotin, 1.4 mg; vitamin C, 70 mg; Mg, 240 mg; Mn, 140 mg; Zn, 280 mg, Fe, 84 mg; Cu, 24 mg; Se, 0.12 mg; Co, 3.9 mg; I, 6 mg.

²Fish protein concentrate (BIO CP70), Chile.

³Monocalcium phosphate, BASF, Germany.

Table 8-2. Amino acid composition of the experimental diets(g/100g DM)¹

Amino acid	Diet				Requirement ²
	A	B	Com-1	Com-2	
Asp	6.63±0.06	6.89±0.14	4.45±0.09	3.88±0.20	
Glu	7.12±0.24	7.47±0.10	9.23±0.06	6.92±0.09	
Ser	2.07±0.03	2.14±0.02	1.85±0.06	2.12±0.13	
Gly	1.69±0.03	1.77±0.01	1.77±0.02	2.24±0.09	
His	1.20±0.02	1.32±0.05	1.84±0.01	1.00±0.01	0.8
Arg	2.64±0.04	2.80±0.03	2.70±0.04	2.70±0.09	1.6
Thr	1.77±0.02	1.89±0.02	1.71±0.12	1.89±0.06	1.5
Ala	2.11±0.02	2.22±0.01	1.81±0.04	2.35±0.06	
Pro	1.58±0.04	1.62±0.08	2.26±0.05	1.61±0.06	
Tyr	1.24±0.03	1.20±0.11	1.20±0.09	1.14±0.02	
Val	1.98±0.19	1.97±0.03	1.97±0.11	1.86±0.12	1.4
Met	0.64±0.05	0.63±0.05	0.62±0.07	0.83±0.03	1.2 ^a
Cys	0.05±0.01	0.12±0.01	0.30±0.00	0.29±0.03	
Ileu	1.96±0.09	1.97±0.10	1.73±0.00	1.81±0.06	0.9
Leu	3.05±0.05	3.29±0.08	3.31±0.09	3.12±0.14	1.3
Phe	1.33±0.02	1.65±0.30	1.34±0.02	1.72±0.06	2.5 ^b
Lys	2.20±0.03	2.78±0.55	3.12±0.10	2.76±0.22	2.2

¹Values are means±SD of two determinations; Trp was not determined.

²NRC, 1993: ^{a,b}in the absence of cystine and tyrosine, respectively.

라. 분석 방법

사료와 어체의 일반성분(Table 8-1)은 AOAC(1990)의 방법에 따라 분석하였는데, 수분은 105℃의 오븐에서 24 시간 건조하였으며 단백질(N x 6.25)은 켈달 방법으로, 지방은 에테르추출법으로 회분은 550℃에서 12시간 회화시켜 분석하였다. 칼슘함량은 ammonium oxalate 용액으로 침전시킨 후 H₂SO₄ 용액과 반응시켜 KMnO₄로 적정하여 구하였으며, 인(P)은 vandate molybdate-yellow 법으로 470nm에서 spectrophotometer로 분석하였다. 실험의 개시시 30미(10미씩 3반복) 및 종료시에 반복당 5미의 잉어를 임의로 채취

한 후 육골분쇄기를 이용 파쇄(photo-3)하여 잘 섞은 후 약 10g 정도의 시료를 취하여 분석에 이용하였다. 나머지 시료는 분석시까지 -20℃의 냉동고에 보관하였다. 사료내 아미노산 분석(Table 8-2)은 시료 1g을 6N HCl로 105℃에서 24시간 가수분해한 다음 PITC(Phenylisothiocynate) 유도체 시약으로 반응시켜 적절히 희석시킨 다음 HPLC(Waters, USA)로 정량하였다. 얻어진 결과의 통계적 분석은 분산분석과 Duncan(1955)의 multiple range test에 의하여 SAS statistics package(SAS Inst. Inc., NC, USA)를 이용하여 실시하였다.

2. 가두리를 이용한 오염도 및 경제성 평가(실험 2)

가. 실험동물, 실험사료 및 실험설계

실험동물로는 평균어체중 192.9 g의 잉어(*Cyprinus carpio*) 2560마리를 사용하였으며, 15일간의 적응기간을 거친 후 6주간 사양 실험(사료급여: 33일)을 실시하였다. 실험사료는 실험 1에 전술한 바와 동일하였다. 총 4종류의 사료에 2반복(320마리/반복)으로 완전임의 배치하였다.

나. 사양관리

사양실험은 청평내수면연구소내 저수지에 설치된 가두리(photo-4)에서 실시하였다. 가두리 규모는 3×3×2m로서 내부에는 급여한 사료의 유실 방지를 위하여 모기장망으로 사료급여대를 설치하고(Photo-5), 상부에는 그물을 덮어 조류에 의한 실험어의 피해가 없도록 하였다. 저수지에는 20마력 펌프를 이용하여 하천수를 1일 24시간 연속 양수하여 수질을 양호하게 유지하였다. 사료는 오전 7

시부터 오후 5시까지 2시간 간격으로 1일 6회, 1주에 6일간 급여하였다. 1일 사료 급여량은 체중의 3%를 기준하여 주었으며 체중 증가에 따라 매주 사료량을 보정하였다. 수온은 매일 사료급여시마다 측정(1일 6회)한 것을 평균하였는데 사육기간 동안 $26.3 \pm 2.58^{\circ}\text{C}$ ($22.0 \sim 30.5^{\circ}\text{C}$) 범위를 나타내었다.

다. 조사항목

조사항목은 실험 1에서 전술한 바와 같았다. 실험어의 계측은 실험개시시와 종료시에 하였는데, 0.1g까지 잴 수 있는 전자저울로 각 가두리 실험어의 전체 무게를 달았다(Photo-6).

라. 분석방법

사양실험 개시시 7마리 및 종료시에 각 가두리로부터 중간 크기의 실험어 5마리씩을 무작위로 추출하여(photo-7) 냉동보관하였다가 분석용 시료로 사용하였다. 실험사료 및 개시어와 종료어의 분석과 얻어진 결과의 통계처리는 실험 1에서 전술된 바와 같았다.

라. 분석방법

사료의 일반성분, 개시어와 종료어의 채취 및 분석 그리고 얻어진 결과의 통계적 분석은 실험 1에 전술된 바와 같았다.

제3절 결과 및 고찰

1. 실험수조를 이용한 오염도 평가(실험 1)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질이용효율

Table 8-3에 제시된 바와 같이 6주간 실험사료를 섭취한 어류의 증체량은 114.8g에서 142.7g으로 유의적인 차이($P < 0.05$)를 보였다. 사료요구율(FCR) 또한 1.06에서 1.39의 범위로 Com-2 사료를 섭취한 구에서 가장 높게 나타났으며, 저오염 사료 A 급여구가 가장 낮게 나타났다. 일일 성장률(DGR)은 증체량과 마찬가지로 A 사료 급여구가 1.56%으로 가장 우수하였으며, B사료 급여구가 1.49%로 두 번째로 높았으며 시판사료구는 각각 1.36(Com-1) 및 1.34(Com-2)로 A 및 B 사료 급여구와 유의적인 차이를 보였다. 평균 어체중 대비 일일 사료섭취율(DFR)은 Com-2사료 급여구가 1.86%로 가장 높았으며, A사료 급여구가 1.65%로 가장 낮았다. 그러나 B 및 Com-1사료 급여구는 1.77% 및 1.76%로 유사하게 나타났다. 한편, 단백질 이용효율(PER)은 A사료 급여구가 2.61로 처리구 중 가장 높았으며($P < 0.05$), Com-1사료 급여구가 1.87로 가장 낮았다.

Table-2에서 볼 수 있는 바와 같이 4 종류의 실험사료는 타 필수아미노산의 요구량은 충족하고 있으나, 메치오닌은 결핍되어 있다. 시판사료의 저조한 증체량이 이와 같은 메치오닌의 결핍에서 기인하는 것인가 하는 의문은 향후 더 많은 연구를 필요로 하고 있다. 왜냐하면, 저오염 사료 A 및 B는 이들 시판사료 보다도 더욱 결핍수준이 심함에도 불구하고 증체량이 우수하기 때문이다.

Table 8-3. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	FCR ¹	DGR ² %	DFR ³ %	PER ⁴
A	152.0	142.7 ^a	1.06 ^d	1.56 ^a	1.65 ^c	2.61 ^a
B	152.1	133.8 ^b	1.19 ^c	1.49 ^b	1.77 ^b	2.17 ^b
Com-1	151.6	117.1 ^c	1.30 ^b	1.36 ^c	1.76 ^b	1.87 ^c
Com-2	151.8	114.8 ^c	1.39 ^a	1.34 ^c	1.86 ^a	1.91 ^c
mean ± SE	151.9 ± 1.5	127.1 ± 3.5	1.23 ± 0.03	1.44 ± 0.03	1.76 ± 0.02	2.14 ± 0.05

¹Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet weight gain.

²Daily growth rate = 100[wt. gain/((final wt + initial wt)/2)]/feeding days.

³Daily feeding rate = (feed intake/41)x100/((initial body wt.+final body wt.)/2).

⁴Protein efficiency ratio = weight gain/protein intake.

^{abc}Values in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

Ogino(1980)는 사료내 단백질 수준이 40%일 때 잉어의 메치오닌 요구량은 사료내 0.64%라고 보고 하였다. 이 수치를 단백질에 대한 백분율(0.64/40 x 100)로 구하면 1.6%로서 저오염 사료 A B 및 Com-2 사료는 1.6%에서 2.2%로 이를 충족하고 있으며 Com-1사료는 1.5% 수준을 보이고 있다. 따라서, 시판사료구의 저조한 성장율이 메치오닌 결핍에서 유래한다고 추정할 수는 없을 것 같다. 단백질 이용효율(PER)은 사료내 단백질 수준이 감소함에 따라 증가하며(Pongmaneerat 와 Watanabe, 1991), 이는 단백질 섭취량이 증가함에 따라 감소되는 것을 의미한다(Bowen, 1987; 김, 1994). 제 7장에서도 이러한 경향은 잘 입증되었다. 본 실험에서도 마리당 질소 섭취량이 8.7g으로 가장 낮았던 A구가 2.61로서 타 처리구에 비해 유의적으로 증가하였다. 그러나 나머지 처리구는 9.6g(Com-2구)

에서 10.0g(Com-1구)으로 유사함에도 불구하고 B구가 시판사료구에 비해 우수한 것은 증체량의 차이에서 기인하고 있다.

나. 체조직 조성

개시어와 6주간 실험사료를 섭취한 종료어의 체조직 조성은 Table 8-4에 나타나 있다. 개시어의 수분 함량은 76.6%로 B사료를 섭취한 어류의 수분 함량 75.2%와는 유의적인 차이를 보였으나 타 처리구와는 유의적 차이를 보이지 않았다. 단백질은 14.3%(개시어)에서 15.2%(Com-1)의 범위를 보였으나 유의적인 차이는 발견되지 않았다. 지방은 모든 처리구가 개시어(4.5%)에 비해 높았으나 B사료 급여구(6.6%)를 제외한 타처리구간에는 유의적 차이가 없었다($P>0.05$). 회분 함량은 개시어 3.09%에 비해 모든 처리구에서 감소된 수치를 보였으며, 칼슘은 A사료구가 1.85%로 개시어 1.82%와 유사하였다. 인 함량은 0.43%(B 사료구)에서 0.50%(개시어)로 일정하였으나, Com-2사료 급여구는 0.39%로 개시어 및 A사료구에 비해 유의적인 차이를 보였다.

일반적으로 어체중의 증가와 함께 어체내 수분함량은 감소하고 지방함량은 증가한다(김 1994). 그러나 제7장에서 결과와 마찬가지로 본 결과는 B 사료구를 제외하고는 그러한 경향이 뚜렷이 나타나지 않았다. 아울러, 시판사료의 지방함량이 8.4%(Com-1)에서 8.8%(Com-2)인데 반해 저오염 사료는 12.8%(A)에서 13.1%(B)로 높았음에도 불구하고 어체내 지방함량에는 처리구간 큰 차이를 보이지 않았다. 성장율의 개선차원에서 볼 때 이러한 사실은 시판사료내 지방의 수준이 여전히 증가되어야함을 시사하고 있다.

회분의 함량은 A 사료구를 제외한 모든 처리구가 개시어에

비해 유의적으로 감소하였으며, 칼슘 또한 이와 동일한 경향을 보였다. 그러나 인 함량은 0.43%(B 사료구)에서 0.50%(개시어)로 가장 낮은 함량을 보였던 시판사료 Com-2(0.39%)를 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이러한 사실은 어류의 체내 인 함량은 생체 단위당 0.4~0.5%로서 상대적으로 일정한 수준으로 유지된다고 한 보고(Lall, 1991; 김과 김, 1995)와 일치하는 결과를 보여주었다.

Table 8-4. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P
A	75.98±0.29 ^{ab}	14.36±0.09 ^{ns}	5.84±0.43 ^{ab}	2.81±0.20 ^{ab}	1.85±0.15 ^a	0.48±0.04 ^a
B	75.20±0.26 ^b	15.06±0.38	6.55±0.43 ^a	2.54±0.16 ^b	1.53±0.11 ^{bc}	0.43±0.02 ^{ab}
Com-1	76.18±0.32 ^a	15.24±0.24	5.25±0.79 ^{ab}	2.59±0.15 ^b	1.62±0.05 ^{abc}	0.46±0.03 ^{ab}
Com-2	75.96±0.23 ^{ab}	14.97±0.37	6.10±0.40 ^{ab}	2.35±0.02 ^b	1.34±0.05 ^c	0.39±0.02 ^b
Initial	76.61±0.23 ^a	14.34±0.09	4.48±0.12 ^b	3.09±0.16 ^a	1.82±0.01 ^{ab}	0.50±0.00 ^a

^{abcd}Values (mean±SE of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05); ns = non significant.

다. 질소와 인의 배설량 및 축적효율

건물 사료내 질소 함량에 따른 Kg 증체 단위당 질소 섭취량, 체내 증가량, 배설량 및 축적효율(RE)은 Table 8-5에 제시되어 있다. 증체 단위당 질소 섭취량은 사료내 질소 함량이 가장 높았던 Com-1 사료구가 85.6g으로 저오염 사료 A 및 B구에 비해 유의적으로 높았으나, Com-2구와는 유사하였다(P>0.05). 한편, 사료내 질소 함량이 5.78g/100g이었던 A사료를 급여받은 어류의 질소 섭취량은 61.3g으로 타처리구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다(P<0.05). 그러나 어체내 질소 증가량은 23.0g (A 사료)에서 26.3g (Com-1)으로

비록 유의적인 차이는 발견되었지만 상대적으로 일정하였다. 결과적으로 질소 배설량은 질소 섭취량이 가장 낮았던 A사료 급여구가 38.3g으로 가장 낮았고($P < 0.05$), 질소 섭취량이 가장 높았던 Com-1 사료 급여구가 59.4g으로 가장 높게 나타났다. RE는 30.1%(Com-2)에서 37.6%(A)의 범위로서 평균치는 33.2%였다.

Table 8-5. Nitrogen (N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	N in diet <i>g/100g DM</i>	Intake	Gain	Excretion	RE ² %
		<i>g/kg wt. gain</i>			
A	5.78	61.3 ^c	23.0 ^d	38.3 ^c	37.6 ^a
B	6.20	73.7 ^b	25.4 ^b	48.3 ^b	34.5 ^b
Com-1	6.61	85.6 ^a	26.3 ^a	59.4 ^a	30.7 ^c
Com-2	6.05	84.0 ^a	25.3 ^c	58.7 ^a	30.1 ^c
mean ± SE		76.1 ± 1.84	25.0 ± 0.04	51.2 ± 1.81	33.2 ± 0.70

¹Values (means of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different ($P < 0.05$).

²Retention efficiency = $100 \{ (\text{final body wt.} \times \% \text{ N in whole body}) - (\text{initial body wt.} \times \% \text{ N in whole body}) \} / \text{N intake}$.

건물사료 100g당 인 함량은 저오염 사료 A 및 B 사료가 각각 1.21g 및 1.00g 이었으며, 시판사료는 1.08g(Com-1) 및 2.00g(Com-2)이었다(Table 8-6). 증체 Kg당 인 섭취량은 11.9g(B 사료구)에서 27.8g(Com-2 사료구)으로 사료내 인 함량에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그러나, A 사료구의 경우 12.8g으로 Com-1의 14.0g보다 유의적으로 낮게 나타났다. 어체내 인 증가량은 Com-2사료구가 2.5g으로 가장 낮게 나타났으며, A 사료구가 4.6g으로 가장 높았

다($P<0.05$). Com-1 사료구는 4.1g으로 두 번째로 높았으며, B 사료구는 3.4g으로 Com-2구에 비해서는 높았으나, 타처리구에 비해서는 유의적으로 낮았다. 인 배설량은 저오염 A 및 B사료 급여구가 각각 8.2g 및 8.5g으로 시판사료구에 비해 유의적으로 낮았으며, Com-1 사료구는 9.9g으로 25.3g을 배설한 Com-2 사료구에 비해 유의적으로 낮았다. 인 축적효율(RE)은 Com-2 사료구가 8.8%로 가장 저조하였으며, A 사료구가 35.9%로 가장 우수하였으며, B 및 Com-1 사료구는 각각 28.9% 및 29.1%로 유사하게 나타났다.

Table 8-6. Phosphorus (P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	P in diet g/100g DM	Intake	Gain	Excretion	RE ² %
		g/kg wt. gain			
A	1.21	12.8 ^c	4.6 ^a	8.2 ^c	35.9 ^a
B	1.00	11.9 ^d	3.4 ^c	8.5 ^c	28.9 ^b
Com-1	1.08	14.0 ^b	4.1 ^b	9.9 ^b	29.1 ^b
Com-2	2.00	27.8 ^a	2.5 ^d	25.3 ^a	8.8 ^c
mean ± SE		16.6 ± 0.51	3.64 ± 0.03	13.0 ± 0.54	25.7 ± 0.59

¹Values (means of triplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different ($P<0.05$).

²Retention efficiency = $100((\text{final body wt.} \times \% \text{ P in whole body}) - (\text{initial body wt.} \times \% \text{ P in whole body})) / \text{P intake}$.

시판사료 Com-1과 Com-2의 경우 저가 저오염 사료 A 구에 비해 증체 Kg당 질소 배설량은 각각 55% 및 53% 증가한 것으로 나타났는데, 이것은 사료내 단백질 수준뿐 아니라 증체량의 감소

로 인한 사료요구율의 저하에서 유래한다. 사료내 단백질 수준의 감소와 함께 지방을 통한 에너지 수준의 증가는 증체량의 개선뿐 아니라 질소 배설량의 유의적인 감소를 가져온다는 사실은 Watanabe 등 (1987a,b)의 보고에서 잘 나타나고 있으며, 제 7장의 연구에서도 명확하게 밝혀졌다. 한편, 인 배설량의 감소를 위해서는 사료내 총 인의 수준을 가능한 한 인 요구량 수준으로 낮추고 사료효율을 증가시켜야 한다(Lall, 1991). 그러나 이때 이용가능 인의 수준은 요구량을 충족시켜야 한다(김 등, 1996a,b). 본 실험의 결과 일인산칼슘을 2% 함유한 A 사료를 섭취한 어류의 인 배설량은 8.2g으로 B 사료구의 8.5g과 함께 시판사료구에 비해 유의적으로 낮았다. A 사료가 B 사료에 비해 총 인의 함량이 0.21%나 높았음에도 불구하고 인 배설량이 낮은 이유는 인의 요구량을 충족하고 사료효율이 우수했기 때문이다. 이러한 사실은 사료내 총인의 수준을 낮추는 것이 우선적인 것이 아니라 이용가능 인의 수준을 우선적으로 요구량 수준으로 맞추는 것이 필수적인 것임을 시사한다. 이것은 일인산칼슘의 첨가로 이용가능 인의 수준이 요구량을 충족할 때, 비록 무첨가구 사료보다 총 인의 함량이 높아지더라도 증체단위당 인 배설량은 유의적으로 감소한다(Kim과 Ahn, 1993)는 것을 의미한다. 본 실험의 결과 저가 저오염 사료 A를 섭취한 어류의 증체 단위당 인 배설량(8.2g)은 실험에 사용된 시판사료를 섭취한 어류의 평균 배설량(17.6g) 보다 두 배이상 감소하였다. 또한, 김과 김(1994)이 수종의 시판사료를 이용하여 측정한 평균 인 배설량(12.5g)보다도 약 34% 감소한 것으로 나타났다.

2. 가두리를 이용한 오염도 및 경제성 평가 (실험 2)

가. 증체, 사료요구율 및 단백질 이용효율

6주간 실험사료를 섭취한 이스라엘잉어의 증체량, 사료요구율 및 단백질 이용효율을 Table 8-7에 나타내었다. 실험개시시 평균 체중 192.9g의 실험어가 실험종료시에는 평균 391.9g으로 성장하여 약 2배의 증체를 보였다. 실험구별 증체량은 사료에 따라 차이가 컸는데 실험사료 A구(저가 저오염사료)가 223.1g으로 가장 높았고, 그 다음이 실험사료 B구(고가 저오염사료)로 211.8g이었으며, 시판사료구(Com-1과 Com-2)는 실험사료구보다 낮은 191.6g 및 169.7g이었다. 일일성장율도 증체량과 같은 순위로 실험사료 A구가 2.23%로 가장 높고 Com-2구가 1.86%로 가장 낮았으며 처리간에 유의차가 인정되었다($P < 0.05$)

사료요구율(FCR)은 저오염사료를 섭취한 실험사료 A와 B구가 각각 1.08 및 1.15로 낮았으며, 시판사료 Com-1과 Com-2구는 1.25 및 1.44로 높았고, 각 사료간에 유의적인 차이를 보였다. 단백질 이용효율(PER)은 성장과 사료요구율이 가장 양호하고 사료의 단백질 함량이 낮은 실험사료 A구가 다른 실험구에 비해 월등히 높은 2.56을 나타내었으며, 성장과 사료요구율이 나쁘고 사료의 단백질 함량이 높은 시판사료 Com-2가 1.84로 가장 낮은 값을 보였다.

한편, 체중에 대한 건물사료의 일일섭취율은 사양실험시 사료급여 기준이었던 3%보다 약간 낮은 값인 실험구 평균 2.5%로 나타났으며, 시판사료구가 저오염 사료구보다 다소 높았지만 사료간에 큰차이는 보이지 않았다. 또한 양적으로도 각 실험구에서 거의 같은 양(239~244g DM/fish)을 섭취하였다.

Table 8-7. Weight gain and feed utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Initial wt. g/fish	Wt. gain g/fish	FCR ¹	DGR ² %	DFR ³ %	PER ⁴
A	192.1	223.1 ^a	1.08 ^d	2.23 ^a	2.41 ^c	2.56 ^a
B	194.6	211.8 ^b	1.15 ^c	2.14 ^b	2.45 ^{bc}	2.25 ^b
Com-1	193.3	191.6 ^c	1.25 ^b	2.01 ^c	2.50 ^b	1.95 ^c
Com-2	191.6	169.7 ^d	1.44 ^a	1.86 ^d	2.68 ^a	1.84 ^d
mean ± SE	192.9 ± 3.2	199.0 ± 2.5	1.23 ± 0.01	2.06 ± 0.01	2.51 ± 0.02	2.15 ± 0.02

¹Feed conversion ratio = feed intake, DM/wet weight gain.

²Daily growth rate = 100[wt. gain/((final wt + initial wt.)/2)]/feeding days.

³Daily feeding rate = (feed intake, DM/33) × 100/((initial body wt. + final body wt.)/2).

⁴Protein efficiency ratio = weight gain/protein intake.

^{abc}Values (means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P < 0.05).

개시어 체중이 다르고 일일 사료섭취율이 큰 차이를 보이긴 했으나 본 실험의 결과는 실험수조를 이용한 실험 1의 결과와 동일한 경향을 보이고 있다. 특히, 사료요구율은 저가 저오염 사료 A구가 실험 1에서는 1.06, 그리고 본 실험에서는 1.08로 유사하게 나타나고 있다. 또한 단백질 이용효율도 전자가 2.61 후자가 2.56으로 저가 저오염 사료 A구의 개선효과를 잘 나타내고 있다.

나. 체조직 조성

실험개시시와 종료시의 실험어 체조직 조성변화를 Table 8-8에 표시하였다. 수분함량은 실험개시어 및 각 종료어 간에 유의적인 차이가 없었다 (P > 0.05). 이러한 현상은 실험 1에서도 동일하게 나타났다.

단백질함량은 개시어의 14.12%에 비해 종료어는 14.27~15.62% 범위로서 다소 높은 값을 나타내었으며, 종료어 중에서는 실험사료 B구와 시판사료 Com-1구가 다른 실험구보다 높았다. 어체내 지방함량은 시판 Com-1 사료를 섭취한 종료어 만이 6.65%로서 개시어(7.86%)나 다른 실험어(7.93~8.77%)에 비해 유의적으로 낮았으며, 타실험구의 종료어나 개시어 간에는 차이가 없었다. 회분과 칼슘 함량의 경우에는 개시어에 비해 종료어가 약간 낮은 경향을 보였으나 개시어나 각 종료어 사이에 유의성은 인정되지 않았다. 한편, 종료어의 인함량은 0.39~0.44% 범위로서 모든 실험구에서 개시어의 0.54%보다 낮았으며, 종료어 중에서는 시판 Com-2 사료구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮은 값(0.39%)을 나타내었다. 이것은 실험 1에서의 시판 Com-2 사료구의 인 함량과 동일하였다.

Table 8-8. Whole body composition of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	Moisture	Protein	Fat	Ash	Ca	P
A	74.00±0.31 ^{ns}	14.27±0.26 ^{cd}	7.93±0.48 ^a	2.47±0.06 ^{ns}	1.70±0.04 ^{ns}	0.44±0.01 ^b
B	74.20±0.13	15.62±0.17 ^a	8.40±0.20 ^a	2.26±0.05	1.49±0.02	0.41±0.01 ^{bc}
Com-1	74.70±0.22	15.30±0.11 ^{ab}	6.65±0.45 ^b	2.29±0.12	1.59±0.07	0.43±0.02 ^b
Com-2	73.09±0.26	14.88±0.28 ^{bc}	8.77±0.42 ^a	2.28±0.20	1.49±0.12	0.39±0.02 ^c
Initial	74.33±0.07	14.12±0.18 ^d	7.86±0.08 ^a	2.56±0.16	1.67±0.03	0.54±0.00 ^a

^{abcd}Values (mean±SE of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05); ns = nonsignificant.

다. 질소와 인의 배설량 및 축적효율

Table 8-9과 8-10에는 각 실험사료를 섭취한 이스라엘잉어의 질소와 인의 배설량 및 축적효율을 나타내었다. Kg 증체량을 기

준으로한 질소의 섭취량은 62.6g~87.0g의 범위로서 사료의 질소함량과 사료요구율의 변동에 따라 실험사료 A, B, Com-1, Com-2의 순으로 증가하였다.

Table 8-9. Nitrogen (N) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks

Diet	N in diet g/100g DM	Intake	Gain	Excretion	RE ² %
		g/kg wt. gain			
A	5.78	62.6 ^d	23.0 ^d	39.6 ^d	36.8 ^b
B	6.20	71.1 ^c	27.2 ^a	43.9 ^c	38.3 ^a
Com-1	6.61	82.3 ^b	26.4 ^b	55.9 ^b	32.1 ^c
Com-2	6.05	87.0 ^a	25.2 ^c	61.8 ^a	29.0 ^d
mean±SE		75.7±0.61	25.5±0.02	50.3±0.60	34.0±0.32

¹Values (means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

²Retention efficiency = 100((final body wt. x % N in whole body) - (initial body wt. x % N in whole body))/N intake.

반면, Kg 증체당 질소증가량은 실험사료 B가 27.2g으로 많았고, 실험사료 A가 23.0g으로 가장 적었으나 각 실험구간의 차이는 근소하였다. 이러한 결과는 실험 1에서의 결과와 거의 동일하였다. 따라서 질소의 배설량도 질소 섭취량과 같은 경향을 보여 시판사료 Com-2가 61.8g으로 가장 높았으며, 실험사료 A가 39.6g으로 제일 낮았다. 또한, 질소축적효율에 있어서도 저오염 사료 A와 B에서 36.8% 및 38.3%로 높았고, 시판사료 Com-1과 Com-2에서는 32.1% 및 29.0%로 낮은 값을 나타내었다. ¹와 같이 저오염사료를 급여한 실험구는 기존의 시판사료 급여구에 비하여 Kg 증체당 질소 배설량

이 현저히 줄었는데, 특히 질소 배설량이 제일 적었던 저가 저오염 사료인 실험사료 A의 경우 시판사료 Com-1과 Com-2의 평균치와 비교하여 32.8%가 감소된 것으로 나타났다.

한편, Table 8-10에 나타난 바와 같이 Kg 증체당 인 섭취량의 경우에 있어서도 사료의 인함량과 사료요구율의 변이에 따라 사료간에 큰 차이를 보였다. 즉, 사료의 인 함량과 사료요구율이 각각 2% 및 1.44로 가장 높았던 시판사료 Com-1의 인 섭취량이 28.8g으로 가장 높았고, 인함량이 1%로 가장 낮고 사료계수는 1.15로 두 번째로 우수하였던 실험사료 B의 인 섭취량이 11.5g으로 가장 낮았다. 그 외에 저오염 사료 A와 시판사료 Com-1은 각각 13.1g 및 13.5g으로 중간을 나타내었다. Kg 증체당 어체내 인 증가는 종료어 인함량과 증체량에 따라 달라졌는데, 종료어의 인함량이 낮고 증체량도 적었던 시판사료 Com-2에서 2.2g으로 다소 적었고, 다른 사료에 있어서는 2.9~3.6g으로 그 차이가 크지 않았다. 따라서 이들 섭취량과 축적량의 차이인 Kg 증체당 인 배설량은 시판사료 Com-2에서 26.6g으로 가장 높았고, 실험사료 B에서 8.6g으로 가장 낮았으며, 시판사료 Com-1과 실험사료 A에서는 각각 10.3g 및 9.5g을 나타내었다. 인의 축적효율은 배설량과 반대의 순위로 시판사료 Com-2가 7.7%로 가장 낮았고, 실험사료 A가 27.1%로 가장 높았다. 이상과 같이 저오염 사료구인 실험사료 A와 B의 인 배설량은 시판사료 Com-1 및 Com-2의 평균 인 배설량과 비교할 때 각각 48.7% 및 53.4%가 감소하였다.

본 실험의 결과 A 사료구의 인 배설량(9.5g)은 B 사료구(8.6g)에 비해 높았으나($P < 0.05$), 실험 1에서는 이와 반대로 A 사료구가 8.2g으로 B 사료구 8.5g과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이

것은 어체내 인 증가량이 실험 1에서 더 높았기 때문인 것으로 추정된다. 이러한 결과로부터 실험 1에서 A 사료구의 인 축적효율은 35.9%로 본 실험에서의 27.1%보다 훨씬 높게 나타났다.

Table 8-10. Phosphorus (P) utilization of carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

Diet	P in diet g/100g DM	Intake	Gain	Excretion	RE ² %
		g/kg wt. gain			
A	1.21	13.1 ^c	3.6 ^a	9.5 ^c	27.1 ^a
B	1.00	11.5 ^d	2.9 ^c	8.6 ^d	25.3 ^b
Com-1	1.08	13.5 ^b	3.2 ^b	10.3 ^b	23.7 ^c
Com-2	2.00	28.8 ^a	2.2 ^d	26.6 ^a	7.7 ^d
mean ± SE		16.7 ± 0.11	2.96 ± 0.01	13.7 ± 0.12	20.9 ± 0.28

¹Values (means of duplicate groups) in the same column not sharing a common superscript letter are significantly different (P<0.05).

²Retention efficiency = 100((final body wt. x % P in whole body) - (initial body wt. x %P in whole body))/P intake.

Kg 증체당 섭취되는 질소와 인의 양은 사료내 이들 영양소의 함량 및 사료요구율의 함수이므로 사료요구율이 우수하고 사료내 단백질 또는 인함량이 낮은 사료일수록 Kg 증체당 그 섭취량이 적어진다. 반면, 질소나 인의 체내 축적량은 종묘어와 개시어의 어체내 함량 차이와 증체량에 따라 달라지지만 대체로 어체내 질소와 인의 함량은 사료의 질소 및 인 함량 수준에 관계 없이 비교적 일정하게 유지되기 때문에 사료에 따라 그 차이가 크지는 않다. 이러한 결과로 사료 급여로 인한 질소와 인의 배설량은 사료요구율과 사료내 이들 영양소의 함량에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 따라서, 저오염 사

료인 실험사료 A와 B에 있어서 질소나 인의 배설량이 시판사료에 비해 현저하게 감소된 것은 이들 사료내 질소와 인 함량을 요구량 수준으로 가능한 한 감소시킴과 동시에 에너지 등 다른 필수영양소의 함량을 보강하여 사료효율을 크게 개선시킨 결과라 할 수 있다.

반면, 시판사료 Com-2와 같이 사료중 질소와 인의 함량이 상대적으로 높고 사료효율도 나쁜 경우에는 사료중에 함유된 이들 성분중 더 많은 부분이 체외로 배출되어 수질오염의 원인을 제공하게 되는 것이다.

라. 저오염 사료의 경제성 평가

저오염 사료가 실용화 되기 위해서는 오염 배출량을 유의적인 수준으로 감소시키는 동시에 사료비용에 있어서도 기존의 시판사료와 비교하여 충분히 경제성이 있어야 한다. Table 8-11에 나타난 바와 같이 1 Kg 증체에 필요한 사료비용은 시판사료 Com-1의 경우 912.2원, 시판사료 2는 경우 1,014.8원이었으며, 고가 저오염 사료(실험사료 B)의 경우에는 1,007.8원이 소요되었다. 반면, 저가 저오염사료인 실험사료 A에 있어서는 764.6원이 소요되어 시판사료 Com-1에 비해 147.6원, 시판사료 Com-2에 비해서는 250.2원이 감소되는 결과를 나타내었다. 한편, 실험사료 A, B와 시판사료 Com-1, Com-2의 Kg당 단가는 각각 650.9원, 805.1원, 667.5원, 659.2원으로 계산되어, 저가 저오염 사료 A는 시판사료 1과 2에 비해 불과 16.6원 및 8.3원이 저렴하였고, 고가 저오염 사료는 오히려 시판사료보다 137.6~145.9원이 높았다. 그럼에도 불구하고 Kg 증체당 사료비가 저오염 사료에서 크게 감소된 것은 저오염 사료의 사료요구율이 시판사료에 비해 월등히 우수한 데 기인한 것임을 알 수 있다. 따라서

사료를 선택할 때에는 단순히 사료의 단가만을 비교해서는 안되고 사료요구율과 오염물질 배설량을 함께 고려해야만 사료비의 절감은 물론 수질오염 방지가 가능해질 것이다.

Table 8-11. Feed cost (won) for 1 kg gain of fish fed the experimental diets

Diet	A	B	Com-1	Com-2
Cost(won)	764.6±86	1007.8±13.8	912.2±3.9	1014.8±2.3

¹Values are means±SD of duplicate groups.

제 4 절 적 요 및 결 론

1. 실험수조를 이용한 오염도 평가(실험 1)

개시어체중 152g의 이스라엘 잉어를 사용하여 저가(A) 및 고가(B) 저오염 사료의 성장 및 질소 및 인 배설량을 조사하였다. 실험사료는 부상형으로 제조하였으며, 두 종의 시판사료 Com-1 및 Com-2와 함께 6주간 급여하였다. 질소 및 인의 배설량은 개시어와 종료어의 도체분석을 통하여 급여된 양과 축적된 양의 차이로 구하였다. 순환여과식 사육조를 이용, 총 4처리 3반복으로 수조당 30마리씩 완전임의 배치하였으며 실험기간의 수온은 28~31℃의 범위로 유지되었다. 일일 3회 매회 섭취도가 떨어질 때 까지 급여하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

가. 증체량은 A 사료구가 142.7g으로 타처리구에 비해 유의적으로 높았으며($P < 0.05$), B 사료구는 133.8g으로 두 번째로 높았다. 시판사료구는 114.8g(Com-2)에서 117.1g(Com-1)으로 저조하였다. 사료요구율은 1.06(A구)에서 1.39(Com-2)으로 각 처리구간 유의성이 인정되었다. 그러나 일일 사료섭취율은 증체량과 사료요구율이 가장 우수하였던 A사료구가 1.65%로 가장 낮았다. 한편, 단백질 이용효율은 A 사료구가 2.61로 가장 우수하였으며, B 사료구는 2.17 그리고 시판사료구는 각각 1.87 및 1.91로 처리구중 가장 낮았다($P < 0.05$).

나. 개시어의 수분함량은 76.6%로 B 사료구(75.2%)를 제외한 타 처리구와는 차이를 보이지 않았으며, 단백질은 모든 처리구에서 유의성이 인정되지 않았다($P > 0.05$). 지방은 일반적으로 개시어 4.5%에 비해 증가하였으나 B 사료구(6.6%)를

제외하고는 유의성이 없었다. 인 함량은 Com-2 사료구 (0.39%)를 제외한 처리구에서 0.43%(B구)에서 0.50%(개시어)로 일정하였다.

다. 증체 단위당 질소 배설량은 38.3g(A구)에서 59.4g(Com-1)의 범위로서 두 종의 시판사료구가 가장 높았고, B 사료구는 중간을 차지하였다. 이러한 차이는 섭취량의 차이에서 기인된 것으로서 시판사료구는 각각 84.0g (Com-2) 및 85.6g (Com-1)의 처리구중 가장 많은 섭취량을 보였으며, A 사료구는 61.3g으로 가장 낮은 섭취량을 보였다. 그러나 어체내 인 증가량은 23g(A구)에서 26.3g(Com-1)으로 유의성은 있었으나 큰 변이를 나타내지 않았다. 축적효율은 A 사료구가 37.6%로 가장 우수하였고 B 사료구가 34.5%로 중간이었으며 시판사료구는 30.7% 및 30.1%를 보였다.

라. Kg증체당 인 배설량은 A 사료구가 8.2g으로 B 사료구 8.5g과 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 시판사료구는 9.9g(Com-1) 및 25.3g(Com-2)으로 저오염 사료구와 유의적인 차이를 보였다. Com-2구의 높은 인 배설량은 사료내 인 함량이 높고(2.0%), 이에 따라 인 섭취량(27.8g)은 높은 반면 어체내 인 증가량은 2.5g으로 낮았던데서 기인하고 있다. 한편, 인 축적효율은 A 사료구가 35.9%로 처리구중 가장 우수하였으며, B 사료구와 Com-1구는 각각 28.9% 및 29.1%로 유사하였으며, Com-2구는 8.8%로 가장 저조하였다.

본 실험의 결과 저가 저오염 사료 A구의 경우 시판사료의 평균 질소(59.1g) 및 인(17.6g) 배설량에 비해 각각 35% 및 53.4%의

감소효과를 나타내었다. 고가 저오염 사료 B의 경우 이러한 수치는 각각 18% 및 52%로 나타났다. 본 실험으로부터 저오염 사료의 급여에 의해 나타난 성장율의 개선과 오염율의 감소효과는 시판사료의 질적개선 여지가 여전히 존재함을 시사하였다.

2. 가두리를 이용한 오염도 및 경제성 평가(실험 2)

실험 1과 동일한 사료를 청평 내수면 연구소의 저수지내 가두리를 이용, 개시어체중 193g의 이스라엘 잉어에 급여하여 현장에서의 성장율과 사료이용효율 및 오염 부하량 그리고 생산단위당 경제성을 조사하였다. 4처리 2반복으로 가두리(3x3x2m)당 320마리를 완전임의로 배치하였다. 사료는 어체중의 3%를 기준으로 일일 6회에 나누어 급여하였으며, 사육기간 6주중(사료급여 33일) 수온은 평균 $26.3 \pm 2.58^{\circ}\text{C}$ ($22.0 \sim 30.5^{\circ}\text{C}$)로 유지되었다. 실험으로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

가. 증체량은 사료에 따라 차이가 컸는데 실험사료 A구(저가 저오염사료)가 223.1g으로 가장 높았고, 그다음이 실험사료 B구(고가 저오염사료)로 211.8g이었으며, 시판사료구(Com-1과 Com-2구)는 실험사료구보다 낮은 191.6g 및 169.7g이었다. 일일성장율도 증체량과 같은 순위로 실험사료 A구가 2.23%로 가장 높고 Com-2구가 1.86%로 가장 낮았으며 처리간에 유의차가 인정되었다($P < 0.05$). 사료요구율(FCR)은 저오염사료를 섭취한 실험사료 A와 B구가 각각 1.08 및 1.15로 시판사료 Com-1과 Com-2구는 1.25 및 1.44에 비해 우수하였다. 단백질이용효율(PER)은 A사료구가 2.56으로 가장 우수하였으며, Com-2구가 1.84로 가장 낮은 값을 보였

다. 체중에 대한 건물사료의 일일섭취율은 평균 2.5%로 나타났다.

나. 수분함량은 실험개시어 및 각 종료어 간에 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 단백질함량은 개시어의 14.1%에 비해 종료어는 14.3~15.6% 범위로서 다소 높은 값을 나타내었으며, 종료어 중에서는 실험사료 B구와 시판사료 Com-1구가 다른 실험구보다 높았다. 어체내 지방함량은 시판 Com-1 사료를 섭취한 종료어 만이 6.7%로서 개시어(7.9%)나 다른 실험어(7.9~8.8%)에 비해 유의적으로 낮았다. 회분과 칼슘 함량의 경우에는 개시어나 각 종료어 사이에 유의성은 인정되지 않았다. 한편, 종료어의 인함량은 0.39~0.44% 범위로서 모든 실험구에서 개시어의 0.54%보다 낮았으며, 종료어 중에서는 Com-2구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮은 값(0.39%)을 나타내었다.

다. Kg 증체량을 기준으로한 질소의 섭취량은 62.6g~87.0g의 범위로서 실험사료 A, B, Com-1, Com-2의 순으로 증가하였다. 반면, 질소증가량은 실험사료 B가 27.2g으로 많았고, 실험사료 A가 23.0g으로 가장 적었다. 배설량은 섭취량과 같은 경향으로 Com-2가 61.8g으로 가장 높았으며, A사료구가 39.6g으로 제일 낮았다. 또한, 질소축적효율에 있어서도 저오염 사료 A와 B에서 36.8% 및 38.3%로 높았고, Com-1과 Com-2에서는 32.1% 및 29.0%로 낮은 값을 나타내었다.

라. Kg증체당 인 섭취량의 인 함량과 사료요구율이 각각 2% 및 1.44로 가장 높았던 시판사료 Com-1의 인 섭취량이 28.8g으로 가장 높았고, 인함량이 1%로 가장 낮고 사료계수

는 1.15로 두 번째로 우수하였던 실험사료 B의 인 섭취량이 11.5g으로 가장 낮았다. 어체내 인 증가량은 Com-2구에서 2.2g으로 다소 적었고, 타 처리구는 2.9~3.6g으로 그 차이가 크지 않았다. 인 배설량은 시판사료 Com-2에서 26.6g으로 가장 높았고, 실험사료 B에서 8.6g으로 가장 낮았으며, 시판사료 Com-1과 실험사료 A에서는 각각 10.3g 및 9.5g을 나타내었다. 축적효율은 배설량과 반대의 순위로 시판사료 Com-2가 7.7%로 가장 낮았고, 실험사료 A가 27.1%로 가장 높았다.

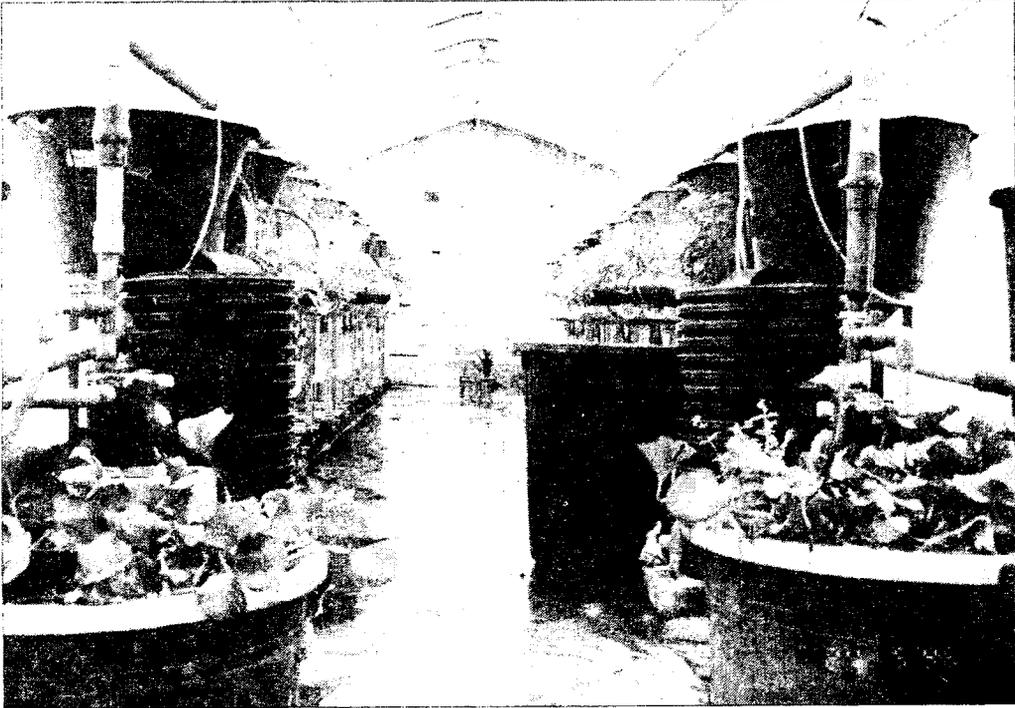
마. 어체 Kg 생산에 필요한 사료비용은 시판사료 Com-1의 경우 912.2원, Com-2의 경우 1,014.8원이었으며, 고가 저오염 사료(B)의 경우에는 1,007.8원이 소요되었다. 반면, 저가 저오염 A사료에 있어서는 764.6원이 소요되어 Com-1에 비해 147.6원, Com-2에 비해서는 250.2원이 감소되는 결과를 나타내었다.

본 실험의 결과 저가 저오염 사료 A구의 경우 시판사료의 평균 질소(58.9g) 및 인(18.5g) 배설량에 비해 각각 32.8% 및 48.7%의 감소효과를 보였으며, Kg 생산에 소요되는 경비면에서도 764.6원이 소요되어 시판사료 Com-1에 비해 147.6원, 시판사료 Com-2에 비해서는 250.2원이 감소되는 결과를 나타내었다. 이것은 저오염 사료의 사료요구율이 시판사료에 비해 월등히 우수한데 기인하고 있다. 본 연구결과는 사료의 선택시 단순히 사료의 단가만을 비교해서는 안되고 사료요구율과 오염물질 배설량을 함께 고려해야만 사료비의 절감은 물론 수질오염 방지가 가능해질 것임을 시사하고 있다.

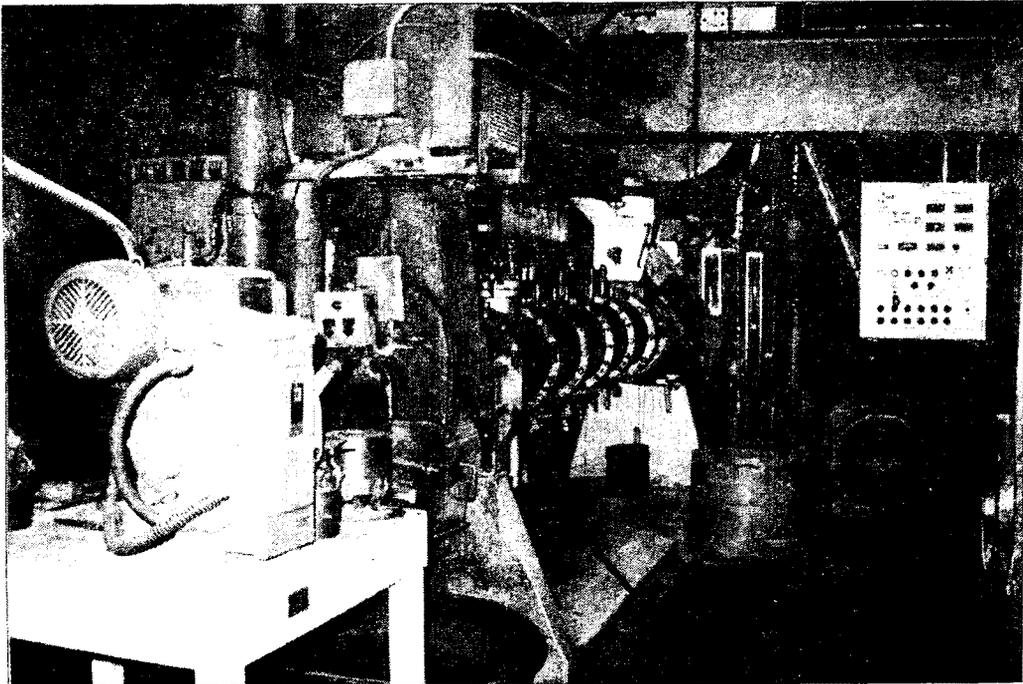
제9장 결 론

어류양식에 의한 오염원은 급여되는 사료로부터 파생된다. 따라서 사료내 영양소의 함량을 어류가 필요로 하는 수준으로 맞춰줄 때 오염 부하량의 최소화가 충족될 수 있다. 지속적 어류양식이란 환경친화형 어류생산을 의미한다. 본 연구는 잉어양식에 의한 수중의 질소 및 인 부하량 최소화를 위해 사료내 대두박과 동물성 단백질 공급원의 어분 대체효과, 분 채집방법에 따른 원료사료의 인 이용성, 잉어의 인 요구량 및 사료내 단백질 및 지방의 적정 수준을 설정한 다음 저가 저오염 사료와 고가 저오염 사료를 제조하여 시판사료와의 오염도 및 경제성을 비교하기 위하여 수행되었다.

본 연구에 의해 제조된 저오염 사료의 현지적용 실험 결과 저가 저오염 사료의 질소 및 인 배설량은 시판사료에 비해 각각 32.8% 및 48.7%의 감소효과를 보였으며, Kg 생산에 소요되는 사료비용 또한 시판사료에 비해 평균 199원이 절감되는 효과를 나타내었다. 이러한 결과는 시판사료의 질적개선 여지가 여전히 존재하고 있음을 시사하며, 사료의 질적개선을 통하여 양식에 의한 오염물의 유의적인 감소가 가능하다는 것을 보여주었다.



<Photo - 1> Rearing system in KNU



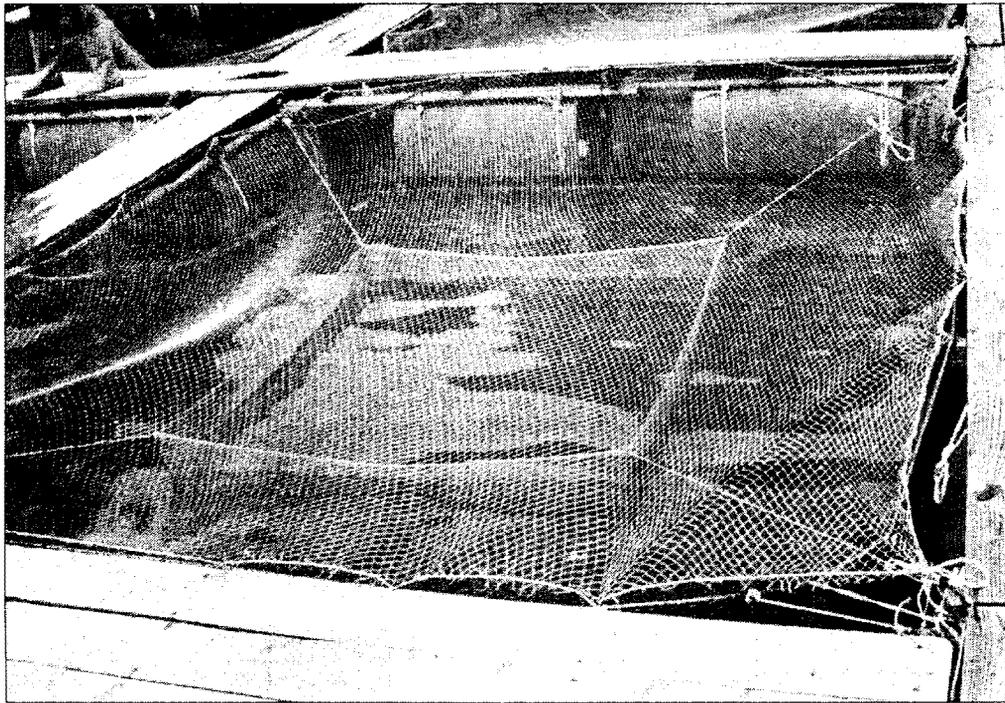
<Photo - 2> Wenger extruder X-185



<Photo - 3> Whole body grinding



<Photo - 4> Net cages for carp culture



<Photo - 5> Net cage installation



<Photo - 6> Weighing and numbering of fish



<Photo - 7> Sampled fish at the end of the experiment

참고문헌

- Adron, J.W., A. Blair, C.B. Cowey and A.M. Shanks. 1976. Effects of dietary energy level and dietary energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot(*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture* 7:125-132.
- Anderson, J.L. and S.U. Bettencourt. 1992. Status, constraints, and opportunities for salmon culture in the United States: A review. *Marine Fisheries Review* 54:25-33.
- Andrews, J.W., T. Murai and C. Campbell. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. *J. Nutr.* 103:776-771.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Arlington, Virginia.
- Atack, T.H., K. Jauncey and A.J. Matty. 1979. The utilization of some single cell proteins by fingerling mirror carp(*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 18:337-348.
- Austreng, E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture* 13:265-272.
- Arai, S., T. Nose and Y. Hashimoto. 1975. Mineral requirements of eel. I. Ca, Mg and P. In: *Proc. Annu. Meet. Jap. Soc. Sci. Fish.* April 1-6, Tokyo. p. 48(Abstract).
- Auer, M.T., M.S. Kiesser and R.P. Canale. 1986. Identification of critical nutrient levels through field verification of models for phosphorus and phytoplankton growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43:379-388.
- Beamish, F.H. and T.E. Medland. 1986. Protein sparing effects in large rainbow trout. *Aquaculture* 55:35-42.

- Berge, G.M. and T. Storebakken. 1996. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon(*Salmo salar*) fry. *Aquaculture* 145:205-212.
- Beveridge, M.C.M. 1984. Cage and pen fish farming: carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fish. Tech. Pap.* 255:131pp.
- Bolin, D.W., R.P. King and W.W. Klosrerman. 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide(Cr_2O_3) when used as an inert substance. *Science* 116: 634-635.
- Bouchez, P. and D. Azzi. 1991. Biotechnology: Use of hydrolytic enzymes in processing of feedstuffs. In: Cowey, C.B. and C.Y. Cho.(Eds.). *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. pp.91-101. Fish nutrition research lab., University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- Bowen, S.H. 1987. Dietary protein requirements of fishes - a reassessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44:1995-2001.
- Bromley, P.J. 1980. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot(*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture* 19:359-369.
- Brown, M.E. 1957. *The physiology of fishes. I.* Academic Press, New york. 447pp.
- Brown, P.B. 1993. Comparison of fecal collection methods for determining phosphorus absorption in rainbow trout. In: Kaushik, S.J., and P. Luquet(Eds.). *Fish Nutrition in Practice*, INRA, Paris, pp443-447.
- Brown, M.L., F. Jaramillo Jr. and D.M. Gatlin III. 1993. Dietary phosphorus requirement of juvenile sunshine bass, *Morone chrysops* ♀ x *M. saxatilis* ♂. *Aquaculture* 113:355-363.
- Cain, K.D. and D.L. Garling. 1995. Pretreatment of soybean meal with phytase for salmonid diets to reduce phosphorus concentrations in hatchery effluents. *Prog. Fish-Cult.* 57:114-119.

- Catacutan, M.R. and R.M. Coloso. 1995. Effect of dietary protein to energy ratios on growth, survival, and body composition of juvenile asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 131:125-133.
- Cho, C.Y. 1993. Digestibility of feedstuffs as a major factor in aquaculture waste management. In: Kaushik, S.J. & P. Luquet(Eds.). *Fish Nutrition in Practice*: pp. 365-374. INRA Press, Paris.
- Cho, C.Y. and S.J. Kaushik. 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout. *World Rev. Nutr. Diet.* 16:132-172.
- Cho, C.Y., S.J. Slinger and H.S. Bayley. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B:25-41.
- Cho, C.Y. and S.J. Slinger. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Hamburg, Germany, Vol. II, pp.239-247.
- Cho, C.Y. and T. Watanabe. 1986. Dietary energy and lipid requirements of rainbow trout at different water temperature. *Proc. 10th Int. symp. On Energy Metabolism*, Airlie, Virginia, EAAP Publ. No. 32, Rowman and Littlefield, Totowa, pp.381.
- Choubert, G., J. De La Noue and P. Luquet. 1979. Continuous quantitative automatic collector for fish feces. *Prog. Fish-Cult.* 41:64-67.
- Choubert, G., J. De La Noue and P. Luquet. 1982. Digestibility in fish: improved device for the automatic collection of feces. *Aquaculture* 29:185-189.
- Cowey, C.B. and C.Y. Cho. 1991. *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. Proc. of the first Int. Symp. on Nutritional Strategies and Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 275pp.
- Cowey, C.B., J.W. Adron and D.A. Brown. 1975. Studies on the nutrition of the marine flatfish. The metabolism of glucose by plaice (*Pleuronectes platessa*) and the

- effect of dietary energy source on protein utilisation in plaice. *Br. J. Nutr.* 338:219-231.
- Dabrowski K. and B. Kozak. 1979. The use of fish meal and soybean meal as a protein source in the diet of grass carp fry. *Aquaculture* 18:107-114.
- Dabrowski K., P. Poczyczynski, G. Kock and B. Berger. 1989. Effect of partially or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on growth, food utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout. New *in vivo* test for exocrine pancreatic secretion. *Aquaculture* 77:29-49.
- Davis, D.A. and E.H. Robinson. 1987. Dietary phosphorus requirement of juvenile red drum(*Sciaenops ocellatus*). *J. World Aquacult. Soc.* 18:129-136.
- Davies, S.J. 1989. Comparative performance of juvenile rainbow trout fed to satiation with simulated "standard" and "high energy" diet formulatings. *Aquacult. Fish. Manag.* 20:407-416.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Eeckhout W. and M. De Paepe. 1994. Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 47:19-29.
- El-Dahhar, A.A. and R.T. Lovell. 1995. Effect of protein to energy ratio in purified diets on growth performance, feed utilization and body composition of mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus*(Peters). *Aquaculture Research* 26:451-457.
- El-Sayed, A.-F.M. and D. L. Garling. 1988. Carbohydrate-to-lipid ratios in diets for *Tilapia zillii* fingerlings. *Aquaculture* 73:157-163.
- Folke, C. and N. Kautsky. 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *AMBIO* 18:234-243.
- Fowler, L.G. 1991. Poultry by-product meal as a dietary source in fall chinook salmon diets. *Aquaculture* 116:149-158.

- Garling, D.L. and R.P. Wilson. 1976. Optimum dietary to energy ratio for channel catfish fingerlings. *J.Nutr.* 106:1368-1375.
- Garling, D.L. and R.P. Wilson. 1977. Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish. *Prog. Fish-Cult.* 39:43-47.
- Gaylord, T.G. and D.M. Gatlin III. 1996. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum. *Aquaculture* 139:303-314.
- Gerking, S.D. 1955. Influence of rate of feeding on body composition and protein metabolism of bluegill sunfish. *Physiol. Zool.* 28:267-282.
- Hajen, W.E., R.M. Beames, D.A. Higgs and B.S. Dosanjh. 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Onchorhynchus tshawytscha*) in sea water. 1. Validation of technique. *Aquaculture* 112:321-332.
- Hanley, F. 1987. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determination in tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 66:163-179.
- Hardy, R.W., W.T. Fairgrieve and T.M. Scott. 1993. Periodic feeding of low-phosphorus diet and phosphorus retention in rainbow trout. In: Kaushik, S.J. & P. Luquet(Eds.). *Fish Nutrition in Practice*. pp. 403-412. INRA Press, Paris.
- Haylor, G.S., M.C.M. Beveridge and K. Jauncey. 1988. Phosphorus nutrition of juvenile *Oreochromis niloticus*. In: Pullin, R.S.V., T. Bhukaswan, K. Tonguthai, and J.L. Maclean(Eds.). *The 2nd Int. Symp. on Tilapia in Aquaculture*. pp. 431-435. ICLARM Conference proceedings 15, Manila.
- Higgs, D.A., J.R. Markert, D.W. McQuarrie, J.R. McBride, B.S. Dosanjh, C. Nichols and G. Hoskins. 1979. Development of practical dry diets for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, using poultry-by-product meal, feather meal, soybean

- meal and rapeseed meal as major protein sources. In: Tiews, K and J. E. Halver(Eds.), Proc. World Symp. on Finfish Nutr. Fishfeed Technol. pp. 191-218.
- Hilton J.W. and S.J. Slinger. 1986. Digestibility and utilization of canola meal in practical-type diets for rainbow trout. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43:1149-1155.
- IAFMM(International Association of Fish Meal Manufacturers), 1991. World production of fish meal drops. *Feedstuffs* 63:18.
- Iwama, G.K. and A.F. Tautz. 1981. A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:649-656.
- Jacobsen, C. and T. Borresen. 1995. Formulation of fish diets with reduced phosphorus content. *Wat. Sci. Tech.* 31(10): 167-173.
- Jenkins, K.J., E. Larmond, F.D. Sauer and D.B. Emmons. 1982. Soluble fish protein in milk replacers for calves. *Feedstuffs* 54:24-25.
- Johnsen, F., M. Hillestad and E. Austreng. 1993. High energy diets for Atlantic salmon. Effects on pollution. In: Kaushik, S.J. & P.Luquet(Eds.). *Fish Nutrition in Practice*. pp. 391-401. INRA Press, Paris.
- Ketola, H.G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus. *Trans. Am. Fish. Soc.* 101:548-554.
- Ketola, H.G. and B.F. Harland. 1993. Influence of phosphorus in rainbow trout diets on phosphorus discharge in effluent water. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122:1120-1126.
- Ketola, H.G. and M.E. Richmond. 1994. Requirement of rainbow trout for dietary phosphorus and its relationship to the amount discharged in hatchery effluents. *Trans. Am. Fish. Soc.* 123:587-594.
- Ketola, H. G., H. Westers, W. Houghton and C. Pecor. 1991. Effect of diet on growth

- and survival of coho salmon and on phosphorus discharges from a fish hatchery. Am. Fish. Soc. Symp. 10:402-409.
- Kim, J.D. and K.H. Ahn. 1993. Effects of monocalcium phosphate supplementation on phosphorus discharge and growth of carp grower. Asian-Austral. J. Anim. Sci. 6:521-526.
- Kim, J.D. and S.J. Kaushik. 1992. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 106:161-169.
- Kim, J.D., K.S. Kim, J.S. Song, Y.B. Woo, K.S. Jeong and T.H. Won. 1995. Effects of dietary full-fat soybean levels on growth performance and feed utilization and phosphorus excretion of carp(*Cyprinus carpio*). Asian-Austral. J. Anim. Sci. 8:587-594.
- Lall, S.P. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: Cowey, C.B. and C.Y. Cho(Eds.). Nutritional Strategies & Aquaculture Waste. pp. 21-36. Fish Nutrition Research Lab., Ontario, Canada.
- Lee D.J. and G.B. Putnam. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. J. Nutr. 103: 916-922.
- Liebowitz H.E. 1981. Replacing fish meal with soybean meal in practical catfish diets. Master's thesis. Auburn University. Auburn. AL.
- Lovell, R.T. 1977. Digestibility of nutrients in feedstuffs for catfish. In: Stickney, R.R. and R.T. Lovell(Eds.). Nutrition and Feeding of Channel Catfish. pp.33-37. South. Coop. Ser. Bull. 218.
- Lovell, R.T. 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish(*Ictalurus punctatus*). Trans. Am. Fish. Soc. 107:617-621.
- Luzier, J.M., R.C. Summerfelt and H.G. Ketola. 1995. Partial replacement of fish meal

- with spray-dried blood powder to reduce phosphorus concentration in diets for juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Research* 26:577-587.
- McGoogan, B.B. and R. C. Reigh. 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture* 141:233-244.
- Matty, A.J. 1990. Feeds in the fight against pollution. *Fish Farming Int.* 1:16-17.
- Maynard, L.A. and J.K. Loosli. 1969. *Animal Nutrition*, 6th ed. McGraw-Hill, New York, St Louis, 613pp.
- Möhsen, A.A. and R.T. Lovell. 1990. Partial substitution of soybean meal with animal protein sources in diets for channel catfish. *Aquaculture* 90: 303-311.
- 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. *Nippon Suisan Gakkaishi* 51:605-608.
- Nelson, T.S., T.R. Shieh, R.J. Wodzinski and J.H. Ware. 1968. The availability of phytate phosphorus in soybean meal before and after treatment with a mold phytase. *Poultry Science* 47:1842-1848.
- Nose, T. 1960. On the digestion of food protein by gold fish (*Carassius auratus* L.) and rainbow trout (*Salmo irideus* G.). *Bull. Freshwat. Fish. Res. Lab.* 10:23-28.
- NRC. 1983. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. National Academy Press, Washington, D.C., 102 pp.
- NRC. 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C., 114pp.
- Ogino, C. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids. *Nippon Suisan Gakkaishi* 46:171-174.
- Ogino, C., J. Kakino and M.S. Chen: 1973. Determination of metabolic fecal nitrogen and endogenous nitrogen excretion of carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 39:519-523.

- Ogino, C. and K. Saito. 1970. Protein nutrition in fish. I. The utilization of dietary protein by young carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 36:250-254.
- Ogino, C. and H. Takeda. 1976. Mineral requirements in fish-III. Calcium and phosphorus. *Nippon Suisan Gakkaishi* 42:793-799.
- Ogino, C. and H. Takeda. 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. *Nippon Suisan Gakkaishi* 44:1019-1022.
- Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda and T. Watanabe. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkaishi* 45: 1527-1532.
- Page, J.W. and J.W. Andrews. 1973. Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish(*Ictalurus punctatus*). *J.Nutr.* 103:1339-1346.
- Piclet, G. 1987. Le poisson aliment. *Cah. Nutr. Diét.*, XXII, 4:317-336.
- Pongmaneerat, J. and T. Watanabe. 1991. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57:503-510.
- 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.
- Reinitz, G.L., L.E. Orme, C.A. Lemm and F.N. Hitzel. 1978. Influence of varying lipid concentrations with two protein concentrations in diets for rainbow trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107:751-754.
- Robinson, E.H., D. LaBomascus, P.B. Brown and T.L. Linton. 1987. Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. *Aquaculture* 64:267-276.
- Rodehutschord, M. and E. Pfeffer. 1995. Effects of supplemental microbial phytase phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout(*Oncorhynchus Mykiss*). *Wat. Sci. Tech.* 31:143-147.

- Rumsey, G.L. 1993. Fish meal and alternate sources of protein in fish feed. Update 1993. Fisheries 18:14-19.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1973. Effect of dietary calcium/phosphorus ratio upon growth, feed efficiency and blood serum Ca and P level in red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 39:343-348.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 44:227-229.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1980. A principal source of deposited lipid in phosphorus deficient red sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 46:1227-1230.
- Satoh, S. 1991. Common carp, *Cyprinus carpio*. In: Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. R.P. Wilson(ed). pp.55-67. CRC Press, London.
- Schafer, A., W.M. Koppe, K.M. Meyer-Burgdorff and K.D. Gunther. 1995. Effects of a microbial phytase on the utilization of native phosphorus by carp in a diet based on soybean meal. Wat. Sci. Tech. 31:149-155.
- Shim, K.F. and C.S. Ho. 1989. Calcium and phosphorus requirements of Guppy *Poecilia reticulata*. Nippon Suisan Gakkaishi 55:1947-1953.
- Shimeno, S., H. Hosokawa, M. Takeda, and H. Kajiyama. 1980. Effects of calorie to protein ratios in formulated diet on the growth, feed conversion and body composition of young yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi 46:1083-1087.
- Simons, P.C.M., H.A.J. Versteegh, A.W. Jongbloed, P.A. Kemme, P. Slump, K.D. Bos, M.G.E. Wolters, R.F. Beudeker and G.J. Verschoor. 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. J. Nutr. 64:525-540.
- Smith, R.R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of feeds. Prog. Fish-Cult. 33:132-134.

- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1967. Statistical methods. 6th edn. Iowa State University Press, Ames. Iowa.
- Tacon, A.G.J. and A.J. Jackson. 1985. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: Cowey, C.B., A.M. Mackie and J.G. Bell(Eds.), Nutrition and Feeding in Fish, pp.119-145, Academic Press, London.
- Takeda, M., S. Shimeno, H. Hosokawa, H. Kahyama, and T. Kaisyo. 1975. The effect of dietary calorie-to-protein ratio on the growth, feed conversion and body composition of young yellowtail. Nippon Suisan Gakkaishi 41:43-447.
- Takeuchi, M. and T. Nakazoe. 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp. Nippon Suisan Gakkaishi 47:347-352.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1978. Optimum ratio of protein to lipid in diets of rainbow trout. Nippon Suisan Gakkaishi 44:683-688.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1979a. Optimum ratio of dietary energy to protein for carp. Nippon Suisan Gakkaishi 45:983-987.
- Takeuchi, T., T. Watanabe and C. Ogino. 1979b. Availability of carbohydrate and lipid as energy sources for carp. Nippon Suisan Gakkaishi 45:977-982.
- Takeuchi, T., T. Watanabe, S. Satoh, T. Ida and M. Yaguchi. 1987. Changes in proximate and fatty acid compositions of carp fed low protein-high energy diets due to starvation during winter. Nippon Suisan Gakkaishi 53:1425-1429.
- Takeuchi, T., T. Watanabe, S. Satoh, R.C. Martino, T. Ida and M. Yaguchi. 1989. Suitable levels of protein and digestible energy in practical carp diets. Nippon Suisan Gakkaishi 55:521-527.
- Takeuchi, T., Y. Shiina, and T. Watanabe. 1991. Suitable protein and lipid levels in diet for fingerling of red sea bream *pagrus major*. Nippon Suisan Gakkaishi 57:293-299.

- Viola S., S. Mokady and Y. Arieli. 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp(*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 32:27-38.
- Viola, S., S. Mokady, U. Rappaport and Y. Araieli. 1982. Partial and complete replacement of fish meal by soybean meal in feeds for intensive culture of carp. *Aquaculture* 26:223-236.
- Wang, K.-W., T. Takeuchi and T. Watanabe. 1985. Optimum protein and digestible energy levels in diets for *Tilapia nilotica*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 51:141-146.
- Watanabe, T. 1982. Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B:3-15.
- 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 Waste*. pp.137-154. Fish Nutrition Research Lab., Ontario, Canada.
- Watanabe, T., A. Murakami, L. Takeuchi, T. Nose and C. Ogino. 1980. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. *Nippon Suisan Gakkaishi* 46:361-367.
- Watanabe, T., J. Pongmaneerat, S. Satoh and T. Takeuchi. 1993. Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59:1573-1579.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, A. Murakami and C. Ogino. 1980. The availability to *Tilapia nilotica* of phosphorus in white fish meal. *Nippon Suisan Gakkaishi* 46:897-899.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, S. Satoh, T. Ida and M. Yaguchi. 1987a. Development of low protein high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53:1413-1423.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, S. Satoh, K.W. Wang, T. Ida, M. Yaguchi, M. Nakada, T. Amano, S. Yoshijima and H. Aoe. 1987b. Development of practical carp diets for

- reduction of total nitrogen loading on water environment. Nippon Suisan Gakkaishi 53:2217-2225.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, S. Satoh and V. Kiron. 1996a. Digestible crude protein contents in various feedstuffs determined with four freshwater fish species. Fisheries Science 62:278-282.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, S. Satoh and V. Kiron. 1996b. Digestible energy: methodological influences and a mode of calculation. Fisheries Science 62:288-292.
- Watson, S., E. McCauley and J.A. Downing. 1992. Sigmoid relationships between phosphorus, algal biomass and algal community structure. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49:2605-2610.
- Wenger. 1993. Process description. Pet and aquatic feed production. Submitted as a Chapter in Textbook Extrusion Cooking. edn. Nile Frame. 5p.
- Wiesmann, D., H. Scheid and E. Pfeffer. 1988. Water pollution with phosphorus of dietary origin by intensively fed rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 69:263-270.
- Wilson, R.P., E.H. Robinson, D.M. Gatlin III and W.E. Poe. 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. J. Nutr. 112:1197-1202.
- Wilson R.P. and W.E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. Aquaculture 46:19-25.
- Windell, J.T., J.W. Foltz and J.A. Sarokon. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. Prog. Fish-Cult. 40:51-55.
- Yone, Y. and N. Toshima. 1979. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream. Nippon Suisan Gakkaishi 45:753-756.
- 권관, 한인규, 손광수, 권찬호. 1995. 옥수수-대두박 위주사료에 phytase의 첨가가 육성

- 돈 및 비육돈의 성장능력, 영양소 소화율 및 인 배설량에 미치는 영향. 한축지 37:341-352.
- 권관, 한인규, 손광수, 권찬호, 박종형. 1995. 옥수수-밀-대두박 위주 사료에 phytase의 첨가가 이유자돈 및 육성돈의 성장능력, 영양소 소화율 및 인 배설량에 미치는 영향. 한축지 37:353-362.
- 김정대. 1991. 수종의 시판용 잉어사료의 급여에 따른 총 고형물, 단백질 및 인의 수중 부하량에 관한 연구. 한영사지 15:154-162.
- 김정대. 1993. 수질오염에 대처하는 내수면 양어사료의 질적 개선방안. '93 사료가공 단기 과정 세미나 교재 pp. 398-409. 한국영양사료학회.
- 김정대. 1994. 시판사료 급여에 의한 육성용 잉어의 성장과 단백질 및 인 배출량. 한영사지 18:418-424.
- 김정대, 김광석. 1994. 육성잉어에 의한 시판사료의 성장도 및 수중 영양소 배출량 비교. 한축지 36:710-717
- 김정대, 김광석. 1995. 일인산칼슘의 첨가가 잉어의 성장능력, 사료 이용효율 및 인 배출량에 미치는 영향. 한영사지 19:42-49.
- 김정대, 우영배. 1994. 시판사료 급여에 따른 잉어의 질소 및 인 배출. 한영사지 18:87-93.
- 김광석, 김정대, 송재성, 정관식, 우영배, 이종윤. 1996a. 어체중 18g 이스라엘 잉어의 인 요구량에 관한 연구. 동물자원연구 7:1-11.
- 김정대, 김광석, 송재성, 강민원, 이승복, 윤구석, 정관식. 1996b. 관행사료를 이용한 32g 이스라엘 잉어의 인 요구량. 한영사지 20:489-496.
- 김광석, 김정대, 송재성. 1996c. 시판 잉어사료의 영양소 함량 비교. 동물자원연구 7:12-19.
- 송민현, 이경준, 배승철. 1995. 성장기 잉어(*Cyprinus carpio*) 사료에 있어서 단백질 원으로서 혈분 첨가효과. 한국양식학회지 8:343-354.
- 수산년감. 1995. 주요어업의 동향, 내수면업계. 한국수산회, p.277.
- 원태희. 1990. 원료어분의 종류와 건조방법이 이스라엘 잉어의 성장능력, 체조성 및 영양

- 소 이용율에 미치는 영향. 석사학위논문. 서울대학교, 51pp.
- 원태희. 1993. 에너지, 단백질 수준과 가공방법이 이스라엘 잉어의 성장, 체조성 및 대사에 미치는 영향. 박사학위논문. 서울대학교, 165pp.
- 이상민, 이종윤, 강용진. 1991. 방어사료 단백질 대체원으로서의 대두박 첨가효과. 수진 연구보고 45:247-257.
- 이상민, 류진형, 이종윤. 1996. 조피볼락 사료의 어분 대체 단백질원으로서의 대두박, 콘 글루텐밀, 육분 및 혈분의 이용성. 한영사지 20:21-30.
- 이상민, 류진형. 1996. 조피볼락 사료의 어분 대체 단백질원으로서의 면실박 및 채종박의 첨가 효과. 한영사지 20:128-135.
- 한국사료협회. 1997. 배합사료 종별 생산내역. 사료 14(1):98-101.